	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 7</b>

Código de la dependencia.

<b>FECHA</b>	viernes, 30 de agosto de 2019
--------------	-------------------------------

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad


<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Sede Fusagasugá
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Maestría
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	<b>Maestría en Ciencias Ambientales</b>

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
HERNANDEZ ORTIZ	CARLOS ANDRES	82393909

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 2 de 7</b>

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
MONROY PEÑA	CAMILO ANTONIO

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO</b>
<b>Efectos de Micro y Nano Burbujas en Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas: El caso de Pasca, Cundinamarca</b>

<b>SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)</b>

<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía</b>

<b>AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
16/07/2019	99

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)</b>	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
Aguas residuales domésticas	Domestic wastewaters
Eutrofización	Eutrophication
Micro y nano burbujas,	Micro and nano bubbles
Laguna facultativa.	Facultative lagoon

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 7</b>

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El proceso de inyección de micro y nano burbujas en el agua residual de la laguna de oxidación del municipio de Pasca, incrementa la cantidad y tiempo de permanencia de oxígeno disuelto en el agua, gracias a las propiedades físicas y químicas que tienen estas burbujas y su reducción entamaño. Es importante resaltar que la inyección de micro y nano burbujas no es un tratamiento completo para tratar el problema de eutrofización y estas por sí mismas no mejorarán la eficiencia de la laguna de oxidación. La acción obtenida es la activación biológica de microorganismos aeróbicos, los cuales fueron inoculados previamente, acelerando la degradación de la materia orgánica y disminuyendo la acción de los procesos anaeróbicos al compararse con un blanco (ensayo sin inyección de micro y nano burbujas). El sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca, recibe un caudal aproximado de 0.9 l/s (litros/segundo), presenta un periodo de retención de 15 días y una remoción de carga orgánica casi nula. En esta investigación se aplicó la inyección de micro y nano burbujas de aire en tres muestras de agua de 25 litros cada una, por dos minutos, (procedimiento se repetía cada 4 horas durante 10 días), logrando como resultados la descontaminación del agua residual, reflejada en una reducción de los parámetros como DQO, nitritos, nitratos, Sólidos disueltos totales, Sólidos sedimentables, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad y pH, evaluados consiguiendo una reducción del 75% de la carga inicial, la muestra testigo o blanco disminuyó su carga orgánica en el mismo periodo en un 8%.

The process of injection of micro and nano bubbles in the residual water of the oxidation lagoon of the municipality of Pasca, increasing the amount and permanence time of the dissolved oxygen in the water, thanks to the physical and chemical properties that these bubbles have; mainly, for its very reduced size, it is important to highlight that the injection of micro and nano bubbles it is not a complete treatment to treat the problem of eutrophication and these by themselves will not improve the efficiency of the oxidation lagoon, the action obtained is the biological activation of aerobic microorganisms, which were previously inoculated, accelerating the degradation of organic matter and decreasing the action of anaerobic processes. The waste water treatment system of the municipality of Pasca receives an approximate caudal of 0.9 l / s (liters / second), presents a retention period of 15 days and almost null organic load removal; in this investigation the injection of micro and nano air bubbles was applied in three water samples of 25 liters, each, for two minutes, and the procedure was repeated every 4 hours for 10 days, achieving as results the decontamination of the residual water, reflected in a reduction of the evaluated parameters up to 75% in relation to the initial value.



	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 4 de 7</b>

**AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN**

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	x	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	x	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos)



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 7</b>

el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

**SI \_\_ NO \_x\_\_.**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 6 de 7</b>

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”
- i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. HernandezCarlos2019.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Hernández Ortiz Carlos Andrés	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

[Escriba aquí]

# **Efectos de Micro y Nano Burbujas en Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas: El Caso de Pasca, Cundinamarca**



Carlos Andrés Hernández Ortiz

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias - Departamento de Posgrados

Maestría en Ciencias Ambientales – Cohorte 1

Fusagasugá

2018



[Escriba aquí]

**Efectos de Micro y Nano Burbujas en Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas:**

**El caso de Pasca, Cundinamarca**

Carlos Andrés Hernández Ortiz

Trabajo grado elaborado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Ambientales en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca

Camilo Antonio Monroy Peña

Magister en Ingeniería Química

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias - Departamento de Posgrados

Maestría en Ciencias Ambientales – Cohorte 1

Fusagasugá

2019

[Escriba aquí]

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

[Escriba aquí]

## **Agradecimientos**

A Dios por darme la fuerza y energía para culminar este proceso.

A mis padres por darme la vida y con su ejemplo y esfuerzos ayudarme a salir adelante.

A Daniela Chaves por sus aportes en el desarrollo y construcción de esta investigación.

Al Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA por el apoyo técnico y logístico a través del programa SENNOVA.

Al Doctor Antonio José López López por su dedicación, apoyo oportuno y fundamental para el desarrollo de este trabajo.

[Escriba aquí]

# Contenido

<a href="#">Agradecimientos</a> .....	4
<a href="#">Índice de gráficas</a> .....	7
<a href="#">Índice de tablas</a> .....	9
<a href="#">Anexos</a> .....	10
<a href="#">Anexo 3. Imagen de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca.</a>	10
<a href="#">Glosario</a> .....	11
<a href="#">Resumen</a> .....	16
<a href="#">Abstract</a> .....	17
<a href="#">Introducción</a> .....	18
<a href="#">Capítulo I. El deficiente tratamiento de aguas residuales en Pasca Cundinamarca</a> .....	20
<a href="#">1. De las ineficientes lagunas de oxidación</a> .....	23
<a href="#">Figura 4 pasos del sistema de tratamiento actual Ptar pasca</a> .....	24
<a href="#">Fuente: Elaboración del autor de la investigación</a> .....	24
<a href="#">1.1. Micro y nano burbujas, una alternativa viable para Pasca</a> .....	25
<a href="#">1.2. De los objetivos del estudio</a> .....	26
<a href="#">Capítulo II. Antecedentes de la aplicación de micro y nano burbujas de aire</a> .....	27
<a href="#">2. Antecedentes internacionales</a> .....	27
<a href="#">2.1 Antecedentes en América Latina</a> .....	44
<a href="#">Capítulo III. Marco referencial y metodológico</a> .....	48
<a href="#">3. Teoría de la doble capa</a> .....	48
<a href="#">3.1. Marco constitucional y legal</a> .....	49
<a href="#">3.2. El paradigma positivista en las Micro y Nano burbujas</a> .....	54
<a href="#">3.3. Algunas consideraciones metodológicas</a> .....	55
<a href="#">3.3.1. Tipo de investigación</a> .....	55
<a href="#">3.3.2. Método utilizado</a> .....	56
<a href="#">3.3.3. Criterios de validez y confiabilidad</a> .....	56
<a href="#">3.3.4. Definición de Hipótesis</a> .....	57

[Escriba aquí]

<a href="#">3.3.5.Universo y Muestra Representativa.....</a>	57
<a href="#">3.3.6. Instrumentos y técnicas de investigación.....</a>	57
<a href="#">3.3.7. Pruebas preliminares con las Micro y Nano Burbujas.....</a>	58
<a href="#">Capítulo IV Micro y Nano Burbujas de aire y su relación con la remoción de carga orgánica.....</a>	58
<a href="#">4. Características generales y desempeño del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca.....</a>	58
<a href="#">4.1.Comportamiento del oxígeno disuelto con Micro y Nano Burbujas.....</a>	61
<a href="#">Capítulo V Las Micro y Nano burbujas de aire y su acción en procesos de eutrofización..</a>	62
<a href="#">Capítulo VI. Modelo de aplicación de las Micro y Nano burbujas en condiciones reales. .</a>	71
<a href="#">6.1. Cálculo de población.....</a>	72
<a href="#">6.2. Cálculo del caudal máximo horario.....</a>	73
<a href="#">6.2.1 Red de acueducto.....</a>	73
<a href="#">6.2.2.Red de aguas residuales ( cálculo del caudal de diseño - caudal máximo horario)</a>	73
<a href="#">6.3. Caudal de infiltración.....</a>	74
<a href="#">6.4. Caudal de conexiones erradas.....</a>	74
<a href="#">6.5. Cribado criterios de diseño.....</a>	74
<a href="#">6.5.1. Calculo del área libre (AL).....</a>	75
<a href="#">6.5.2 Calculo de la suma de las separaciones entra barras.....</a>	75
<a href="#">6.6. Bioreactor criterios de diseño.....</a>	76
<a href="#">6.7. Necesidades de oxigeno.....</a>	77
<a href="#">7. Conclusiones y recomendaciones.....</a>	79
<a href="#">Bibliografía.....</a>	81
<a href="#">Anexo 1.Presupuesto del proyecto de investigación.....</a>	91
<a href="#">Anexo 2.Imágen de localización satelital PTAR del municipio de Pasca.....</a>	92
<a href="#">Anexo 3.Imagen de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca.....</a>	92
<a href="#">Anexo 4.Imagén punto de vertimiento.....</a>	93
<a href="#">Fuente: Autor.....</a>	93

[Escriba aquí]

## Índice de gráficas

Gráfica 1. demanda química de oxígeno 83

Gráfica 2. sólidos suspendidos totales 84

Gráfica 3. Oxígeno disuelto 86

Gráfica 4. Nitritos 87

Gráfica 5. Nitratos 88

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

## Índice de tablas

[Tabla 1.Marco Constitucional y Legal](#)..... 66

[Tabla 2. Marco legal](#)..... 69



[Escriba aquí]

## **Anexos**

Anexo 1. Presupuesto del proyecto de investigación.

Anexo 2. Imagen de localización satelital de la PTAR del municipio de Pasca.

**Anexo 3. Imagen de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca.**

[Escriba aquí]

## Glosario

**Aguas residuales o servidas:** Se originan en actividades diarias y principalmente se contaminan por heces y orina humanas, agua del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener grandes cantidades de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas (Lopez, 1985).

**Aguas crudas o brutas:** Se refiere al agua que no ha recibido ningún tratamiento, generalmente se encuentra en fuentes y reservas naturales de aguas superficiales y subterráneas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

**Alcantarillado:** Red o sistema de conductos y dispositivos para recolectar y conducir las aguas residuales y pluviales al desagüe o drenaje (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

**Análisis microbiológico del agua:** Conjunto de operaciones de laboratorio encaminadas a determinar presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos presentes en una muestra problema de agua (Universidad politecnica de cartagena).

**Análisis de vulnerabilidad:** Es el estudio que permite evaluar los riesgos potenciales a que están sometidos los distintos componentes de un sistema de suministro de agua (Ministerio de Salud, 1983).

**Análisis Físicoquímico del agua:** Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (Ministerio de la protección social., 2007).

**Ambiente aerobio:** Medio provisto de oxígeno molecular, en el cual organismos aerobios y anaerobios facultativos desarrollan procesos bioquímicos en condiciones de oxidación (Universidad de Antioquia, 2009).

[Escriba aquí]

**Ambiente anaerobio / anóxico:** Medio desprovisto de oxígeno molecular, en el cual organismos anaerobios estrictos desarrollan procesos bioquímicos en condiciones anóxicas(Universidad de Antioquia, 2009).

**Calidad del agua:** Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua (Universidad de Antioquia, 2009).

**Contaminación del agua:** Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor(Universidad de Antioquia, 2009).

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días a 20 °C.). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable (Universidad de Antioquia, 2009).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas(Universidad de Antioquia, 2009).

**Enfermedades transmitidas por el agua:** Las enfermedades hídricas son patologías transmitidas a través de aguas contaminadas, carentes de tratamiento eficiente. Algunos ejemplos, los constituyen el cólera, la fiebre tifoidea, la shigellosis, la poliomiélitis, la meningitis y la hepatitis A y E(Universidad de Antioquia, 2009).

**Eutrofización:**Proceso que presentan algunos sistemas acuáticos dado por el aumento del aporte de fósforo y nitrógeno que se manifiesta en una intensa proliferación y acumulación excesiva de microalgas, colmatación y sedimentación(Nestor Mazzeo, 1998).

**Evaluación de Impacto Ambiental:**Proceso que permite identificar, describir y estimar cuantitativamente los efectos ambientales potenciales generados por la ejecución de proyectos o actividades(Triana, 1993).

[Escriba aquí]

**Gestión ambiental:** Proceso orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permiten al hombre y la mujer el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio (Red de desarrollo sostenible Colombia, 2001).

**Grupo coliforme:** Grupo de bacterias Gramnegativas bacilares, que se diferencian a través de una serie bioquímica convencional de acuerdo con la temperatura en la cual fermentan la lactosa con producción de ácido y gas (CO<sub>2</sub>), en coliformes totales (35 - 37°C.), y coliformes fecales (44 - 44.5°C.) en un plazo de 24 a 48 horas. Este grupo corresponde a bacterias aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa que no forman esporas ni presentan actividad enzimática de la galactosidasa. En cuerpos de agua residual, la contaminación biológica se determina de acuerdo con la densidad poblacional (Universidad de Antioquia, 2009).

**Índice coliforme:** Es la cantidad estimada de microorganismos de grupo coliforme presente en cien centímetros cúbicos (100 cm<sup>3</sup>) de agua, cuyo resultado se expresa en términos del número de microorganismos mediante el método de filtración por membrana. Por Planta de Tratamiento de Agua Residual se entiende el conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales (Universidad de Antioquia, 2009).

**Laguna facultativa:** Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

**Micro burbujas y Nano Burbujas:** Se considera una Micro Burbuja aquella burbuja fina con un diámetro de 1 a 100 micras (1 µm a 100 µm), la nano burbuja es aquella burbuja fina con diámetro menor a 1 µm. (Bach. Macassi & Giuliana, 2017)

**Planta de tratamiento de aguas residuales:** Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

[Escriba aquí]

**Población servida:** Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua (Ministerio de salud pública, 1998).

**Saneamiento básico:** Es la tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y aguas residuales y tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en las proximidades de los usuarios. El acceso al saneamiento básico comprende seguridad y privacidad en el uso de estos servicios. La cobertura se refiere al porcentaje de personas que utilizan mejores servicios de saneamiento, a saber: conexión a alcantarillas públicas; conexión a sistemas sépticos; letrina de sifón; letrina de pozo sencilla; letrina de pozo con ventilación mejorada (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

**Sistemas de fitodepuración:** Se entiende la reducción o eliminación de contaminantes de las aguas residuales, por medio de una serie de complejos procesos biológicos y fisicoquímicos en los que participan las plantas del propio ecosistema acuático (Fundación Global Nature).

**Tratamiento:** Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano (Ministerio de la protección social, 2007).

**Tratamiento primario:** Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

**Tratamiento secundario:** Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

**Tratamiento - Eficiencia:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en términos porcentuales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

[Escriba aquí]

**Vertimiento Líquido:** Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido (Ministerio de ambiente decreto 3930, 2010).

[Escriba aquí]

## Resumen

El proceso de inyección de micro y nano burbujas en el agua residual de la laguna de oxidación del municipio de Pasca, incrementa la cantidad y tiempo de permanencia de oxígeno disuelto en el agua, gracias a las propiedades físicas y químicas que tienen estas burbujas y su reducción entamaño. Es importante resaltar que la inyección de micro y nano burbujas no es un tratamiento completo para tratar el problema de eutrofización y estas por sí mismas no mejorarán la eficiencia de la laguna de oxidación. La acción obtenida es la activación biológica de microorganismos aeróbicos, los cuales fueron inoculados previamente, acelerando la degradación de la materia orgánica y disminuyendo la acción de los procesos anaeróbicos al compararse con un blanco (ensayo sin inyección de micro y nano burbujas). El sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca, recibe un caudal aproximado de 0.9 l/s (litros/segundo), presenta un periodo de retención de 15 días y una remoción de carga orgánica casi nula. En esta investigación se aplicó la inyección de micro y nano burbujas de aire en tres muestras de agua de 25 litros cada una, por dos minutos, (procedimiento se repetía cada 4 horas durante 10 días), logrando como resultados la descontaminación del agua residual, reflejada en una reducción de los parámetros como DQO, nitritos, nitratos, Sólidos disueltos totales, Sólidos sedimentables, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad y pH, evaluados consiguiendo una reducción del 75% de la carga inicial, la muestra testigo o blanco disminuyó su carga orgánica en el mismo periodo en un 8%.

**Palabras claves:** Aguas residuales domésticas, eutrofización, Micro y nano burbujas, laguna facultativa.

[Escriba aquí]

## **Abstract**

The process of injection of micro and nano bubbles in the residual water of the oxidation lagoon of the municipality of Pasca, increasing amount and permanence time of the dissolved oxygen in the water, thanks to the physical and chemical properties that these bubbles have; mainly, for its very reduced size, it is important to highlight that the injection of micro and nano bubbles it is not a complete treatment to treat the problem of eutrophication and these by themselves will not improve the efficiency of the oxidation lagoon, the action obtained is the biological activation of aerobic microorganisms, which were previously inoculated, accelerating the degradation of organic matter and decreasing the action of anaerobic processes. The waste water treatment system of the municipality of Pasca receives an approximate caudal of 0.9 l / s (liters / second), presents a retention period of 15 days and almost null organic load removal; in this investigation the injection of micro and nano air bubbles was applied in three water samples of 25 liters, each, for two minutes, and the procedure was repeated every 4 hours for 10 days, achieving as results the decontamination of the residual water, reflected in a reduction of the evaluated parameters of up to 25% in relation to the initial value.

**Keywords:** Domestic wastewaters, eutrophication, Micro and nano bubbles, facultative lagoon.



[Escriba aquí]

## Introducción

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de un país; es la molécula más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo los mantos acuíferos. Esta contaminación representa un desequilibrio ambiental, económico y social. (Romero M, 2009). Es importante entender la compleja relación que existe entre el uso y la preservación de los recursos naturales en especial el agua, recurso considerado vital, pero en ocasiones generador de diversos conflictos por falta de disponibilidad. Esta situación demanda acciones responsables que conduzcan a su recuperación.

Colombia es un país rico en recursos hídricos; ocupa el tercer lugar en Suramérica, lo cual le confiere una gran responsabilidad que no se asume de forma eficiente. Esto se ve reflejado en el tratamiento inadecuado de las aguas residuales domésticas, impactando ecosistemas y deteriorando los recursos hídricos. Según el informe técnico presentado por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios en el año 2013, se observan algunos avances en materia de inversión y una conciencia relacionada con la responsabilidad de preservar los recursos por parte de las entidades territoriales. No obstante, la problemática no deja de ser muy compleja. Por ejemplo, la mayoría de municipios del país cuentan con redes de alcantarillado tipo combinado, es decir transportan aguas residuales y pluviales por el mismo conducto (Superintendencia de Servicios Públicos, 2013). Situación que permite apreciar una problemática asociada con la falta de planeación y proyección por parte de las entidades que administran los recursos. En el mismo informe la superintendencia señala que de los 480 municipios que reportan contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales 258 son pequeños prestadores, (menos de 2.500 suscriptores) y 222 son grandes prestadores (más de 2.500 suscriptores). Dentro del grupo de pequeños prestadores 83 se encuentran fuera de operación, (Superintendencia de Servicios Públicos, 2013).

Por otra parte el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2012 en su informe anual, señala que la materia orgánica biodegradable vertida a los

[Escriba aquí]

sistemas hídricos en 2012 se estima en 756.945 t/año, mientras que la materia orgánica no biodegradable, es decir sustancias químicas, se estima en 918.670 t/año y 205 toneladas de mercurio son vertidas al suelo y al agua de los ríos a nivel nacional (IDEAM, 2012).

El municipio de Pasca ubicado en la región del Sumapaz, reconocida por su potencial hídrico, no se escapa de esto. El municipio presenta un deficiente tratamiento en la remoción de materia orgánica proveniente del sistema de alcantarillado. Además, su vertimiento, es receptado por el Río Cuja, el cual aguas abajo surte las plantas de tratamiento de agua potable de varios municipios. El uso de sistemas complementarios como el micro y nano burbujeo, es una alternativa para complementar estos procesos al mejorar la oxigenación y por lo tanto la acción de los microorganismos aeróbicos haciendo más eficientes los procesos de remoción de carga orgánica.

El presente trabajo se realiza como requisito para optar al título de Magister en Ciencias Ambientales otorgado por la Universidad de Cundinamarca sede Fusagasugá. Se propone aplicar la técnica de inyección de micro y nano burbujas de aire como activador biológico en procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas.

Es importante resaltar que la inyección de micro y nano burbujas de aire brinda la posibilidad de ampliar el limitado medio aeróbico en la laguna facultativa, potenciando de esta manera la eficiencia del proceso de remoción de su carga orgánica.

El primer capítulo, se encarga primero de establecer un panorama real y actual del manejo de las aguas residuales en Colombia, sus deficiencias e impactos ocasionados sobre los recursos hídricos, exponiendo el caso particular del municipio de Pasca. Posteriormente en este capítulo encontrara una breve exposición del problema en cuestión, así como sus causas y consecuencias actuales que nos llevan a la formulación de objetivos concretos asociados a la formulación de soluciones en las cuales la nanotecnología se encuentra inmersa como alternativa.

El segundo capítulo, expone varios estudios tanto nacionales como internacionales, en donde la inyección de micro y nano burbujas surge como una metodología con resultados adecuados que contribuye a la solución de problemas relacionados con el tratamiento y recuperación de aguas residuales domésticas e industriales.

[Escriba aquí]

El capítulo tres se ocupa de referenciar un componente teórico, que permite sustentar el comportamiento de las variables al aplicar el tratamiento al agua residual, además de describir la parte metodológica implementada en la investigación.

Los capítulos V y VI, nos introducen en el desarrollo y ejecución de la investigación, con una clara descripción de los procedimientos, obstáculos encontrados, además de los resultados obtenidos y las conclusiones generadas a través del análisis de la información.

[Escriba aquí]

## Capítulo I. El deficiente tratamiento de aguas residuales en Pasca Cundinamarca

Las aguas residuales provenientes del uso doméstico en las diferentes ciudades y regiones de Colombia se vierten, generalmente sin un adecuado tratamiento, directamente a las quebradas y ríos del país. La mayoría de los municipios utilizan como sistemas de tratamiento las denominadas lagunas de oxidación, que generalmente presentan deficiencias asociadas al fenómeno de eutrofización. Como consecuencia de la contaminación ocasionada a los cuerpos hídricos receptores surgen, entre otras, la degradación de la fauna y la flora, el desequilibrio de los ecosistemas y el aumento de la tasa de morbilidad y mortalidad relacionada con enfermedades gastrointestinales.

Estudios realizados por la Superintendencia de Servicios Públicos en Colombia señalan la existencia de una gran cantidad de problemas en relación con el manejo de aguas residuales en los centros urbanos. La mayoría de municipios del país cuentan con redes de alcantarillado tipo combinado o mixto, es decir, transportan aguas residuales y pluviales por el mismo conducto (Superintendencia de Servicios Públicos, 2013), situación que permite apreciar una problemática asociada con la inadecuada planeación y proyección del desarrollo urbano, rural y regional, por parte de las entidades territoriales, pues de los 1.122 municipios de Colombia, “480 municipios que reportan contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales 258 son pequeños prestadores, (menos de 2.500 suscriptores) y 222 son grandes prestadores (más de 2.500 suscriptores), del grupo de los pequeños prestadores 83 se encuentran fuera de operación (Superintendencia de Servicios Públicos, 2013). En la siguiente figura se observa el estado para el 2018 de los municipios...

[Escriba aquí]

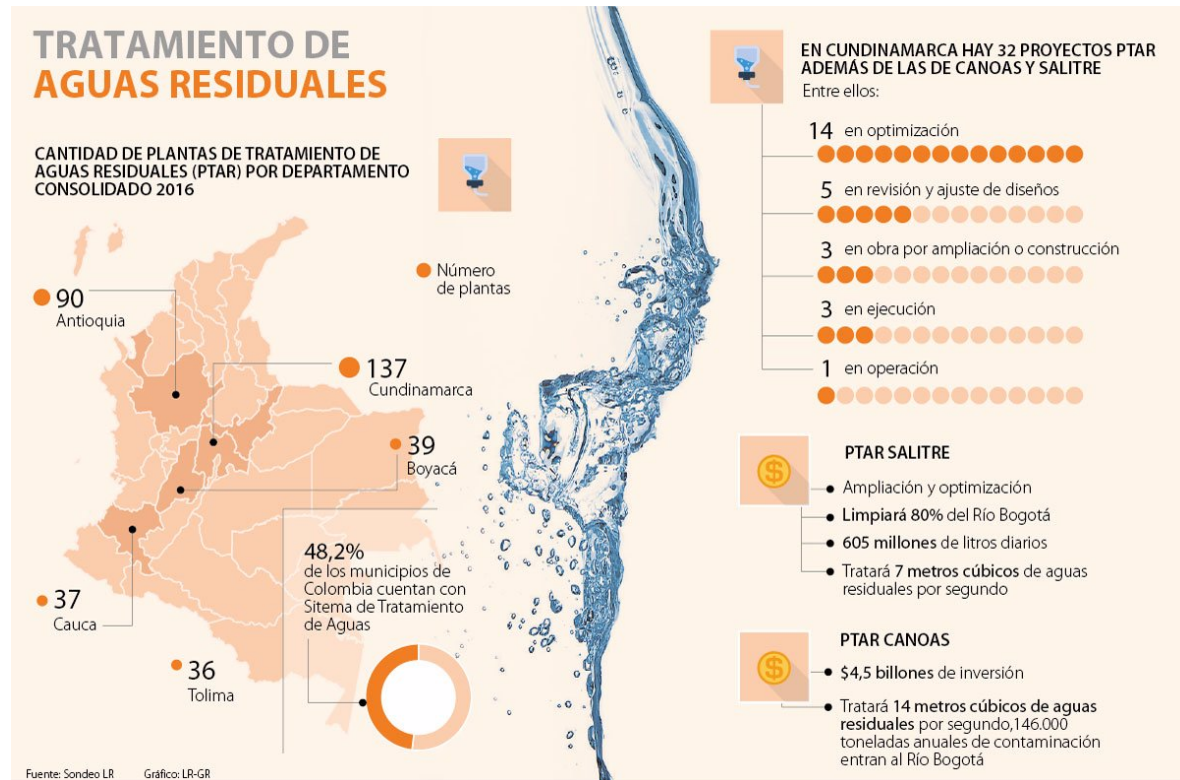


Figura01fuente: Diario la Republica

El caso particular del municipio de Pasca ubicado en la región del Sumapaz departamento de de Cundinamarca (ver figura XX) no se escapa a esta realidad al evidenciar un sistema de tratamiento estructurado en un cribado, dos sedimentadores y una laguna de oxidación con alta presencia de eutrofización. Lomás lamentable es que vierte sus aguas residuales al río Cuja, fuente hídrica de la cual se abastecen las dos terceras partes de los habitantes de la zona urbana del municipio de Fusagasugá. De las tres posibles opciones adecuadas para optimizar los métodos tradicionalmente aplicados: Inyección de Micro y Nano Burbujas, Biorremediación y Procesos de Oxidación Avanzada (POA); la primera se considera la posible mejor alternativa para complementar el tratamiento en el municipio de Pasca, en razón a su función como activador biológico de microorganismos aeróbicos ya que las micro y nano burbujas proporcionan mayor cantidad de oxígeno disuelto y lo conservan por más tiempo en el agua (Simonsen, 2004), capacidad comprobada en varias investigaciones realizadas previamente (Para mayor información ver Capítulo II del presente documento).



Figura 02. Fuente: Alcaldía de Pasca - plan de desarrollo 2016-2019

#### 1. De las ineficientes lagunas de oxidación

[Escriba aquí]

Debido a su bajo costo y reducido mantenimiento la mayoría de los municipios del país adopta el sistema de lagunas de oxidación como tratamiento para sus aguas residuales. No obstante este método presenta graves problemas relacionadas con la eutrofización debido a la alta carga de materia orgánica, convirtiéndose en un sistema deficiente con un vertimiento de alto impacto a los cuerpos hídricos. Además, la Superintendencia de servicios públicos señala que 345 municipios del país presentan esta problemática asociada a malos olores y lo que es peor a la contaminación puntual de fuentes hídricas (Superintendencia de Servicios Públicos, 2013).

En el caso particular el municipio de Pasca en Cundinamarca, basa su tratamiento en una laguna de oxidación, a donde llegan todas las aguas negras, las que además de materia orgánica también contienen residuos sólidos, químicos, antibióticos, insecticidas, grasas, aceites y demás elementos que son arrojados desde cada una de las viviendas. Los materiales de mayor tamaño son atrapados por un sistema primario denominado cribado, luego llega a un punto llamado desarenador y posteriormente el fluido llega a la laguna de oxidación, en la que ocurren diferentes procesos físicos, químicos y microbiológicos. Básicamente lo que se espera es que la materia orgánica sea degradada por microorganismos que se alimentan de esta, el problema radica en que no todos los microorganismos son lo suficientemente útiles en este proceso.

Pre tratamiento

Tto primario

**cribado**

Tto Secundario

**sedimentador**

**Laguna de  
oxidación**

**Descarga Río  
Cuja**

Figura 4 pasos del sistema de tratamiento actual Ptar pasca

[Fuente:](#) **Elaboración del autor de la investigación.**

[Escriba aquí]

De los microorganismos aerobios, que necesitan de oxígeno para sobrevivir, y anaerobios, que no lo necesitan, son los primeros los más eficientes y por lo tanto los más aconsejables para la degradación de la materia orgánica por su velocidad de degradación. No obstante, debido a los altos volúmenes de materia orgánica que recibe la laguna y al poder que ella tiene en la disminución de los niveles de oxígeno disuelto, se genera baja presencia de este oxígeno y se disminuye potencialmente la capacidad de reducción de carga orgánica en el vertimiento final.

Lo anterior indica la gran importancia de generar urgentes acciones que conduzcan al cumplimiento del sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS): garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Esta situación no se está logrando en razón a que la carga orgánica proveniente de los cascos urbanos de municipios y ciudades, arrojada a los cuerpos hídricos en Colombia, aumenta debido a las limitantes que presentan las lagunas de oxidación relacionadas al incremento de los procesos anaeróbicos que dificultan la eficiente degradación de la materia orgánica.

Las experiencias descritas en el contexto internacional indican la necesidad de utilizar tecnología que permitan hacer más eficientes los tratamientos convencionales que en Colombia y particularmente en Pasca, Cundinamarca, se vienen adelantando, los que traen efectos negativos para el medio ambiente y la salud de la población de Fusagasugá fundamentalmente.

Todo lo descrito hasta el momento conduce a la emergencia del siguiente interrogante: ¿Qué efectos positivos o negativos tiene la inyección de Micro y Nano Burbujas en la laguna de oxidación de Pasca, como alternativa complementaria al tratamiento convencional brindado a sus aguas residuales?

De este interrogante surgen otros necesarios de resolver con el desarrollo de este estudio de caso:

¿La inyección de Micro y Nano Burbujas por cavitación hidrodinámica cumple la función de activador biológico de microorganismos aeróbicos requerido para el funcionamiento eficiente de la laguna de oxidación de Pasca?

¿El funcionamiento de la laguna de oxidación de Pasca, posterior a la inyección de Micro y Nano Burbujas, está en capacidad de revertir los procesos de eutrofización comúnmente presentes en el proceso actual convencional?

[Escriba aquí]

¿Qué papel cumple la inyección de Micro y Nano Burbujas como complemento de los procesos convencionales adelantados en Pasca, en la reducción de la carga orgánica final en su tratamiento de aguas residuales?

¿Qué conclusiones se derivan del desarrollo de estos nuevos procesos complementarios de los convencionales adelantados en Pasca para tratar sus aguas residuales domésticas?

### **1.1. Micro y nano burbujas, una alternativa viable para Pasca**

La aplicación de Micro y Nano Burbujas se constituye en una alternativa viable por sus altos beneficios en la recuperación de cuerpos lénticos como lagunas y humedales, permitiendo mejorar la prestación de los servicios ecosistémicos y mitigar los impactos generados por altas concentraciones de materia orgánica que desencadenan fenómenos como la eutrofización y sus consecuencias en el entorno. El actuar como activador biológico, debido a la permanencia de las MBs y NBs hasta por 6 horas, facilita el desarrollo de microorganismos aeróbicos mucho más eficientes que los anaeróbicos en la degradación de materia orgánica, que le permite brindar un tratamiento más eficiente en términos de la disminución de la carga orgánica que finalmente se arroja a los ríos. En este sentido, la carga orgánica se arroja al río Cuja el cual provee de agua para su potabilización al municipio de Fusagasugá. El disminuir la carga orgánica vertida se refleja en un beneficio económico para Pasca al no tener que hacer el pago de tasa retributiva y también para Fusagasugá al reducir sus costos de potabilización. Además, permite reducir los olores que afectan a viviendas cercanas a la laguna generados por los gases producto de la fermentación anaerobia como el metano, se reduce por la presencia de microorganismos aeróbicos lo que permite brindar bienestar y mejores condiciones de vida a la población.

### **1.2. De los objetivos del estudio**

El estudio formula, como objetivo general, identificar los efectos positivos o negativos 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 domésticas. Para su obtención se pretende, inicialmente, verificar la función de activador biológico de microorganismos aeróbicos, de las Micro y Nano Burbujas inyectadas en la laguna de oxidación, a través de la medición de su eficiencia en la remoción de carga orgánica. Posteriormente se aboca la evaluación de la capacidad de revertir los procesos de eutrofización presentes en el tratamiento convencional de las aguas residuales domésticas, con posterioridad a la inyección de Micro y Nano Burbujas. Luego se identifica el papel que cumple la inyección de Micro y Nano Burbujas, como complemento de los procesos convencionales, en la remoción de carga orgánica de las aguas residuales domésticas y, por último, a manera de conclusiones generales, se construye un modelo de aplicación de la inyección de Micro y Nano Burbujas para el tratamiento de aguas residuales en los municipios de condiciones similares a Pasca, de forma experimental y escalable a sus propias realidades.



[Escriba aquí]

## Capítulo II. Antecedentes de la aplicación de micro y nano burbujas de aire

### 2. Antecedentes internacionales

**A continuación, se presentan antecedentes en los que se describen problemas similares o relacionados y las investigaciones conocidas adelantadas para contribuir a su solución en el ámbito internacional y colombiano. Ellas buscan identificar alternativas de tratamiento de aguas residuales a nivel internacional y colombiano, través de la implementación de diferentes métodos, pero, fundamentalmente, a través de micro y nano burbujas de aire consideradas en este estudio como las más pertinentes y beneficiosas.**

En el ámbito Internacional es indispensable recordar que la disponibilidad de agua dulce en el planeta Tierra disminuye de forma notable y peligrosa debido a su contaminación, hecho atribuible a procesos antrópicos que desencadenan un desequilibrio ambiental de amplias consecuencias económicas y sociales. Dado que el agua dulce se constituye en el insumo más importante, además del consumo humano, para la actividad productiva ya sea industrial, agrícola o de otro orden, es importante analizar el panorama relacionado con la contaminación hídrica y las posibles opciones que buscan brindar soluciones a esta problemática global.

Existen numerosos reportes internacionales de investigación relacionados con alternativas para el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales, en las que se abordan la Inyección de Micro y Nano Burbujas, la Biorremediación y Procesos de Oxidación Avanzada (POA) como opciones adecuadas para optimizar los métodos tradicionalmente aplicados. Cada uno de los métodos relacionados son distintos pero los tres tienen en común la presencia de microorganismos que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, en razón a que los microorganismos poseen diversas características útiles como la fermentación de materia orgánica sin liberación de malos olores y su capacidad de convertir desechos tóxicos ( $H_2S$ ) en sustancias no tóxicas ( $SO_4$ ) (García, 2006). Las micro y nano burbujas actúan como activador biológico al

[Escriba aquí]

proporcionar mayor cantidad de oxígeno disuelto y permitir que el mismo se conserve por más tiempo en el agua (Simonsen, 2004). A continuación, se enumeran las investigaciones más importantes relacionadas con el tema.

A principios de 1990 en el Departamento de Ingeniería Química del Instituto Politécnico y la Universidad Estatal de Blacksburg, Virginia, se utilizó una dispersión de microburbujas (MBs) para suministrar oxígeno para fermentaciones aeróbicas, dispersión que se forma utilizando solo tenso-activos producidos de forma natural. Las tasas de crecimiento de los cultivos de "*Saccharomyces cerevisiae*" fueron mayores con el burbujeo de MBs que con el burbujeo de gas, encontrándose que la transferencia de oxígeno con burbujeo de MBs es de 190/h y era independiente de la velocidad del impulsor de 100-580 rpm (Kaster, Michelsen, & Velandar, 1990).

De otra parte, el proceso de Flotación por Aire Disuelto (DAF), en sus siglas en inglés, demuestra su eficacia en el tratamiento del agua, en la investigación desarrollada por Mooyoung Han y Seok Dockko para el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Chungbuk en Corea del sur. Esta se centra en la naturaleza electrostática de la burbuja y la partícula/flóculo. Sus resultados presentan una variación del potencial zeta de burbujas y flóculos con pH, el efecto del pH en la eficacia de eliminación de DAF, el efecto del potencial zeta del flóculo y las burbujas con la adición de coagulante. Además, se encuentra que todos los fenómenos se pueden explicar principalmente por la naturaleza electrostática de la burbuja y la partícula por el efecto del tamaño de partícula. Los hallazgos de esta investigación son de gran utilidad para comprender, explicar, modificar y mejorar el proceso de DAF (Han & Dockko, 1998).

En el año 2005 Ken-ichi Ago, Kazuo Nagasawa, Jun Takita, Ruriko Itano y Naoya Mori demuestran en la investigación desarrollada por el Departamento de Química e Ingeniería Química de la Universidad de Yamagata, Japón, que las microburbujas (MBs) pueden mejorar de manera extrema la transferencia de masa gas-líquido debido al aumento en la superficie interfacial. Para estas características, aplican una tecnología de aireación de MBs al cultivo de levadura aerobia "*Rhodoturula mucilaginosa*". Los resultados revelan que es posible cultivar a un caudal muy bajo de aireación de MBs que era entre

[Escriba aquí]

1/100 y 1/10 del caudal de gas requerido en la aireación convencional por un generador (Ago, y otros, 2005).

En 2005, en la ciudad Groninga situada al norte de los Países Bajos, se realiza un proyecto con la prevención de la adhesión microbiana y el desprendimiento de microorganismos adheridos por parte del Departamento de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Groninga, parte de la afirmación de que una interfaz de aire-líquido pasajera también tiene potencial para estimular el desprendimiento microbiano. En este estudio, la capacidad de las microburbujas para estimular el desprendimiento de cepas bacterianas de una superficie de vidrio se compara con los efectos del flujo de fluidos. La adherencia y el desprendimiento de *Actinomyces naeslundii* y *Streptococcus oralis*, se estudian en vidrio montado en una cámara de flujo de placa paralela. La presencia de MBs en el flujo aumenta el desprendimiento de *A. naeslundii* en 2 minutos de flujo, desde 40% en ausencia de MBs hasta 98%. En resumen, los resultados indican que los niveles de fluido extremadamente altos pueden ser efectivos para estimular el desprendimiento microbiano, dependiendo de la tensión involucrada. La adición de MBs al flujo permite el desprendimiento de bacterias tenazmente adheridas no separadas por flujo solo (Sharma, Gibcus, Van der Mei, & Busscher, 2005)

En Tokio, Japón en la Facultad de Ciencias para Sistemas Abiertos y Ambientales de la Universidad de Keio. Pan Li, califica en el año 2006 a la inyección de MBs como una técnica de gran efectividad para la purificación de agua. En este estudio el autor primero evalúa las características de un generador de MBs recientemente desarrollado, y luego hace algunos intentos para mejorar la eficiencia de generación de estas. El sistema mejorado se introduce luego en los procesos avanzados de tratamiento de agua y se examina su efectividad. Las aplicaciones al tratamiento avanzado de aguas estudiadas en la investigación incluyen la flotación de aire y la oxidación de ozono. El autor prueba tres métodos diferentes de generación de MBs para desarrollar un sistema eficiente, utilizando la suspensión con baja concentración como agua modelo, obteniendo el mejor rendimiento el método mejorado en el que el gas y el agua son inducidos y mezclados simultáneamente por la bomba, y dispersados a través del generador de microburbujas de flujo rotatorio. El coeficiente de transferencia de masa volumétrica aumenta ambas tasas de flujo de gas inducido y agua. Se alcanzó un nivel similar de

[Escriba aquí]

kilolitro,  $O^3$  a bajas velocidades de flujo de gas cuando se emplearon MBs. En 2006 se lleva a cabo una investigación adicional sobre la eliminación de contaminantes orgánicos en el agua.

El Sulfóxido de dimetilo (DMSO) es seleccionado como el contaminante modelo porque causa muchos problemas de olor en el tratamiento tradicional de aguas residuales. Los resultados experimentales indican que la ozonización de DMSO es una reacción controlada de transferencia de masa de primer orden. La proporción de utilización de ozono aumenta con una disminución en el índice de flujo de gas. La relación de DMSO eliminado a ozono disuelto se puede elevar hasta tan alto como 0,8 o más con las tasas adecuadas de flujo de gas y agua. También se demuestra que no se producen radicales libres por micro burbujas de aire en el sistema de generación (Li P. , 2006)

Uno de los autores más mencionados en el campo de investigación de métodos para el tratamiento de aguas es Li-bing Chu su proyecto del Departamento de Química de la Universidad de Tsinghua en Beijing, China. Afirma que la ozonización del agua residual contiene colorante azoico, se investiga utilizando un generador de micro burbujas y un contador de burbujas convencional. El generador de micro burbujas produce una solución de micro burbujas lechosa y de alta intensidad en la cual las burbujas tienen un diámetro medio, de menos de  $58 \mu m$ , y una densidad numérica de más de  $2.9 \times 10^4$  cuentas  $ml^{-1}$  a un caudal de gas de menos de  $0.5 l \text{ min}^{-1}$ . En comparación con el contador de burbujas, el coeficiente de transferencia de masa total es de 1,8 veces mayor y la constante de velocidad de primer orden es 3,2 a 3,6 veces mayor a la misma concentración inicial de colorante de  $100 mg l^{-1}$ ,  $230 mg l^{-1}$  y  $530 mg l^{-1}$  en el sistema de micro burbujas propuesto. Los resultados sugieren que además de la mejora de la transferencia de masa, las micro burbujas, que tenían una presión interna más alta, pueden acelerar la formación de radicales hidroxilo, por lo tanto, mejorar la oxidación de las moléculas de colorante (Chu L. , y otros, 2007).

En Japón, la reutilización de aguas residuales se considera una forma importante de enfrentar la escasez mundial de agua potable. Investigadores del Laboratorio de Sistemas Industriales y de Potencia, situado en Ibaraki Japón, se centran en un sistema de desinfección que utiliza micro burbujas y evalúan su capacidad de reutilización de aguas residuales. Los resultados sugieren que cuando se aplican micro burbujas en un sistema de ozonización es posible reducir el tamaño del

[Escriba aquí]

reactor, la cantidad de equipos de descomposición de ozono necesarios y la tasa de dosis de ozono. (Samikura, Hidaka, Murakami, Nobutomo, & Murakami, 2007)

Por su parte Shozo Himuro profesor en el Departamento de Ciencia e Ingeniería Química de la universidad de Kumamoto, Japón, en 2007 propone examinar el efecto del lavado de micro burbujas para eliminar el aceite de la red. La cantidad de petróleo en la red después de los experimentos de lavado disminuye considerablemente, reduciendo en gran medida la unión de hidrógeno, lo que causa una menor tensión superficial, que contribuye a debilitar el enlace de hidrógeno (Himuro, 2007).

Los mismos autores realizan un proceso de ozonización de MBs para mejorar la solubilización de lodos y evalúan su rendimiento en comparación con un contactor de burbujas de ozono convencional. Los resultados de este estudio muestran que la ozonización de micro burbujas es efectiva para aumentar la utilización del ozono y mejorar la solubilización de los lodos. Por un tiempo de contacto de 80 minutos, se obtiene una eficiencia de utilización de ozono de más del 99% utilizando el sistema de micro burbujas, la tasa de inactivación microbiana es obviamente más rápida en el sistema de micro burbujas. A una dosis de ozono de  $0,02 \text{ g O}_3 \text{ g}^{-1}$  TSS, aproximadamente el 80% de los microorganismos se inactivan, se liberan más de dos veces de DQO y nitrógeno total, y ocho veces el contenido de fósforo total del lodo en el sobrenadante, a la misma dosis de ozono. La aplicación de la tecnología de micro burbujas en los procesos de ozonización puede proporcionar un enfoque efectivo y de bajo costo para la reducción de lodo (Chu, y otros, 2008).

En el estudio de Shigeo Hosokawa, desarrollado en la Universidad de Kobe en Japón, los diámetros de las burbujas generadas por un método de disolución presurizada se midieron utilizando anemometría Doppler de Fase (PDA) y un método de procesamiento de imágenes, que se basa en el filtro Sobel y la transformada de Hough. Se obtuvieron las siguientes conclusiones: (1) La distribución del diámetro de las MBs se puede medir con precisión para un amplio rango de diámetro mediante el uso de PDA y el método de procesamiento de imágenes. (2) El diámetro medio de las MBs generadas por la gasificación del gas disuelto es menor que el generado por la ruptura de las burbujas de aire arrastradas aguas arriba de la boquilla de descompresión. (3) El diámetro medio de la burbuja aumenta con el arrastre de burbujas de aire en la corriente

[Escriba aquí]

ascendente de la boquilla de descompresión a un caudal másico constante de gas disuelto (Hosokawa, 2009).

En 2009 otro estudio de Hideki Tsuge, Pan Li, Naotaka Shimatani, Yuki Shimamura, Hideo Nakata y Michio Ohira en el Departamento de Química Aplicada, Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Keio, en Tokio, Japón, señalan que las micro burbujas se encogen rápidamente y colapsan al recibir estímulos físicos. Se considera que los impulsos o radicales libres de OH producidos por el colapso de las micro burbujas tienen un efecto bactericida, aunque el mecanismo preciso involucrado permanece desconocido (Tsuge, y otros, 2009).

En el año 2010, en Beijing, China, los autores Shu Liu, Qunhui Wang, Xuedong Zhai, Qifei y Peikun Huang, desarrollan un novedoso dispositivo de flotación de aire/ozono con micro burbujas, para mejorar la combinación de los procesos de coagulación y ozonización como pretratamiento de lixiviados de vertedero. En el proceso de coagulación, la flotación de micro burbujas reduce la dosificación del coagulante. Las eficiencias de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO), color, nitrato y amoníaco para la flotación de MBs de coagulación son 97, 20, 47 y 163% superiores, respectivamente, que las del proceso de sedimentación en el proceso de ozonización, las eficiencias de eliminación de amoníaco y DQO en la ozonización de MBs se incrementan en 300 y 200%, respectivamente, en comparación con un contactor de ozonización convencional cuando el tiempo de ozonización es de 60 minutos. Los resultados muestran que las MBs pueden alcanzar una mayor tasa de transferencia de ozono ( $MBs = 0,3018 \text{ min}^{-1}$ ) > burbujas de ozono convencionales =  $0,2014 \text{ min}^{-1}$ ). Por lo tanto, la aplicación de la tecnología de MBs en el proceso de combinación de coagulación y ozonización puede proporcionar un enfoque eficaz y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales (Liu, Wang, Zhai, Huang, & Huang, 2010).

Con el fin de mejorar el efecto de pretratamiento de aguas residuales, en el 2010, los autores Shu Liu, Qunhui Wang, Hongzhi Ma, Jun Li y Takashige Kikuchi, llevan a cabo experimentos en el Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencia y Tecnología en Beijing, China. Comparan flotación de MBs de coagulación y flotación de burbujas de aire convencionales. Los resultados demuestran que la flotación de Micro Burbujas reduce significativamente las dosis de coagulante y mejora la tasa de pretratamiento. Además, las Micro Burbujas alcanzan una mayor

[Escriba aquí]

tasa de transferencia de oxígeno:  $1754 \text{ min}^{-1}$ , y el de las burbujas de aire convencionales es de  $0.7535 \text{ min}^{-1}$ . En las mismas condiciones, las eficiencias de eliminación de DQO, color y aceite para la flotación de Micro Burbujas aumentan 30% y 40% respectivamente. La biodegradabilidad de las aguas residuales se incrementa de 0,290 a 0,363 después de la flotación de Micro Burbujas, la aplicación de esta tecnología en los procesos de coagulación puede proporcionar un enfoque eficiente y rentable para el tratamiento de aguas residuales. (Liu, y otros, 2010)

De otra parte, en relación con la utilización de nano burbujas, en Taiwan el Instituto de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de ChiaoTung, investiga en el año 2007, la viabilidad de la tecnología de Flotación de Nano Burbujas con el proceso de coagulación/floculación para el tratamiento mejorado del agua residual de Pulido Mecánico Químico (CMP), se investiga a través de experimentos de laboratorio y de escala piloto. Como precursor, la combinación efectiva de activador/colector se identifica utilizando un reactor de flotación a escala de laboratorio. Los resultados muestran que el cloruro de polialuminio (PAC)/oleato de sodio (NaOl) es la mejor combinación de activador/colector, respectivamente, y su aplicación en el generador de nano burbujas con proceso de coagulación aumenta la eficiencia de clarificación de aguas residuales en un 40% en comparación con el proceso de coagulación/floculación tradicional. La evaluación de costos y rendimiento refleja que las aguas residuales pueden tratarse de manera eficiente a un costo mínimo utilizando este enfoque (Tsai, Kumar, Chen, & Lin, 2007).

Igualmente, los autores Moaming Fan, Daniel Tao, Rick Honaker y ZhenfulLuo, en el año 2010, desarrollan un sistema especial de generación de nano burbujas para evaluar su efecto en la flotación por espuma, en la Universidad de Kentucky, Departamento de Ingeniería de Minas, y en la Escuela de Ingeniería Química y Tecnología en Xuzhou, China. Su diseño experimental central lo componen cinco niveles de ocho factores para investigar ocho parámetros importantes que rigen el tamaño medio y el volumen de NBs. Estos parámetros del proceso incluyen concentración de surfactante, contenido de oxígeno disuelto, contenido de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) disuelto, caída de presión en la boquilla del tubo de cavitación, concentración de partículas hidrófobas  $<50 \text{ nm}$ , concentración de partículas hidrófilas  $<50 \text{ nm}$ , temperatura y el intervalo de tiempo después de la generación de NBs. Se investigan las propiedades, la estabilidad y la

[Escriba aquí]

uniformidad de las NBs. El estudio de los efectos de las MBs producidas sobre las características de las soluciones de MBs y las soluciones de burbujas de escala milimétrica se realiza en una columna de 50,8 mm. (Fan, Tao, Honaker, & Luo, 2010)

En el 2010 MoamingFan, desarrolla otro estudio en la Universidad de Kentucky, Estados Unidos, en el cual se adquieren cuatro muestras diferentes de fosfato, se caracterizan y prueban en una columna de flotación a escala de laboratorio, se logra una mejora significativa en la recuperación de la flotación de fosfato grueso utilizando Nano Burbujas generadas por cavitación, aunque sus efectos difieren entre las cuatro muestras de prueba de fosfato. Los resultados indican que las nano burbujas aumentan la recuperación de fosfato hasta en un 10% ~ 30%, dependiendo de la característica de las muestras de fosfato. El efecto de mejora de las nano burbujas en las partículas difíciles de flotar es más significativo que el de las partículas fáciles de flotar, especialmente a bajas dosificaciones de colector. Las NBs reducen la dosis del colector en 1/3 a 1/2, duplican la constante de flotación de fosfato grueso y aumentan el índice de selectividad de flotación hasta en un 25% (Fan M, 2010).

La flotación con espuma de carbón es un proceso de limpieza ampliamente utilizado para separar el carbón de las impurezas minerales, se sabe que la flotación de partículas gruesas de carbón, es difícil y compleja, así que se evalúan los efectos de las Nano Burbujas en la flotación del tamaño de partícula variable, densidad de partículas y muestras de carbón de flotabilidad utilizando un banco de celdas de flotación a escala piloto, una báscula de laboratorio y una columna de flotación. Los resultados muestran que el uso de Nano Burbujas aumenta la recuperación de flotación en un 8% ~ 27%, aumentan las constantes de velocidad de flotación de partículas de carbón del tamaño de 600~355, 355~180, 180~75 y 75~0 micras en 98.0%, 98.4%, 50.0% y 41.6%, respectivamente. El índice de selectividad de separación se incrementa en 34% (Fan, Tao, Honaker, & Luo, 2010). Es de aclarar que aunque la tecnología de micro y nanoburbujas ha llamado la atención en muchos campos de investigación, el estado del agua después de la introducción de esas burbujas aún no está claro. En efecto, Yumi Ushikubo, Takuro Furukawa y Ryou Nakagawa de la Facultad de Agricultura en la Universidad de Tokio, Japón. Investigan la existencia y estabilización de Nano Burbujas después de su generación. La presencia de partículas de tamaño nanométrico se detecta a través de la dispersión dinámica de la luz durante días, cuando se utiliza oxígeno puro para generar las burbujas, y durante menos de 1



[Escriba aquí]

hora, en el caso de las Micro Burbujas. El tiempo de relajación de espín-retículo, aumenta con la introducción de Micro Burbujas en solución de iones de manganeso, lo que indica la presencia de una interfase gas-líquido que adsorbe los iones de manganeso. (Menendez, 2017)

Este estudio sugiere una gran posibilidad de la existencia de Micro Burbujas y Nano Burbujas en el agua durante mucho tiempo. La estabilidad de las nano burbujas está respaldada por la interfaz líquido-gas eléctricamente cargada que crea fuerzas de repulsión que evitan la coalescencia de las burbujas, y por la alta concentración de gas disuelto en el agua que mantiene un pequeño grado de concentración entre la interfaz y el volumen líquido (Ushikubo, y otros, 2010).

Otros investigadores como S.R.M. Kutty, Felix tanus Wisno Winarto, S.I.U. Gilani, A. Anizam, W.W.Z Karimah, Mohamed Isa, en el año 2010, tomando en cuenta la importancia de la aireación en los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales y su relación con la necesidad de oxígeno para los microorganismos en la degradación de la materia orgánica, evalúan la efectividad del uso de microdifusores en la degradación de la materia orgánica, construyen dos reactores A y B, de tamaño 140x140x500 mm, para tratar aguas residuales municipales. La aireación en los reactores A y B se proporciona utilizando un difusor milimétrico y un micro difusor, respectivamente. De los resultados del estudio, se encuentra que para los difusores micro y milimétricos, el parámetro cinético de degradación es 0.041 y 0.028 respectivamente, los difusores micro y milimétricos eliminan la DQO en aproximadamente el 87% y el 81% respectivamente, y eliminan la DCOD en aproximadamente el 91% y el 75%, respectivamente. Se puede concluir que el uso de un micro difusor puede proporcionar una mayor degradación de la materia orgánica. (Kutty, y otros, 2010)

Las propiedades únicas de las Micro Burbujas, como una alta adsorción de impurezas en su superficie, son difíciles de verificar porque son demasiado pequeñas para observarlas directamente. Por lo tanto, Tsutomu Uchida, Seiichi Oshitay Masayuki Ohmori, de la Universidad de Hokkaido, Sapporo en Japón, en la Facultad de Ingeniería y Física Aplicada, a través del uso de un microscopio electrónico de transmisión (TEM) con el método de réplica fracturada en congelación para observar las MBs y NBs de oxígeno (O<sub>2</sub>) en soluciones, encuentran que gracias a las características de las Micro Burbujas y Nano Burbujas esféricas

[Escriba aquí]

están son capaces de adsorber partículas de impurezas circundantes en su superficie (Uchida, y otros, 2011).

Asthutosh Agarwal, Wun Jern Ng y Yu Liu de la División de Ingeniería Ambiental y de Recursos Hídricos, Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Tecnológica de Nanyang, Singapur. En 2011, señalan que la aplicación de Micro Burbujas y Nano Burbujas, se revisa con los enfoques sobre la degradación de compuestos tóxicos, desinfección del agua y limpieza/descontaminación de superficies sólidas, incluida la membrana, debido a su capacidad para producir radicales libres se puede esperar que las perspectivas futuras de Micro Burbujas y Nano Burbujas sean inmensas y aún más, para explorar en el estudio afirman que el generador de Venturi tipo Micro Burbujas tiene como ventajas su tamaño compacto, baja potencia de la bomba y generación de alta densidad de Micro Burbujas normalmente con un diámetro medio por debajo de 100  $\mu\text{m}$  (Agarwal, Jern, & Liu, 2011)

Tomando en cuenta que en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) a gran escala, el reactor bioquímico aeróbico es el proceso más importante, para mejorar un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, un estudio del Departamento de Química Aplicada Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Keio en 2011, en el que participan Koichi Terasaka, Ai Hirabayashi y Takanori Nishino, proponen un novedoso sistema de aireación que utiliza un generador de Micro Burbujas de Flujo de Líquido en Espiral. Este sistema tiene algunas ventajas tales como tamaño compacto, portabilidad y velocidad de disolución de oxígeno rápida. Encuentran condiciones más adecuadas para tratar los desechos orgánicos, tanto el coeficiente de transferencia volumétrica de oxígeno en la fase líquida, el atrapamiento de gas y el consumo de energía por unidad de volumen de líquido aumentan. Todos los generadores de MBs permiten que el oxígeno se disuelva más rápido que los aireadores típicos (Terasaka, Hirabayashi, Nishino, Fujioka, & Kobayashi, 2011).

Fumiyuki Kobayashi de la Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Ciencias Veterinarias y de la Vida, Sakai, Musashino, en la ciudad de Tokio Japón, para desinfectar soluciones de cultivo hidropónico crean un método utilizando Micro Burbujas de ozono: examinan la actividad desinfectante de las Micro Burbujas contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* y *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovoro*, las Micro Burbujas tienen una mayor solubilidad

[Escriba aquí]

y permanecen en el agua durante un período más largo, lo que resulta en una actividad desinfectante extremadamente alta contra ambos fitopatógenos. Además, la actividad desinfectante y la durabilidad del agua tratada con Micro Burbujas contra ambos fitopatógenos aumentan en la concentración inicial de ozono disuelto. Estos resultados sugieren que las Micro Burbujas pueden ser adecuadas para su uso como un nuevo desinfectante contra fitopatógenos (Kobayashi, Ikeura, Oshato, Goto, & Tamaki, 2011). Los generadores de Micro Burbujas son la parte más importante en esta tecnología para el tratamiento del agua. El estudio introduce muchos tipos y funciones de generadores de Micro Burbujas y su tendencia de desarrollo. Uno de ellos elaborado por Lau Hao Wen, Azhar Bin Ismail y P.M. Menon en el Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Singapur. Es definido como un tratamiento de Micro Burbujas ecológico que utiliza aire, ozono y gases de CO<sub>2</sub> y que prácticamente no requiere productos químicos, se han realizado tres estudios de casos que verifican la eficacia de las Micro Burbujas en el tratamiento de aguas residuales: (i) tratamiento de aguas residuales oleosas derivadas de la limpieza del casco de un buque cisterna, (ii) tratamiento del agua de lavandería de un hotel y tratamiento del agua del estanque de peces. Después del tratamiento con Micro Burbujas, se determina que el agua tratada es adecuada para el reciclado o la descarga al medio ambiente. Los resultados de las pruebas muestran que las Micro Burbujas de aire y ozono en los tratamientos de aguas residuales logran grandes reducciones en TSS, DBO y DQO en las muestras analizadas. (Wen, y otros, 2012)

Al mismo tiempo Shu Liu, Qunhui Wang, Tichang Sun, Chuanfu Wuyang Shi, del Departamento de Ingeniería Ambiental en la Universidad de Ciencia y Tecnología, Beijing, China. Llevan a cabo experimentos de comparación con tres tipos de Micro Burbujas (aire, ozono y oxígeno) en el tratamiento del proceso de flotación de coagulación del agua residual, en condiciones de coagulación óptimas obtenidas a partir de la medición del potencial zeta. La flotación de Micro Burbujas con ozono muestra el mejor rendimiento, exhiben valores elevados de potencial zeta absoluto, creando fuerzas de repulsión, evitando así la coalescencia de las burbujas y creando una interacción atractiva entre burbujas y partículas en el agua residual. Además, la intensidad de fluorescencia de tres muestras de Micro Burbujas evidencia que el sistema de Micro Burbujas de ozono produce la mayor cantidad de radicales hidroxilo, lo que contribuye a la degradación de material orgánico en el agua residual. Comparado con la flotación de Micro Burbujas de aire y los procesos de flotación de Micro Burbujas de oxígeno, la eficiencia de eliminación de piridina del

[Escriba aquí]

proceso de flotación de Micro Burbujas de ozono es, respectivamente, 4.5 y 1.7 veces mayor, y la eficiencia de eliminación de benceno 3.6 y 1.5 veces mayor. Finalmente, los modelos de drenaje y los modelos de difusión de oxígeno de los tres tipos de muestras de agua de Micro Burbujas verifican la larga persistencia de los tres tipos de Micro Burbujas en el agua. Se concluye en este estudio de caso que la aplicación de la tecnología de Micro Burbujas de ozono en los procesos de coagulación puede proporcionar un enfoque eficiente y rentable para el tratamiento de aguas residuales que contienen compuestos orgánicos (Liu, Wang, Sun, Wu, & Shi, 2012)

Surya K. Pallapothu y Adel M. AlTaweel en el año 2012, en el Laboratorio de Investigación de Mezcla y Separaciones Multifase, Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Aplicadas, Universidad Dalhousie, Halifax, Canadá. Realizan una investigación sobre el impacto de los contaminantes sobre las características de retención y mezclado del gas encontradas en los reactores de levantamiento aéreo interno. Se investiga usando una unidad de escala piloto de 200 litros equipada con un burbujeador transónico de dos fases capaz de generar Micro Burbujas, se usan pequeñas dosis de un tensioactivo catiónico (0-50 ppm de dodecilsulfonato de sodio (SDS)) para simular el efecto de retardación de la coalescencia encontrado en la mayoría de las corrientes industriales. El resultado es la formación de burbujas que varían en tamaño entre 280 y 1.900  $\mu\text{m}$ , excelente rendimiento hidrodinámico que representa una mejora de 5 veces en el atraso de gas riser y una mejora de hasta 8 veces en la velocidad de circulación del líquido, se espera que produzca un buen rendimiento de mezcla y transferencia de masa a bajas velocidades de disipación de energía (Pallapothu & Taweel, 2012).

Por su parte, la distribución del tamaño de las Nano Burbujas se mide mediante el método de Difracción Láser, las Nano Burbujas se producen utilizando un generador diseñado y fabricado a partir del fenómeno de cavitación hidrodinámica en tubos Venturi, el análisis estadístico utilizado por Ahmadi R, Darban Khodadadi A, del Departamento de Ingeniería Ambiental, Procesamiento de Minerales, Facultad de Ingeniería, Universidad Tarbiat Modares, Teherán, Irán en el año 2013, con el fin de desarrollar un modelo para predecir el tamaño mediano de las Nano Burbujas, muestra que la concentración de espuma, la temperatura de la solución y el caudal de aire tienen el mayor efecto sobre el tamaño de las Nano Burbujas, que al aumentar la concentración de vaporizador y el caudal de aire, y que el tamaño medio de las Nano Burbujas

[Escriba aquí]

(D50) disminuye. Los resultados también indican que una adición de 20 ~ 40 ° C de temperatura, aumenta el tamaño medio de las Nano Burbujas, formadas en la solución. En condiciones óptimas se encuentra que la concentración de espuma, la temperatura de la solución y el caudal de aire son de 69.5 mg / h-1, 20 ° C y 0.3 Lmin-1, respectivamente(Ahmadi & Darban Khodadadi, 2013).

ChunLiu, de la Facultad de Ciencias Ambientales e Ingeniería, Universidad de Ciencia y Tecnología de Hebei, Shijiazhuang, China en 2013. Demuestra que la aireación de Micro Burbujas puede proporcionar una ventaja potencial para el tratamiento biológico aeróbico de aguas residuales debido a la mejora de la transferencia de masa de oxígeno. En este estudio se logra una eliminación de DQO estable y eficiente, pero la eliminación de amoníaco se vuelve ineficiente a una alta tasa de carga orgánica. La capacidad de eliminación de DQO del área de membrana, debe controlarse alrededor de 6,69 kgCOD / (m<sup>2</sup> d), considerando la concentración estable de DO y la eliminación eficiente de contaminantes. La flotación de Micro Burbujas también proporciona una contribución a la suspensión y eliminación de contaminantes coloidales. La utilización de oxígeno se estima tan alta como casi el 100% en ciertas condiciones en función de la eliminación de contaminantes, pero el consumo de energía de este sistema de aireación también es muy alto. La investigación sugiere utilizar membranas SPG hidrófobas y aumentar su capacidad de suministro de aire, lo que podría contribuir al ahorro de energía(Liu, Tanaka, Zhang, & Kubota, 2013).

En otra investigación en el año 2014, de la Universidad de Tsinghua, Departamento de Ingeniería Hidráulica. Se tiene en cuenta que el contenido de oxígeno en el agua es un factor crítico para aumentar la eficacia de la biorremediación para las aguas contaminadas, y que la inyección de Micro-Nano Burbujas (MNB) parece ser una técnica efectiva para aumentar el oxígeno en el agua en comparación con la tecnología tradicional de burbujeo de aire con macro burbujas. Los resultados muestran que los MNB pueden aumentar enormemente el contenido de oxígeno en el agua. Una concentración más alta de surfactante en agua disminuye el tamaño de las burbujas, reduce la velocidad de disolución y aumenta el potencial zeta. Además, los MNB con mayor valor de potencial zeta tienden a ser más estables y la baja velocidad de subida de los MNB contribuye al estancamiento prolongado en el agua. Se sugiere que la aireación de Micro-Nano

[Escriba aquí]

Burbujas, un potencial en la tecnología de remediación de aguas subterráneas, puede mejorar en gran medida el efecto de biorremediación(Li, Hu, Song, & Lin, 2014).

TianlongZheng, Qunhui Wang, Tao Zhang y Nicholas Smale, de Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencia y Tecnología, Beijing, China. Centro de Desalinización y Reutilización del Agua, Universidad de Ciencia y Tecnología Rey Abdullah, Thuwal, Arabia Saudita. Escuela de la Tierra y Ciencias del Medio Ambiente, Universidad de Adelaida, Australia, respectivamente. En el año 2015, investigan la ozonización de Micro Burbujas para el tratamiento de aguas residuales de fibra acrílica refractaria, observando una mayor generación de radicales hidroxilo y un mayor potencial zeta de MBs, la biodegradabilidad de las aguas residuales también mejora significativamente mediante la ozonización de Micro Burbujas, que se atribuye a la degradación mejorada de alcanos, compuestos aromáticos y muchos otros compuestos orgánicos refractarios en las aguas residuales. La ozonización de Micro Burbujas puede ser un proceso de tratamiento más efectivo que la ozonización de macroburbujas tradicional para aguas residuales (Zheng, y otros, 2015).

Deendarlianto, Wiratni, Alva EdyTontowi, AnggitaGigihyWahyuIriawan, realizan un estudio experimental en la Universidad de GadjahMada, Departamento de Ingeniería Mecánica e ingeniería química, en Indonesia. Para examinar las capacidades del generador de Micro Burbujas en el tratamiento aeróbico de aguas residuales en condiciones industriales y de laboratorio. Los tipos de generador de Micro Burbujas probados son tubos y orificios porosos y un generador de Micro Burbujas con un cuerpo esférico y orificios perforados. Los resultados muestran el aumento en la cantidad de micro burbujas con una mayor capacidad para aumentar el oxígeno, y señalan que es necesario organizar la ubicación de cada generador de Micro Burbujas en la configuración para minimizar la coalescencia de las burbujas. Además, al usar una bola biológica como medio poroso para la unión de microorganismos en el tratamiento aeróbico de aguas residuales, la prueba de factibilidad arroja los siguientes resultados: El carbono a demanda (DQO) puede reducirse a alrededor de 354 mg/l; el valor de Oxígeno Disuelto (DO) es mayor a 2 mg/l el nivel de Phse mantiene en 6, y la temperatura permanece no más de 35°C, que cumple con los requisitos del tratamiento aeróbico de aguas residuales(Deendarlianto, Wiratni, Tontowi, Indarto, & Wahyu Iriawan, 2015)

[Escriba aquí]

Isaac Hung en 2016, de la Universidad de Arizona, Departamento de Agricultura y ingeniería de Biosistemas en Estados Unidos, estudia el uso de la tecnología MBs para el tratamiento del agua en combinación con el ozono gaseoso para ello elige un experimento de diseño factorial con el fin de probar los efectos de las MBs sobre la concentración de un organismo indicador como el *E. coli* en el agua, así como sus efectos sobre el gas ozono o gas nitrógeno que se inyecta en el agua contaminada con este indicador, como tratamientos durante hasta 60 minutos. Los resultados indican que las Micro Burbujas proporcionan beneficios cuando se usan junto con el gas ozono, que las burbujas regulares y finas no proporcionan. Los beneficios permiten que la concentración de ozono disuelto en el agua disminuya a un ritmo más lento y permita que más ozono se disuelva en agua a un ritmo mayor que los métodos convencionales de burbujeo de ozono. Si bien en este conjunto particular de experimentos, la concentración de ozono disuelto en agua no supera los 2 mg /l., lo que no permite una rápida desinfección y tratamiento del agua, se cree que con un generador de ozono más potente se pueden obtener mejores resultados; además, el proyecto demuestra los beneficios y el potencial de inyectar gas ozono con MBs en el agua como una manera de desinfectar y tratar eficazmente el agua (Hung, 2016).

En otro estudio, TekileAndinet, Ilho Kim y Jai-Yeop Lee del Departamento de Ingeniería de Construcción Ambiental en la Universidad de Ciencia y Tecnología, República de Corea en el año 2016. Utilizaron un generador de Micro Burbujas de orificios multietapa para investigar las características de formación de Oxígeno Disuelto (DO) y aumentar su eficiencia, al considerar la presión del saturador, el suministro de agua y las tasas de flujo de gas como los principales factores operativos. El efecto de cambiar los parámetros se describe en términos de rendimiento de disolución usando la tasa de transferencia de masa volumétrica, que es un elemento muy importante para el diseño y ampliación del aireador. Se toman valores de presión de 1 a 6 atmósferas (atm) para el análisis. Para mejorar la eficiencia de transferencia de oxígeno del orificio multietapa, la línea de suministro interno se controla para hacer circular las burbujas de agua hasta un 300% de ciclo. El coeficiente de transferencia de masa volumétrica se limita por debajo de 0,01 por minuto para el aire; sin embargo, el valor varía de 0.10 a 0.13 por minuto para el oxígeno a una tasa de flujo de 4.5 l/min, mostrando un patrón creciente con presión. La característica de transferencia se duplica, con la relación de circulación aplicada, porque la circulación podría multiplicar el número de Micro Burbujas. Examinando las diversas

[Escriba aquí]

condiciones de operación dentro del rango establecido para el costo de generar 1 kg de OD, bajo una velocidad de inyección de gas de 1.27 m/s, una presurización de líquido más alta muestra un menor costo por producción en caso de oxígeno que el aire. Por lo tanto, el entorno del área del fondo del agua natural puede mejorarse económicamente utilizando microburbujas de oxígeno, considerando la disolución excesiva (Andinet, Kim, & Lee, 2016).

En este año 2017, Sharifuzzaman M. D, Yang H. N, Park S. M. y Park J.Keum realizan un estudio del Departamento de Ingeniería de Maquinaria Industrial, Universidad Nacional de Suncheon, Corea del Sur, en el que se observa y compara el efecto de estas tecnologías como un proceso previo al tratamiento para eliminar el fluoruro. Las aguas residuales de Kumho Petrochemical Co. Ltd., cuyo producto final son resinas sintéticas, se infunden con micro-nanoburbujas, electro-oxidación y gas ozono durante 2 horas y luego se realiza el ajuste del pH mediante la adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . PAC 11%, F900 y Alum, se usan después de eso y luego se agrega el polímero. El pretratamiento con micro-nanoburbujas muestra mejores porcentajes de eliminación que los de la electrooxidación y el pretratamiento con ozono. La combinación de F900 y A-polímero con agua residual pretratada con micro-nano burbujas parece tener un porcentaje de eliminación de flúor más alto que las otras combinaciones (76.7%), mientras que sin pretratamiento, el porcentaje máximo de eliminación de fluoruro es de 69.6%. Por lo tanto, se obtiene un aumento del 7.1% sobre el tratamiento tradicional para el pretratamiento con burbujas de aire. Para la electrooxidación y el pretratamiento de ozono, los porcentajes de eliminación de flúor están dentro del mismo rango sin valores previos al tratamiento. En caso de eliminación de DQO, se observa que la combinación de F900 y A-polímero con agua residual pretratada con micro-nanoburbujas es la mejor (63.6%), mientras que sin pretratamiento, el porcentaje máximo de eliminación de DQO es de 54.9%. Para la electrooxidación y el pretratamiento con ozono, el porcentaje de eliminación de DQO se encuentra entre el rango de 31.4% -47.5%, que es incluso más bajo que sin los valores previos al tratamiento. (Sharifuzzaman, Yang, Park, & Park, 2017)

La tecnología de micro burbujas se emplea para aumentar la tasa de transferencia de masa de ozono y mejorar la oxidación del ozono de aguas residuales textiles prácticas. **En el año 2017** los experimentos de Li-Bing Chu en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Tsinghua en Beijing, China, se realizan utilizando un generador de micro burbujas y un contactor de burbujas, que se usa comúnmente en el sistema de ozonización. El generador de micro



[Escriba aquí]

Las microburbujas producen una solución lechosa y de alta intensidad, que alcanza una tasa de transferencia de oxígeno más alta a un caudal de gas de entrada más bajo. Se obtuvo una tasa volumétrica de transferencia de oxígeno de 0.086-0.413 kg/m<sup>3</sup> h y un coeficiente de transferencia de masa total de 0.1072-0.4859 min<sup>-1</sup> a tasas de flujo de aire de 0.02-1.5 dm<sup>3</sup> / min. Durante la ozonización de aguas residuales textiles prácticas mediante el uso del sistema de micro burbujas, el ozono de entrada puede utilizarse casi por completo, y la velocidad de decoloración y reducción orgánica es mucho más rápida. La eficiencia de eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el sistema de MBs es más alta en un 20%. Los resultados revelan que además de la mejora de la transferencia de masa de ozono, las MBs podrían mejorar la oxidación de las aguas residuales textiles reales. (Bach, Macassi & Giuliana, 2017)

Kaushik G. y Chel A., Indian Institute of Technology Delhi, India, en el año 2017 presentan una revisión de los mecanismos de producción de radicales libres a partir de Micro Burbujas, centrándose en el tratamiento del agua. Se concluye que debido a su capacidad para producir radicales libres, las Micro Burbujas tienen un gran potencial para la aplicación a gran escala en el tratamiento del agua y el efluente residual y, por lo tanto, deben ser un foco importante de investigación y desarrollo de procesos (Kaushik & Chel, 2017).

Los parámetros de caracterización con las últimas técnicas de medición y análisis de microburbujas y tecnologías de nanoburbujas indican, en algunas de las principales aplicaciones de estas tecnologías en los procesos de tratamiento del agua, sobre la base de las revisiones, se identifican para su estudio varias áreas potenciales para la investigación sobre las lagunas de oxidación en la aplicación de burbujas en las tecnologías de tratamiento de agua y aguas residuales. En este sentido, el artículo de Temesgen T., Bui T., Han M., Kim T. y Park H. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Nacional de Seúl, Corea del Sur en el año 2017, proporciona un conocimiento detallado del tema con el objetivo de centrarse en la aplicación de microburbujas y nanoburbujas en la tecnología de tratamiento del agua (Temesgen, Bui, Han, Kim, & Park, 2017)

## **2.1 Antecedentes en América Latina**

En el contexto latinoamericano investigaciones recientes indican las ventajas de combinar procesos anaeróbicos y aeróbicos para el tratamiento de aguas residuales municipales,

[Escriba aquí]

especialmente en países de climas tropicales y ecuatoriales. Aunque esta configuración se considera una alternativa económica, no se ha investigado con suficiente detalle a nivel suramericano. En 2001 se realiza en el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, un estudio en una planta a escala piloto que comprende un bioreactor seguido de un sistema de lodo activado, que trata las aguas residuales municipales reales de una gran ciudad de Brasil, Belo Horizonte. La planta es monitoreada y operada por 261 días, divididos en cinco fases diferentes, trabajando con entradas constantes y variables. La planta muestra una buena eliminación de DQO, con eficiencias que van del 69% al 84% para el bioreactor, del 43% al 56% para el sistema de lodo activado solo y del 85% al 93% para el sistema en general. La concentración final de sólidos suspendidos del efluente es muy baja, con promedios, que van de 13 a 18 mg /l en las fases típicas de la investigación. Con base en el buen desempeño general del sistema, se cree que es una mejor alternativa para los países de clima cálido que el sistema de lodo activado convencional, especialmente considerando el tiempo total de retención hidráulica baja el ahorro en el consumo de energía, la ausencia de lodo primario y la posibilidad de espesar y digerir el exceso de lodo aeróbico en el reactor (Sperling, V, & Lemos Chernicharo, 2001).

Por su parte, profesionales y estudiantes de pre y post grado en el marco del proyecto Anillos de Investigación que desarrolla el doctor Luis Cisternas Arapio en 2014 en Chile, tratan el tema de la remoción del agua de mar de los elementos que puedan afectar el proceso minero, causando así un menor impacto ambiental y disminuyendo el uso de energía (Arapio, 2014).

Marino Morikawa, un científico peruano-japonés, en 2011, empieza el proceso de recuperación del humedal El Cascajo, a tan solo metros del Océano Pacífico, en el distrito Chancay en la provincia de Huaral del Departamento de Lima, Perú. Morikawa diseña un sistema que combina la nanotecnología con sistemas biológicos que aprovechan los materiales locales para purificar el agua del humedal de una forma más económica, rápida y eficiente. Los datos científicos son alarmantes: el Índice de Demanda Química de Oxígeno (DQO), que se espera esté entre 1 y 8 miligramos por litro (mg/l) y en el agua residual puede alcanzar un valor entre 900 y 1000, se encuentra en 1380 en julio de 2011. Para este caso la técnica consiste en el micro-nano-burbujeo y en los bio-filtros para reducir la carga contaminante. En contraste, otras técnicas en el mercado permiten que las pequeñas burbujas “envuelvan” a los contaminantes, llevándolos a la superficie.

[Escriba aquí]

Morikawa divide el Cascajo en ocho áreas mediante cañas de bambú. Esta sectorización cumple una doble función: como barrera física para que las plantas acuáticas superficiales no invadan las áreas que se limpian y como un filtro natural para las partículas suspendidas en el agua. En los primeros espejos de agua inserta envases hechos con arcilla local, para que actúen como biofiltros que logran absorber metales como cadmio y plomo, microorganismos y carga inorgánica. Con una bomba de aire como las usadas para pintar, un motor eléctrico y varias mangueras que compra en una ferretería, emula la oxigenación de una pecera casera, para implementar la técnica del micro-nano-burbujeo. Su metodología genera dudas y críticas en algunos actores, ya que no ha publicado ningún artículo científico al respecto, no obstante, el científico informa que tienen más de 20 sistemas para la recuperación de hábitats naturales: humedales, bosques y represas basados en la actividad biológica de microorganismos bajo el estímulo de las micro y nano burbujas. (Torres, 2015)

También en Perú, Rudy Cruz y Jhonny Valverde Flores del Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo - Lima Norte, Perú y el Instituto de Nanotecnología, Centro de Investigación y Capacitación para el Desarrollo Regional, (CINCADER) Lima, Perú. Realizan análisis preliminares de las aguas residuales domésticas del distrito de Carhuaz, con coliformes totales (a 35°C) de 240.000 UNT/100mL y coliformes termotolerantes (a 44.5°C) de 130 000 UNT/100mL a pH 7.17 superando los valores ambientales. Los tratamientos se llevan a cabo con el generador de micro- nanoburbujas de aire-ozono con un caudal de agua de 4,67 l/min y una presión de la mezcla aire-ozono de 90 PSI, logrando una reducción de coliformes totales de hasta 100 UNT/100 mL (99,96%) y coliformes fecales hasta 100 UNT/100mL (99,92%) (Cruza & Valverde, 2017).

En el mismo país, Romulo Reyes y Jhonny Valverde también aplican un tratamiento con la generación de micro-nanoburbujas de aire. En la investigación, que es experimental, se hace el armado del generador de micro-nanoburbujas de aire para la realización del tratamiento por dosificación. Se realizan los análisis respectivos para determinar el grado de contaminación y así tratarlas con micro-nanoburbujas en diferentes cantidades y para tener el mejor resultado. Los resultados del tratamiento con micro-nanoburbujas de aire son favorables, se logra una eficiencia de 66.21%. (Reyes & Valverde, 2017).

[Escriba aquí]

Siguiendo con esta contextualización, el trabajo de Salguero y Valverde Flores, pretende disminuir o eliminar los contaminantes mediante la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se considera como una prueba de gran valor en el análisis de los efluentes de aguas negras o muy contaminadas. Los resultados obtenidos del Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo - Lima Norte, Perú y el Instituto de Nanotecnología, Centro de Investigación y Capacitación para el Desarrollo Regional, (CINCADER) Lima, Perú, muestran que la muestra inicial promedio es de 173 mg/l. luego del tratamiento a 15 minutos con Micro Nano Burbujas de aire se obtuvo 53 mg/l y con Micro Nano Burbujas de ozono se obtuvo 53 mg/l., la mejor eficiencia obtenida es de 69.36% (Salguero & Valverde, 2017).

Por otra parte, la contaminación marina en América Latina y el Caribe se debe a las descargas de aguas residuales domésticas en el mar, que no reciben tratamiento previo, lo que genera problemas de salud para la población. Esto se debe a la presencia de coliformes termotolerantes y desechos sólidos en las playas de la costa peruana. La playa Los Pavos, así como otras playas en Lima, zonas de recreación muy populares especialmente en verano, cumplen con los parámetros de calidad de limpieza de playas y presencia de servicios higiénicos, calificando, así como una playa saludable. Sin embargo, el análisis realizado por Benazir Abate y Jhony Valverde Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo - Lima Norte, Perú y el Instituto de Nanotecnología, Centro de Investigación y Capacitación para el Desarrollo Regional, (CINCADER) Lima, Perú, encuentran la presencia de coliformes termotolerantes de 1400 NMP / 100mL a pH 7.13 y 44.5 °C (o 112.1 °F), excediendo los valores ambientales estándar. Para reducir esta cantidad considerable de coliformes termotolerantes, se prueban Micro Nano Burbujas de agua de mar (MNB) y de ozono de aire. Estas microburbujas se generan a través de un dispositivo para la generación de Micro Nanoburbujas inventado por el Dr. Jhonny Valverde Flores. La relación de volumen aire / ozono es de 3/1, el tamaño de la MNB es de 7 µm, con un flujo de agua de 4.67 l/min y una presión de la mezcla aire-ozono de 90 PSI. La relación de volumen de agua de mar / agua con MNB para la muestra A es de 3/1, para la muestra B de 1/1 y para la Muestra C de 1/3. Como resultado de la investigación, la presencia de coliformes termotolerantes de la muestra A disminuye a 56 NMP / 100mL, la muestra B disminuye a 79 NMP / 100mL y la muestra C disminuye a 130 NMP / 100mL, logrando una eficiencia del 96%, 94.36% y 90.71%, respectivamente (Benazir & Valverde, 2017).

[Escriba aquí]

En Venezuela, Riera y Graterol buscan diseñar una unidad de flotación con aire disuelto (FAD) con Micro Burbujas para la remoción de sólidos suspendidos (SST), aceites y grasas (AyG) de las aguas residuales generadas en una empresa manufacturera (Riera & Graterol, 2015).

Sjogreen, en Colombia, propone la caracterización de NBs de oxígeno en soluciones salina de NaCl con el fin de explorar la concentración y tamaño por medio de saturación de oxígeno en la solución, y por procesos de cavitación para así caracterizar los diferentes tamaños y los niveles de agregación, en este sentido, pudo determinar la existencia de una relación de la temperatura con el tamaño y permanencia de la burbuja (Sjogreen, 2015).

[Escriba aquí]

## Capítulo III. Marco referencial y metodológico

### 3. Teoría de la doble capa

Existen diversas teorías que explican el mecanismo de transferencia de gases, la más empleada es la Teoría de Doble Capa propuesta por Lewis & Whitman en 1942. Esta plantea un modelo físico que indica que cuando un gas entra en contacto con un líquido se observa la existencia de una interface gas-líquido formando dos capas una gaseosa y otra líquida, por las cuales se transfiere el gas por difusión molecular. (Tamburrino, 2013). Esta teoría también señala que a medida que el agua entra en contacto con un constante flujo de gas su temperatura va en aumento de forma gradual, fenómeno físico que impide que el oxígeno presente en el aire se mezcle con el agua, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto y porcentajes de saturación. En el caso particular de este estudio hay necesidad de tener en cuenta lo afirmado en esta teoría al momento de realizar las pruebas de campo, es decir, identificar un tiempo óptimo de inyección de Micro y Nano Burbujas, su implementación, caudales de tratamiento y tiempos de retención real.

Por otra parte, se debe considerar que las bacterias predominantes en aguas residuales son las saprofitas, responsables de la degradación y mineralización de los compuestos orgánicos, y que en su mayoría pertenecen a géneros aeróbicos gran negativo (Ashbolt & Grabow, 1996). Se puede afirmar entonces que la inyección de micro y nano burbujas en agua residual aumenta el metabolismo de organismos aeróbicos a diferentes niveles de profundidad en el cuerpo hídrico, situación que en estado natural se restringe únicamente a la capa superficial de la laguna o espejo de agua, la cual por ser rica en oxígeno debido a su contacto directo con la atmósfera se convierte en la zona específica para el desarrollo de microorganismos aeróbicos. Esta situación es la que se busca modificar inyectando las micro y nano burbujas para aumentar la proporción de microorganismos y por consecuencia acelerar la remoción de carga orgánica de las aguas residuales.

[Escriba aquí]

El término “eutrofización” se refiere a la riqueza de nutrientes en una cierta o determinada región (Martin & Katrin, 2011) y que estos mismos autores establecen que en cuerpos lénticos, como es el caso de una laguna de oxidación, este proceso natural genera una disminución considerable en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, trayendo como consecuencia el aumento de microorganismos anaeróbicos los cuales degradan muy lentamente la materia orgánica y generan malos olores por la alta presencia de gas metano. Un sistema de tratamiento de aguas residuales busca en términos generales disminuir la carga orgánica combinando proceso anaerobios y aerobios, generalmente el aumento demográfico en los cascos urbanos conlleva a un aumento de carga orgánica en el agua residual a tratar, saturando el sistema, causando la eutrofización de las lagunas facultativas y eliminando los procesos aerobios.

### 3.1. Marco constitucional y legal

A continuación, en la Tabla 1, se relacionan y describen los contenidos de los principales artículos de la Constitución Política de Colombia que se articulan con el problema de investigación. Igualmente, a través del Marco Legal construido en la Tabla 2, se describen las principales leyes relacionadas con el problema y los objetivos de este estudio de caso relacionados con el tratamiento y la disposición final de aguas residuales.

Artículo	Descripción
Artículo 8	Es obligación de proteger las riquezas culturales y naturales
Artículo 58	la propiedad es una función social que implica obligaciones y, como tal, le es inherente una función ecológica
Artículo 63	Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, el patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la Ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables
Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano”
Artículo 80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental”

[Escriba aquí]

Artículo	Descripción
Artículo 95	Es el deber de las personas y del ciudadano de proteger los recursos naturales y de velar por la conservación del ambiente

Tabla 1. Marco Constitucional y Legal *Fuente: Elaboración del autor de la investigación.*

NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
Ley 9	1979	Por la cual se reglamentan medidas sanitarias, las actividades y competencias de Salud Pública para asegurar el bienestar de la población.
Decreto 1541	1978	Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas” y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto 1594	1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Ley 99	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Art. 10,11,24,29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas.
Ley 142	1994	Ley de Servicios Públicos. En este contexto jurídico se establecen las bases para el desarrollo empresarial de la prestación de los servicios públicos en un marco de eficiencia y calidad en la prestación, las cuales son sometidas a una regulación



[Escriba aquí]

<b>NORMA</b>	<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Resolución 273	1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).
Ley 373	1997	Establece el programa de uso eficiente y ahorro de agua.
Decreto 302	2000	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Resolución 1096	2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
Decreto 1604	2002	Por el cual se reglamenta el parágrafo 3° del artículo 33 de la Ley 99 de 1993.
Documento Conpes 3177	2002	Conjunto de acciones prioritarias y lineamientos para el manejo de aguas residuales. Estas acciones se especificaron en el documento de política “Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia (PMAR)”, elaborado por el (MAVDT) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP).
Decreto 3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y deroga el Decreto 901 de 1997. En esta misma dirección, el MAVDT reglamenta planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) por parte de los municipios y empresas prestadoras del servicio de alcantarillado.
Resolución 287	2004	Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Decreto 3440	2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003

[Escriba aquí]

<b>NORMA</b>	<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Decreto 155	2004	Con el cual se reglamenta el cobro de las tasas por utilización de aguas superficiales, y perfeccionamiento de los instrumentos económicos de regulación del uso del recurso hídrico.
Decreto 1575	2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 3930	2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, el decreto establece condiciones relacionadas con ordenamiento del recurso hídrico, destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas; criterios de calidad para destinación del recurso; prohibiciones en materia de vertimientosreglamentación y registro de vertimientos, entre otros aspectos.
Resolución SSPD - 20101300048765	2010	Por la cual se expide la resolución compilatoria respecto de las solicitudes de información al Sistema Único de Información (SUI) de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo y se derogan las resoluciones 20094000015085, 20104000001535, 20104000006345 y 20104010018035”; se establece lo relacionado con la información general, servicios y actividades.
Resolución 075	2011	Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual a la red de alcantarillado y aspectos relacionados con el ámbito de aplicación y reporte de información.
Decreto 303	2012	Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 64 del Decreto Ley 2811 de 1974 en relación con el registro de usuarios del recurso hídrico para el componente de concesión de aguas y el componente de autorizaciones de vertimientos y se dictan otras disposiciones relacionadas con el ámbito de aplicación, formato de registro, plazo, reporte y consolidación de información. La operación del registro de

[Escriba aquí]

NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
		usuarios del recurso hídrico deroga en especial el Decreto 1324 de 2007 y el inciso segundo del artículo 74 del Decreto 3930 de 2010.
Resolución 1514	2012	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del plan de gestión de riesgo para el manejo de Vertimientos.
Decreto 2667	2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.
Resolución 0631	2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

*Tabla 2. Marco legal Fuente: Elaboración del autor de la investigación.*

### **3.2. El paradigma positivista en las Micro y Nano burbujas**

En relación con sus fundamentos epistemológicos, esta investigación se enmarca en el paradigma positivista, entendiendo el positivismo como un conjunto de reglamentaciones que rigen el saber humano y que tiende a reservar el nombre de “ciencia” a las operaciones observables en la evolución de las ciencias modernas de la naturaleza (Mesa, 2006). Parte de considerar teorías previamente formuladas o existentes sobre la realidad, en ocasiones de forma empírica, preocupándose por encontrar el método adecuado para descubrir esa realidad. En este sentido, este trabajo busca comprobar que al realizar una inyección de burbujas de tamaño micro y nanométrico se alteraran los procesos naturales y cambian las variables o características asociadas a la carga orgánica.

Es importante considerar, según lo presentado por Hernández, Fernández & Batista (2010):

- Que la naturaleza del conocimiento que se obtiene se relaciona directamente con las condiciones actuales que presentan los sistemas de tratamiento de aguas residuales en

[Escriba aquí]

Colombia, especialmente en Pasca, sus características y sobre todo su capacidad de remoción de la carga orgánica.

- Que el conocimiento se genera a través de la relación causa - efecto que para este caso consiste en el fenómeno físico de la aireación aplicado en el tratamiento de aguas residuales y sus efectos en el comportamiento biológico que repercute en la degradación y remoción de la carga orgánica.
- Que el criterio de validación de la investigación se basa inicialmente en la planeación, que pretende evaluar varios parámetros de laboratorio que lleven a establecer la capacidad de remoción de carga orgánica que tiene la laguna de oxidación.
- Que en la ejecución se busca someter a un tratamiento de inyección con micro y nano burbujas de aire a una muestra durante un periodo determinado del 50% de la retención hidráulica calculada, y
- Que en la evaluación se comparan los resultados aplicando un modelo estadístico que permita establecer diferencias y correlaciones presentes.

Todo lo anterior se realiza observando el Principio de Objetividad en donde la observación del sujeto no modifica la naturaleza del objeto, es decir, que sujeto y objeto son independientes ya que con el principio de la neutralidad valorativa el investigador tiene una posición neutral cita.

### **3.3. Algunas consideraciones metodológicas**

#### **3.3.1. Tipo de investigación.**

De acuerdo a Hernández (2010), según el propósito o fin que se persigue, esta es una investigación aplicada ya que busca aplicar el conocimiento previamente construido en la generación de nuevo conocimiento en un contexto determinado con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto. Este caso pretendió alternar y complementar los conocimientos relacionados con la descontaminación de aguas residuales, la física, la bioquímica del agua y el comportamiento de los gases en el agua, y la acción de los microorganismos aeróbicos, con el fin de optimizar el funcionamiento de sistemas de tratamiento actualmente empleados en cientos de municipios, los que lamentablemente no garantizan el cuidado del medio ambiente. Se aplica la nanotecnología

[Escriba aquí]

para garantizar la permanencia de aire en un cuerpo de agua, facilitando la activación biológica de microorganismos eficientes para la remoción de la materia orgánica.

Esta investigación buscó establecer la relación que existe entre la inyección de las micro y nano burbujas de aire en el agua residual y el comportamiento de los parámetros relacionados con la carga orgánica del agua residual del municipio de Pasca.

### **3.3.2. Método utilizado.**

El método que aplica esta investigación es el cuantitativo ya que se mide un fenómeno, en este caso la acción de las micro y nano burbujas en las aguas residuales, aplica la estadística para comparar el comportamiento de las variables de caracterización del agua como lo son la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los nitritos y nitratos, el pH y el oxígeno disuelto, y hace un análisis de causa y efecto comparando bajo diferentes tratamientos y tratando de establecer posibles correlaciones su desarrollo, el cual es de carácter secuencial (Hernandez, Fernandez, & Batista, 2010).

Este enfoque sugiere plantear en primer lugar un problema de estudio delimitado y concreto, en este caso, el efecto de la inyección de las Micro y Nano Burbujas en aguas residuales domésticas del municipio de Pasca, específicamente en su remoción de carga orgánica; realizar un estudio de los antecedentes o investigaciones relacionadas y su marco teórico, para luego establecer un protocolo de aplicación que optimice el tratamiento de aguas residuales por acción de la aireación sobre los microorganismos aeróbicos, también se realizaron mediciones a nivel de laboratorio y se aplicaron los análisis estadísticos que llevan a comprobar los alcances en materia de remoción de carga orgánica y su correlación con el tratamiento implementado.

### **3.3.3. Criterios de validez y confiabilidad.**

Para la ejecución del experimento, se cuenta con cuatro contenedores cada uno con una capacidad de 20 litros, llenos de agua residual proveniente de la laguna de oxidación, el primero hace las veces de testigo, los otros tres se inyectan con Micro y Nano Burbujas por periodos de un minuto y veinte segundos. Este periodo de tiempo se calcula a partir de la capacidad de caudal del equipo de inyección de micro y nano burbujas, este procedimiento se ejecuta cada cuatro horas. Este periodo equivale, al tiempo que se logró mantener niveles altos de oxígeno disuelto en el agua residual por efecto de la inyección de las micro y nano burbujas. Posteriormente se toma la media aritmética en cada grupo de mediciones, se evaluaron los cambios cada 72 horas para un tiempo total del experimento de 10 días, el cual equivalente al 66,6% del periodo actual de retención hidráulica en la laguna de oxidación. Para la interpretación total de datos posteriormente se hizo un análisis de varianza para contrastar las hipótesis.

[Escriba aquí]

#### **3.3.4. Definición de Hipótesis.**

De acuerdo al problema definido se establece la siguiente hipótesis de trabajo:

*La inyección periódica de Micro y Nano Burbujas garantiza niveles altos de oxígeno disuelto generando un aumento en la actividad de microorganismos aerobios que incrementan la remoción de materia orgánica de las aguas residuales.*

#### **3.3.5. Universo y Muestra Representativa.**

El universo en este trabajo equivale al periodo de tiempo estimado de retención hidráulica en la laguna de oxidación, para este caso el volumen (V) de la laguna es de 1200 metros cúbicos y el caudal promedio (Q) es de 0,909 litros/segundo, la retención hidráulica es igual  $V/Q$  para este caso es de 15,43 días y la muestra representativa tomando en cuenta la dinámica biológica que una laguna de oxidación presenta será el 64,8 % de este periodo, que corresponde a 10 días.

#### **3.3.6. Instrumentos y técnicas de investigación.**

La toma de muestras y las pruebas de laboratorio aplicadas, para establecer el cambio en las características o parámetros a evaluar, se ejecutan bajo los protocolos propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Los equipos utilizados para este fin son espectrofotómetro marca Hach referencia DR3900 para determinación de DQO, nitritos y nitratos, turbidez y multiparámetro marca thermoScientific referencia OrionStar A329 para medir el pH, la conductividad y el oxígeno disuelto.

#### **3.3.7. Pruebas preliminares con las Micro y Nano Burbujas.**

Como estudio piloto se realizó el montaje de los equipos, planta eléctrica, bomba hidrostática y bomba generadora de micro y nano burbujas, que se operaron con el fin de establecer caudales reales, descartar fallas hidráulicas y calcular tiempos óptimos de tratamiento según los resultados de las pruebas de oxígeno disuelto y porcentajes de saturación, y la persistencia del mismo en las muestras de agua, resultados que en el siguiente capítulo, se expondrán y analizarán de forma detallada.

[Escriba aquí]

## **Capitulo IV Micro y Nano Burbujas de aire y su relación con la remoción de carga orgánica.**

### **4. Características generales y desempeño del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca**

De todos los procesos de transferencia de gases, el más importante para esta investigación, es el que se lleva a cabo en la digestión aeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales, de este proceso depende la eficiencia del sistema, es importante considerar que el sistema recibe grandes cantidades de materia orgánica, que superar su capacidad, y que organismos aeróbicos dependen del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía necesaria para su crecimiento y reproducción.

Un sistema de tratamiento eficiente debe estar en la capacidad de en un periodo de retención normal, de 10 a 15 días, degradar esta carga en sustancias más sencillas, esto a través de procesos físicos químicos y biológicos.

Partiendo de estas consideraciones, es importante describir el sistema presente en el municipio de Pasca; físicamente el sistema parte de un cribado que busca la remoción del material grueso, utilizando rejilla de limpieza manual construida en barras verticales con separación de 4 centímetros.

El siguiente paso de este sistema consiste en un tanque de concreto que permite la sedimentación y la homogenización de flujo, buscando un caudal más o menos constante.

El último paso de este sistema es una laguna de tipo facultativo con una capacidad de 1200 metros cúbicos posterior a este se vierte al Rio Cuja.

[Escriba aquí]

Para la determinación del caudal de las descargas se efectuó en 5 jornadas de medición horaria durante las 24 horas del día por tres semanas, se obtuvo un caudal medio de 0,9 litros/segundo, un caudal máximo de 0,98 litros/segundo, y un caudal en días de lluvia de 1,05 litros/segundo.

Tomando como base el caudal medio (0,9 litros/segundo) y la capacidad de la laguna (1200 metros cúbicos), se determinó un periodo de retención hidráulico aproximado de 15,43 días, tiempo que se puede considerar suficiente para este tipo de lagunas.

Descrito ya las generalidades físicas del sistema, se evaluaron los siguientes parámetros a nivel de laboratorio, que permiten determinar la eficiencia actual del sistema, Demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, conductividad, pH, temperatura, esta actividad se realizó en los tiempos programados en el cronograma, cuestión de gran importancia, pues corresponde a los periodos secos ya que los tiempos de lluvia debido al sistema de alcantarillado mixto que presenta el municipio que une las aguas lluvias y las residuales, puede llegar a alterar o sesgar los resultados.

El primer parámetro es la demanda química de oxígeno (DQO), esta se define como, la medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000) parámetro que a la entrada del sistema nos arroja valores de 2074 mg de  $O_2/l$  y a la salida de 1310 mg de  $O_2/l$ , es importante tener en cuenta que el valor exigido por la resolución 0631 de 2015 para este parámetro es de 180 mg de  $O_2/litro$ , lo cual nos permite determinar inicialmente que el sistema no logra cumplir con su objetivo.

El siguiente parámetro evaluado en la ptar de pasca son los sólidos sedimentables expresados en función de volumen, a la entrada del sistema nos arroja un valor de 51 mL/l y a la salida un valor de 32 mL/l; el parámetro permitido por la norma es de hasta 5 mL/l. En cuanto al comportamiento de sólidos suspendidos se evidencia un incremento en su paso por el sistema de tratamiento partiendo de un valor a la entrada de 456 mg/l y terminando con un valor promedio de 536 mg/l a la salida de la laguna de oxidación, el valor requerido por la norma es de 90 mg/l.

El nitrógeno puede aparecer en forma de  $NH_3$ ,  $NH_4$  y por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en  $NO_2$  y finalmente en  $NO_3$  es la forma más usual y estable (De Miguel,



[Escriba aquí]

1999), el  $\text{NO}_3$  o nitrato, presenta un valor inicial a la entrada de 0,48 ppm y a la salida de la ptar de 0,45 ppm, en cuanto a nitritos inicia con 0,315ppm y termina con 0,45ppm; valores superiores de 0,75ppm en nitrito genera estrés en la fauna acuática, en relación con los nitratos valores superiores a 0,80ppm se consideran tóxicos.

El oxígeno disuelto, es un factor fundamental para supervivencia de organismos aeróbicos y demás fauna acuática, El término porcentaje de saturación a menudo se usa para las comparaciones de la calidad del agua. El porcentaje de saturación, es la lectura de oxígeno disuelto en mg/L dividido por el 100% del valor de oxígeno disuelto para el agua (Vernier, f, 2002). El agua residual al ingresar al sistema de tratamiento presenta valores de 88,1% un valor considerado adecuado y a la salida de 8% un valor extremadamente bajo, si tomamos en cuenta que valores inferiores al 60% son considerados como bajos.

En términos generales, se puede apreciar que el sistema actual, se encuentra lejos de cumplir con su objetivo, que el producto final vertido al río Cuja además de no cumplir con lo exigido por la resolución 0631 de 2015, genera desequilibrio e impactos al ecosistema al cuerpo hidricoreceptor.

#### **4.1. Comportamiento del oxígeno disuelto con Micro y Nano Burbujas**

Para realizar la inyección de Micro y nano burbujas, se contó con un generador marca Asupo modelo AMB 15G5, este equipo según su ficha técnica reporta un caudal de salida de 12 – 15 litros/minuto, dato corroborado en las pruebas piloto, estableciendo un caudal promedio efectivo de 15 litros/minuto.

**El comportamiento del oxígeno disuelto en el agua se monitoreo con equipo de campo HQ 40D marca Hach, el primer paso consistió en determinar el periodo de tiempo ideal de operación del equipo para un volumen de muestra de 20 litro, se inició con periodo de 1 minuto incrementado 10 segundos hasta 3 minutos, se pudo concluir que el tiempo con mejor respuesta fue 1 con 30 segundos, arrojando niveles 7 mg/L en una muestra de agua residual; También se pudo observar como en tiempos superiores se elevaba la temperatura del agua y comenzaba a descender los niveles de oxígeno disuelto.**

El siguiente proceso realizado, buscó determinar el periodo de tiempo ideal, en que la muestra reportara valores superiores a 5 mg/L de oxígeno disuelto luego de ser inyectada con micro y nano burbujas, para esto, con la ayuda del equipo descrito anteriormente se evaluó el parámetro

[Escriba aquí]

cada 30 minutos, posterior a la inyección, encontrándose un descenso en la cifra luego de 4 horas 30 minutos, permitiendo concluir que hasta las 4 horas las muestras inyectadas permanecían con valores adecuados de oxígeno disuelto, la permanencia por ese periodo de tiempo de estos niveles de oxígeno disuelto, está asociada al tamaño nano métrico de la burbuja.

**4.2. Primeras observaciones con agua residual.** A continuación, se realizará el análisis del comportamiento de los parámetros ya mencionados con anterioridad y su comportamiento luego de sostener los niveles de oxígeno disuelto por diez días, buscando activar la biología aeróbica del sistema con micro y nano burbujeo. La demanda química de oxígeno (DQO), a la entrada del sistema nos arroja valores de 2074 mg de O<sub>2</sub>/litro y a la salida de 1310 mg de O<sub>2</sub>/litro, con el tratamiento descrito en diez días se alcanzaron valores de hasta 440 mg de O<sub>2</sub>/litro, aunque no es el valor exigido por la norma (180 mg de O<sub>2</sub>/ litro), si se aproxima mucho más, siendo solo el 33,58% de lo obtenido sin el tratamiento.

Los sólidos sedimentables expresados en función de volumen, a la entrada del sistema nos arroja un valor de 51 ml/L y a la salida un valor de 32 mL/L, con el tratamiento se obtuvo un valor de 2,57ml/L, el parámetro permitido por la norma es de hasta 5 mL/L; es decir se consigue estar por debajo de lo exigido.

Los sólidos suspendidos presentaron incremento en su paso por el sistema de tratamiento, partiendo de un valor a la entrada de 456 mg/L y terminando con un valor promedio de 536 mg/L, con el tratamiento se obtuvo un valor de 173mg/L, el valor requerido por la norma es de 90 mg/L, no se logra el exigido por la norma, pero el valor obtenido con él y tratamiento equivale al 32,3% del valor sin el mismo.

El NO<sub>3</sub> o nitrato, presenta un valor inicial a la entrada de 0,48 ppm y a la salida de la PTAR de 0,45 ppm, con el tratamiento se consiguió 0,13ppm, valores superiores de 0,75ppm en nitrito genera estrés en la fauna acuática, los nitritos inicia con 0,315ppm y termina con 0,46ppm; con el tratamiento se llegó a valores de 0,27ppm, los nitratos valores superiores a 0,80ppm se consideran tóxicos; indicándonos que se disminuye notablemente, haciendo así óptimo el proceso de tratamiento del agua residual.

[Escriba aquí]

## **Capítulo V Las Micro y Nano burbujas de aire y su acción en procesos de eutrofización**

La eutrofización es un proceso de deterioro de la calidad del agua producido por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que afecta a infinidad de cuerpos de agua en todo el planeta. Las aguas domésticas no depuradas y la escorrentía pluvial procedente de zonas agrícolas y urbanas contienen habitualmente elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento y desarrollo de organismos fitoplanctónicos como las algas verdes, las cianobacterias o las algas diatomeas. (Baladrón, 2016) No obstante la entrada constante de nutrientes desencadenara la muerte de muchos microorganismos y entran en el ecosistema las bacterias heterotrofas que al actuar reducen el oxígeno disuelto en el agua, generando desequilibrios en el ecosistema.

En la laguna de oxidación del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca se observa este fenómeno, generando deterioro en la calidad del agua que será vertida al Río Cuja, los cuales debería disminuir en su paso por el sistema de tratamiento de aguas residuales.

A la laguna de oxidación, llegan todas las aguas residuales del municipio, con altos contenidos de materia orgánica, y otros residuos sólidos y líquidos conteniendo entre otras sustancias químicas, antibióticos, insecticidas, grasas, aceites y así una lista extensa de elementos que provienen de las viviendas y los recibe la laguna, los materiales de mayor diámetro son atrapados por un sistema primario denominado cribado, luego llega a un desarenador y posteriormente el fluido llega a la laguna de oxidación. En la laguna ocurren diferentes procesos físicos, químicos y microbiológicos, pero básicamente lo que se espera es que la materia orgánica sea degradada por microorganismos que se alimentan de esta, pero existe un gran inconveniente, no todos los microorganismos son lo suficientemente útiles en este proceso, se clasifican en dos grupos aerobios que necesitan de oxígeno para sobrevivir y anaerobios no necesitan el oxígeno para sobrevivir.

Las bacterias anaerobias, consumen materia orgánica, a menor velocidad, son las causantes de la presencia de malos olores por su acción fermentativa y generación de gases.

[Escriba aquí]

Por otro parte, las bacterias aerobias no generan fermentación, consumen gran cantidad materia orgánica si su ambiente es óptimo y para que lo sea la presencia en proporción adecuada de oxígeno disuelto en el agua es muy importante.

Un lago o embalse se considera eutrofizado cuando posee una cantidad anormalmente alta de nutrientes en el ecosistema.

Los nutrientes que provocan la proliferación de algas unicelulares son el Fosforo y el Nitrógeno. En el caso de la laguna de oxidación estos provienen del uso de baño y cocina, cargado de residuos orgánicos, excrementos, productos de aseo personal además de detergentes y desinfectantes utilizado para el aseo y desinfección a nivel doméstico. De hecho, el aporte del fósforo proveniente de las aguas residuales es tal vez el más importante en el crecimiento de las plantas acuáticas, varios autores afirman que un gramo de fosforo es capaz de producir 100 gramos de biomasa de algas. Este nivel de algas genera dificultad para la penetración de la luz afectando la fotosíntesis y la absorción de oxígeno.

La laguna de oxidación presenta acumulación de material sedimentado asociado a este fenómeno, este se deposita en el fondo y su descomposición aumenta la demanda de oxígeno y genera espacios para el crecimiento del material vegetal. La descomposición de estos materiales en el fondo produce gases como el metano. Es importante tomar en cuenta que los niveles de oxígeno disuelto por debajo de 5ppm no son apropiados para la vida aerobia. A la laguna de oxidación ingresa con niveles entre 4 y 5 ppm de oxígeno disuelto, pero en sus periodos de retención que es superior a los 14 días bajan niveles de 2.3 ppm, convirtiendo el ecosistema en un proceso anaeróbico.

La laguna de oxidación al presentar bajos niveles de oxígeno y un sedimento en su fondo que va aumentando se degradará bajo un proceso anaeróbico dando como resultados olores desagradables asociados al gas metano, amonio y sulfuro de hidrógeno, además de generar la solubilizar otros nutrientes que no se desean en los procesos de tratamientos de aguas residuales.

El pensar en inyectar MBs y NBs en cuerpos hídricos de una manera clara garantizará la permanencia de colonias de bacterias aeróbicas las cuales a su vez ayudarán a la reducción de nutrientes. Esta reacción química se conoce como oxidación y logra afectar otros contaminantes

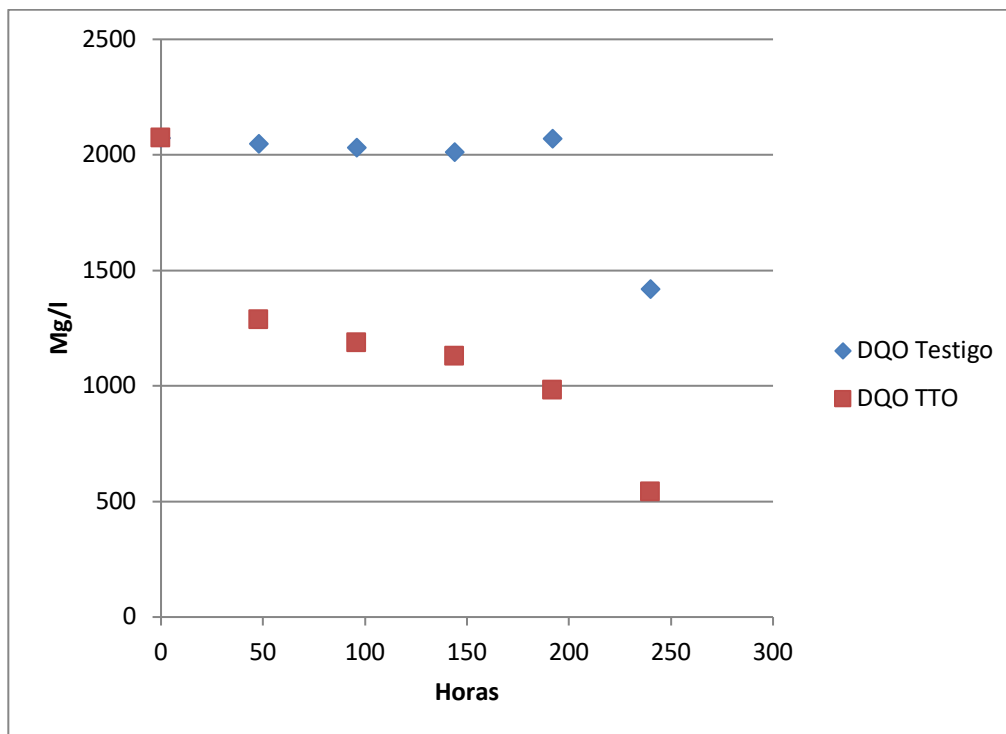
[Escriba aquí]

como el Hierro y el manganeso, transformandolo en sustancias que las plantas son capaces de incorporar.

Si esta aireación se realiza con micro y nano burbujas debido a su capacidad de permanencia en el agua y demás características, logra que éste efecto se vea multiplicado actuando como clarificante y logrando además la disminución de olores, así como la reducción de materia orgánica.

Las siguientes graficas permiten observar el comportamiento de los parámetros más importantes en el agua residual sometida a la inyección de micro y nano burbujas con intervalos de 4 horas, tiempo que se determinó monitoreando el oxígeno disuelto para establecer la permanencia de la micro y nano burbujas de aire en el agua y lograr mantener niveles de oxígeno disuelto superiores a 5,5 mg/L. El tratamiento fue aplicado por diez días y se realizó medición de cada parámetro cada cuarenta y ocho horas (48) realizando seis (6) monitoreos en total siendo la primera muestra analizada en el día cero y la ultima el día diez (10).

El primer parámetro a analizaren este capítulo será la demanda química de oxígeno (DQO) mg/l.

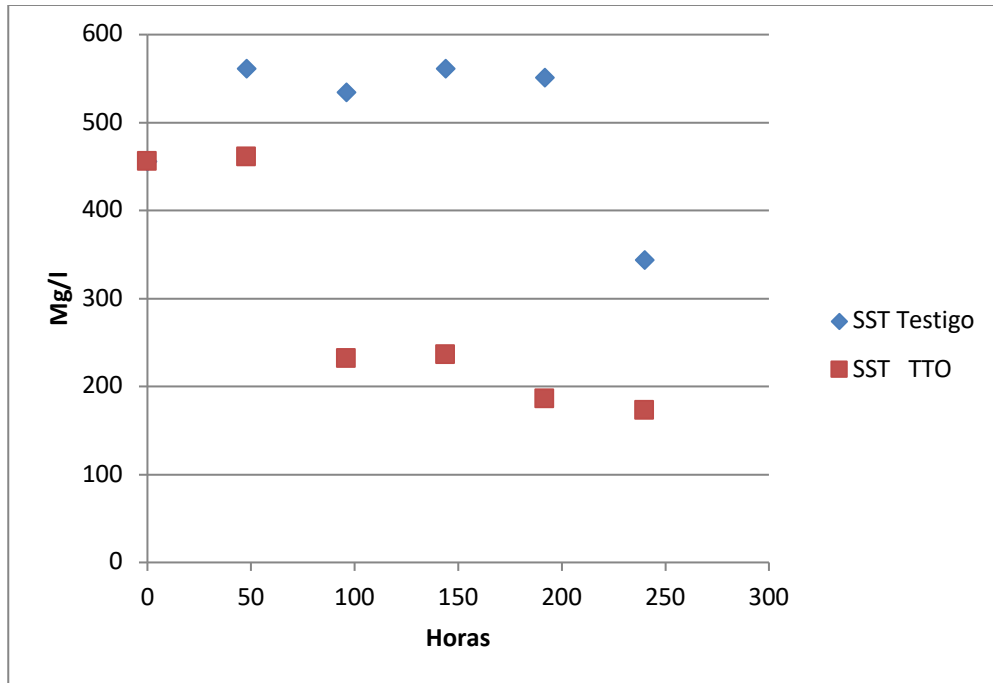


[Escriba aquí]

Gráfica 1. Comportamiento de la demanda química de oxígeno presente en el agua residual con tratamiento (rojo) y sin tratamiento (azul).

La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (IDEAM, 2007) En la gráfica 1 se observa como en la muestra uno (01) la cual corresponde a las cero (0) horas los resultados del testigo y tratamiento parten del mismo valor inicial que corresponde al agua residual inmediatamente antes de entrar en la alguna de oxidación con un valor de 2074 mg/LO<sub>2</sub>, En las primeras 48 horas las muestras con tratamiento presentaron una notable reducción pasando a 1286mg/LO<sub>2</sub> y el testigo presenta poca variación con un valor de 2048 mg/l O<sub>2</sub> de la muestra numero dos (48 horas) a la muestra número cinco (192 horas) continua la respuesta favorable en la muestra con tratamiento pasando de 1286 mg/L O<sub>2</sub> a 984 mg/L O<sub>2</sub> mientras en la muestra correspondiente al testigo presenta un descenso mínimo con valores de 2048 mg/L O<sub>2</sub> en la muestra numero dos (48 horas) en la número cuatro (144 horas ) de 2014 mg/L O<sub>2</sub> y presentado para l muestra número cinco (192 horas) un incremento con un valor de 2071mg/L O<sub>2</sub> es importante anotar que a partir del día cuatro (04) o las 96 horas se observó la presencia de algas verdes en las muestra testigo. La muestra número seis (240 horas) última muestra de experimento se logró valores mínimos de 474mg/L O<sub>2</sub> con un promedio de 542 mg/L O<sub>2</sub> y la muestra testigo termino con un valor de 1420 mg/L O<sub>2</sub> ;podemos concluir que con la inyección de micro y nano burbujas bajo las condiciones de este experimento con un periodo de 240 horas (10 días) se logró una reducción de la DQO equivalente al 84% en relación con la inicial y sin tratamiento del 31,5%, esto es atribuible a la acción de los microorganismos aerobios quienes al tener las condiciones adecuadas logran degradar más eficientemente la materia orgánica presente en el agua residual. Los sólidos suspendidos totales presentan el siguiente comportamiento mg/l.

[Escriba aquí]



Gráfica 2. Comportamiento de sólidos suspendidos totales en el agua residual con tratamiento (rojo) y sin tratamiento (azul).

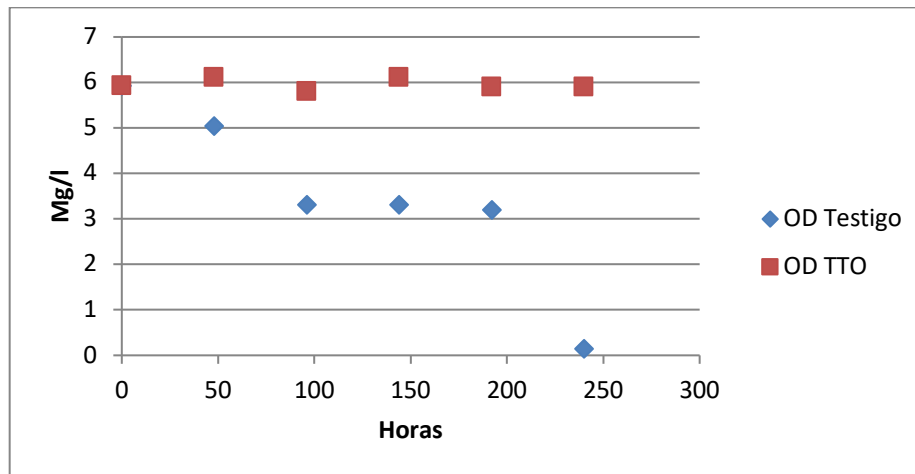
En la muestra testigo se observa en las primeras horas un aumento pasando de un SST de 456 mg/L a 561 mg/L en las primeras 48 horas, el aumento se puede atribuir a la proliferación y crecimiento de microalgas que dan una coloración verde al agua en las últimas 48 horas presentó un descenso terminando con un valor de SST 344 mg/L.

Para las muestras con inyección de micro y nano burbujas se parte de un SST 456 mg/L en las primeras 48 horas pasó a 461 mg/L y presentó una reducción notoria entre las 48 y las 96 horas pasando de valores de 461 mg/L a 232 mg/L terminado con una SST a las 240 horas de 173 mg/L en otros términos una reducción del 62,5% en relación con el valor inicial para el grupo con tratamiento versus un grupo testigo con una reducción del 25,4%, en este caso la acción se atribuye a dos situaciones la primera la inyección de micro y nano burbujas desestimula la formación de microalgas, por otra parte las micro y nano burbujas penetran las irregularidades de los sólidos logrando aglutinar las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando la decantación en este proceso también actúa la carga eléctrica que presenta las MBs y NBs de aire que al formarse por hidrocavitación, aumentan exponencialmente la presión interna, lo que genera una carga eléctrica negativa que actúa sobre las partículas favoreciendo el proceso.

[Escriba aquí]

El oxígeno disuelto (OD) mg/L es el siguiente parámetro evaluado, en este caso los cambios son más notables en el agua del grupo testigo ya que en las muestras con tratamiento, la inyección de las micro y nano burbujas de aire mantienen niveles estables de oxígeno superiores a 5,5 mg/L o PPM nivel que en diferentes investigaciones se señala como el más adecuado para los procesos aeróbicos en cuerpos de agua por esta razón, nivel escogido en el grupo con tratamiento.

El agua residual sin tratamiento debido a la degradación de la materia orgánica y la acción de microorganismos, fluctúan sus niveles de OD.



*Gráfica 3. Comportamiento de Oxígeno disuelto presente en e agua residual con tratamiento (rojo) y sin tratamiento (azul).*

En las primeras 96 horas se observa un descenso, pasando de 5,93 mg/L O<sub>2</sub> a 3,3 mg/LO<sub>2</sub> la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos conduce a un consumo de oxígeno, este rango de 3,3 mg/L O<sub>2</sub> se sostiene hasta las 192 horas y disminuye drásticamente a 0,14 mg/L O<sub>2</sub>, numerosos estudios siguieren que los niveles mínimos para la existencia de vida en cualquier ecosistema acuático ronda por alrededor de 4 a 5 mg/L O<sub>2</sub>, lo que nos indica que luego de 60 horas en el periodo de retención no se podrá desarrollara organismos aeróbicos en esta laguna bajo las condiciones actuales.

En cuanto al comportamiento del nitrógeno observaremos a continuación la nitrificación, o el paso del amoniaco en nitritos y nitratos, las gráficas permiten analizar la acción de las MBs y NBs de aire, acción que se atribuye a el aumento de oxígeno. El proceso de nitrificación consiste en la

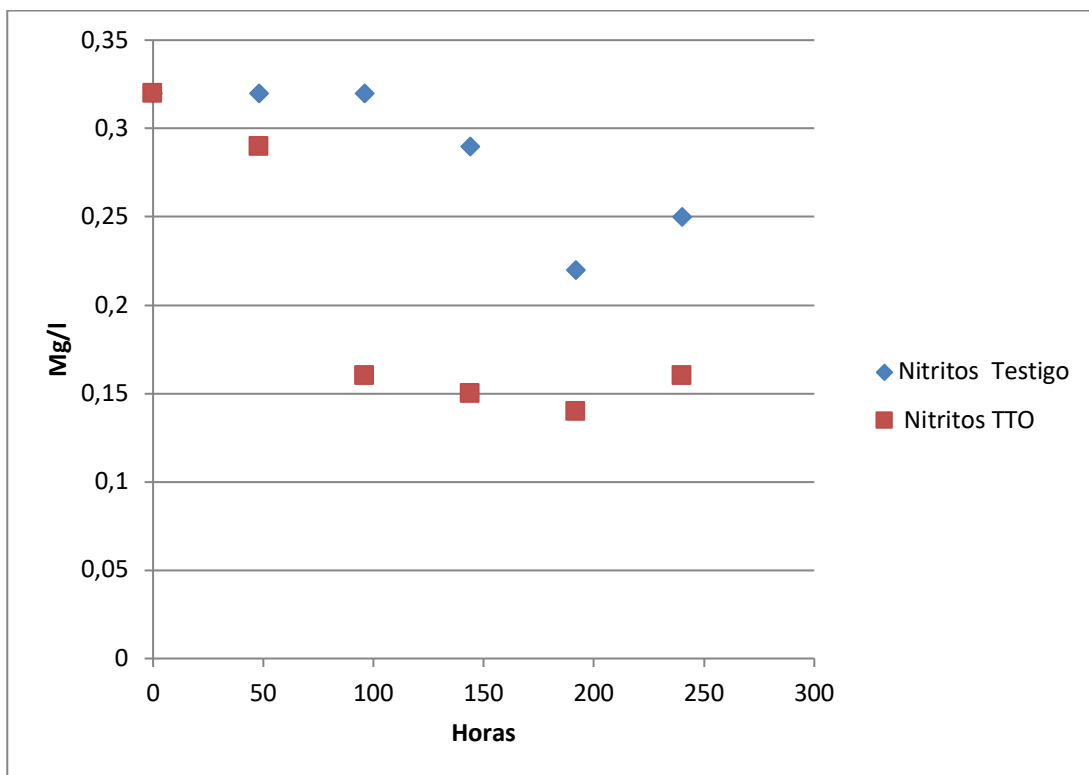


[Escriba aquí]

oxidación del amoníaco bajo condiciones estrictamente aeróbicas, en este caso la contribución más importante de nitrógeno que ingresa en la PTAR proviene de la urea.

Las bacterias nitrificantes están en la naturaleza y son parte importante para el ciclo del nitrógeno, son bacterias aeróbicas estrictas entre estas encontramos los nitrosomas y los nitrobacter, los cuales cuentan con los agentes necesarios para su reducción como las enzimas a formas más sencillas, los cuales son apropiados para efectuar la oxidación.

El comportamiento de los nitritos en el grupo testigo se observa estable hasta las 96 horas luego presenta un leve descenso hasta las 192 horas en donde inicia un pequeño incremento lo cual nos da indicios de una inadecuada operación del sistema de tratamiento, las muestras con la inyección de MBs y NBs de aire presenta un descenso considerable hasta las 96 horas y luego continuo su descenso, llegando a 0,12 mg/l es decir menos de la mitad de lo que termina la muestra testigo el cual llega a las 240 horas con un valor de 0,25 mg/L.



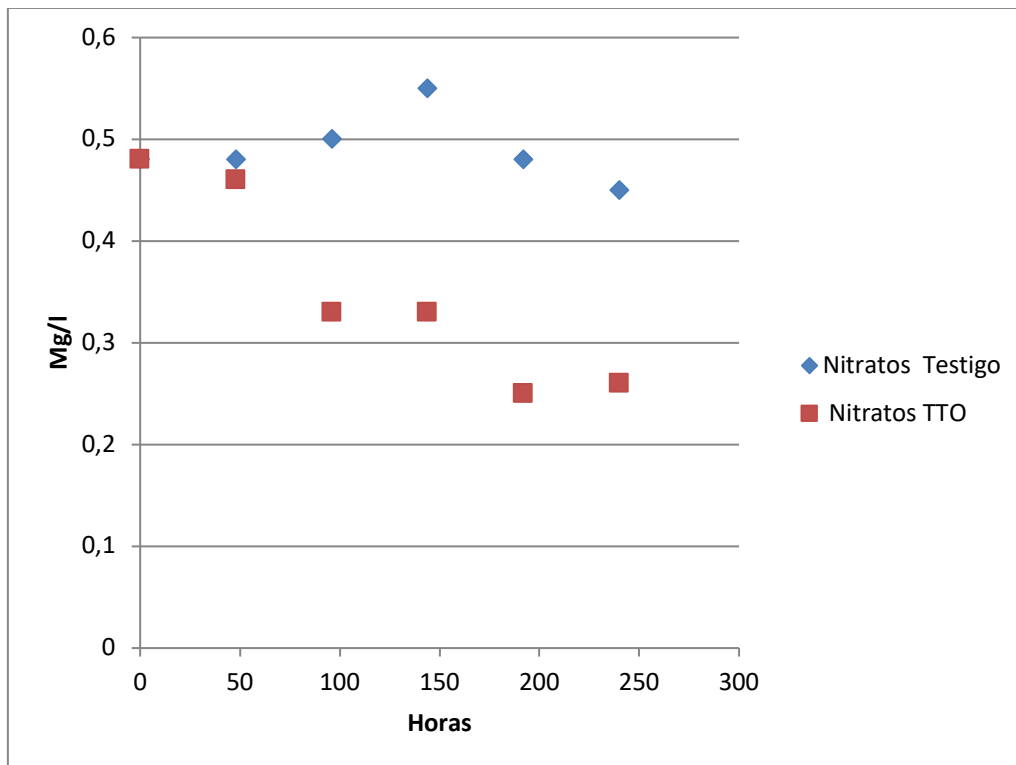
[Escriba aquí]

Gráfica 4. Comportamiento de Nitritos presentes en el agua residual con tratamiento (rojo) y sin tratamiento (azul).

Este proceso ocurre en dos etapas; comienza con la oxidación del amoníaco a nitritos, esta es mediada principalmente por bacterias del género Nitrosomas. El segundo paso es la oxidación del nitrito a nitrato. En la oxidación de nitrito a nitrato intervienen frecuentemente las bacterias del género Nitrobacter. No se conoce hasta el momento ninguna bacteria quimiolitotrófica que pueda oxidar el amoníaco directamente a Nitrato.

**Proceso de nitrificación.**

En cuerpos de agua como lagos, ríos y quebradas que reciben descargas no tratadas e inclusive tratadas de alcantarillado sanitario, se encuentran concentraciones altas de amoníaco que pueden sostener el crecimiento de bacterias nitrificantes. No obstante, dado que la oxidación biológica del amoníaco requiere de oxígeno, se observa que el amoníaco tiende a acumularse en hábitats anaerobios. (Cawse, 1969)



Gráfica 5. Comportamiento de Nitratos presentes en el agua residual con tratamiento (rojo) y sin tratamiento (azul).

Niveles altos de nitrógeno ingresando a cuerpos de agua resulta tóxico en condiciones de anoxia, ya que este se acumula en los cuerpos de agua generando reducción de oxígeno y proliferación de algas, lo cual es perjudicial para el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento de

[Escriba aquí]

aguas residuales, fenómeno que es observado en la laguna de oxidación de la PTAR del municipio de pasca.

La inyección de micro y nano burbujas de aire en aguas residuales según lo expuesto anteriormente cumple dos funciones principales, la primera se relaciona con su carga electrostática que facilita la separación de partículas sólidas en un proceso de micro floculación, esta situación se hace visible en el comportamiento de los sólidos disueltos en las primeras horas, la segunda y no menos importante, está relacionada con la activación biológica de los microorganismos aerobios, como lo pueden ser las bacterias de los géneros nitrosoma y nitrobacter, fundaménteles en el ciclo del nitrógeno específicamente en su transformación del amoniaco a nitritos y nitratos, paso fundamental para la desnitrificación y asimilación del nitrógeno, estas características permiten concluir que el sostener los niveles de oxígeno disuelto en el agua en valores superiores a 5,5 PPM mediante la inyección de MBs y NBs de aire permiten la recuperación eficiente de cuerpos de agua con procesos de eutrofización facilitando el desarrollo de procesos físicos como la separación de partículas en el agua y procesos biológicos aerobios al proporcionar las condiciones adecuadas a diferentes microorganismos.

## **Capítulo VI. Modelo de aplicación de las Micro y Nano burbujas en condiciones reales.**

Las siguientes son algunas generalidades importantes a tener en cuenta al momento de generar un diseño técnico para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de una población, esto según lo dispuesto en el Reglamento de agua potable y saneamiento RAS 2000 y con el objetivo de cumplir con los parámetros establecidos por la norma legal vigente que para el caso de vertimientos es la resolución 0631 de 2015.

En relación al área y extensión:

- Extensión total: 270.33 Km<sup>2</sup>
- Extensión área urbana: 0.27 Km<sup>2</sup>
- Extensión área rural: 270.06 Km<sup>2</sup>

Características asociadas al clima:

[Escriba aquí]

- Altitud de la cabecera municipal: 2.180 m.s.n.m.
- Temperatura media: 15.5°C
- Precipitación media anual: 1476 mm
- Humedad relativa media anual: 77.5 %
- Evaporación media anual: 75.00 mm
- Brillo Solar media diaria: 4 Horas
- Viento predominante:  $V = 12.6$  Km/Hr. en la Dirección 30° N-W

Es importante tomar en cuenta que el sistema de alcantarillado sanitario del área Urbana del Municipio de pasca deposita sus aguas en La laguna de Oxidación Facultativa, ubicada a 0.2 Km del perímetro urbano y son conducidas por gravedad por un emisario final en Tubería Nova Fort PVC de 8”.

### 6.1. Cálculo de población

De acuerdo a los datos suministrados por la oficina de planeación municipal del municipio y corroborados con datos del DANE el número de habitantes para este año(2019) El municipio de Pasca en el área urbana cuenta con 3015 habitantes.(DANE, 2010)

Para los diseños de proyectos de de servicios públicos y demás equipamientos se debe realizar una proyección a 20 año para lo cual consideraremos una tasa de crecimiento de 1.5%, calculada a partir de los datos suministrados por el DANE en los anteriores censos y aplicando la siguiente fórmula:

$$P_f = P_i(1 + r)^n \quad \text{Ecu (1)}$$

De donde:

$P_f$  = Población futura (2039)

$P_i$  = Población presente (2019)

r = Tasa de crecimiento (1,5%)

n = Numero de años (20)

Teniendo como resultado  $P_f = 4061$  habitantes

[Escriba aquí]

## 6.2. Cálculo del caudal máximo horario

### 6.2.1 Red de acueducto

Como es un sistema de complejidad bajo se tiene: (RAS 2000):

$$\text{Dotacion acueducto} = \frac{75\text{litros}}{\text{habitante}} \times 4061 \text{ habitantes} = 304575 \frac{\text{litros}}{\text{dia}}$$

Consumo público: por norma es de 3%

$$\frac{304575\text{litros}}{\text{dia}} \times 3\% = 9137\text{litros}/\text{dia}$$

(En este ítem se incluye el consumo de hidrantes: que se utilizan en emergencias, incendios, y lavado de la tubería, toma de muestras).

Pérdidas: según el RAS 2000 se considera 20%

$$313712 \times 20\% = 62742\text{litros}/\text{dia}$$

$$Q_{\text{promedio dia}} = 304575 + 9137 + 62742 = 376454\text{litros}/\text{dia}$$

$$Q_{\text{maximohorario}} = 1,3 \times Q_{\text{promediodia}} = 489390 \text{ l}/\text{dia} = 5,7\text{litros}/\text{segundo}$$

### 6.2.2.Red de aguas residuales( cálculo del caudal de diseño - caudal máximo horario)

El cálculo de aguas residuales domésticas se basa en el consumo de agua por habitante, se tiene en cuenta que no toda el agua de consumo va a la alcantarilla. Normalmente se considera según el RAS 2000 que regresan al alcantarillado de un 60% a un 90 % del consumo de acueducto.

Para este caso que tiene bajo nivel de complejidad se toma un 85% del consumo de acueducto que llega al alcantarillado, se tiene entonces:

[Escriba aquí]

$$Q_{\text{maximohorario}} = 5,7 \text{ litros/seg}$$

$$Q_{\text{alcantarillado}} = Q_{\text{promediodia}} \times 85\%$$

$$Q_{\text{alcantarillado}} = 4,85 \text{ litros/seg}$$

Utilizando la fórmula de Harmon para caudal máximo:

$$Q_{\text{max horario}} = Q_{\text{alcantarillado}} \times \left( \frac{18 + P^{1/2}}{4 + P^{1/2}} \right)$$

Siendo P = Población equivalente de habitantes, se tiene:

$$Q_{\text{maximo}} = 5,85 \text{ litros/seg}$$

### 6.3. Caudal de infiltración

Como se trata de un alcantarillado nuevo y grado de complejidad bajo se toma: Para tubería nueva con unión de caucho: 0.1 L/seg – Ha.

$$Q_{\text{maximo}} = 5,85 \text{ litros/seg} + \left( \frac{0,1 \text{ litros/seg}}{\text{Ha}} \times 0,27 \text{ Ha} \right) = 5,88 \text{ litros/seg}$$

### 6.4. Caudal de conexiones erradas

El aporte de caudal por conexiones erradas en un alcantarillado sanitario proviene en especial de conexiones que equivocadamente se hacen de aguas lluvias domiciliarias y conexiones clandestinas. Para este caso tomamos 0.1 L/s, ya que es un alcantarillado nuevo.

$$Q_{\text{Maximo}} = 5,88 \text{ litros/seg} + \left( 0,1 \text{ litros} \frac{\text{seg}}{\text{Ha}} \times 0,27 \text{ Ha} \right) = 5,91 \text{ litros/seg}$$

Este último cálculo será el caudal considerado para el diseño del sistema y se toma como 21,28 M<sup>3</sup>/hora

[Escriba aquí]

## 6.5. Cribado criterios de diseño

El primer elemento que entra a interactuar con el agua residual es el cribado, el cual busca retener objetos sólidos grandes, su forma de limpieza es manual para este caso y a continuación se describen algunas consideraciones importantes: inclinación de las rejjas  $45^\circ$  con respecto a la vertical. Espesor de las barras propuestas D: 0.005 m. Separación libre entre cada barra C: 0.0254m. Ancho del canal de entrada b: 0.25m. Velocidad a través de reja limpia 0.30 m/seg. Velocidad a través de reja obstruida 0.60 m/seg.

Los datos de velocidades, fuentes: Tratamiento de aguas residuales en poblaciones

### 6.5.1. Calculo del área libre (AL).

$$AL = \frac{Q_{\text{maximohorario}}}{\text{Antiguaobstruida}} = 0,006m^3/seg \cdot 0,6m/seg = 0,001m^2$$

Debido a que se propone un ancho de  $b = 0,20$  m. Se calcula el frente de agua en el canal mediante la siguiente expresión:

Como el canal es rectangular se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = b \times h$$

Donde,

A: Es el área del canal de entrada en metros.

b: Es el ancho del canal de entrada.

h: El tirante del flujo en el canal.

$$h = A/b = 0,01m^2/0,20m = 0,05m$$

### 6.5.2 Calculo de la suma de las separaciones entra barras.

$$b = \left( \frac{bg}{e} - 1 \right) (s + e) + e$$

[Escriba aquí]

Donde,

b: Es el ancho del canal en mm.

bg: Es la suma de las separaciones entre barras en mm.

e: Es la separación entre barras en mm.

s: Es el espesor de las barras en mm.

$$bg = \left( \left( b - \frac{e}{s} + e \right) + 1 \right) \times e = \left( \left( 200 - 25, \frac{4}{5} + 25,4 \right) + 1 \right) \times 25,4 = 171,28mm$$

Es importante aclarar que las variaciones en el sistema propuesto se verán reflejadas en el tratamiento de lodos es decir en el bioreactor el cual al presentar micro y nano burbujas cambia su eficiencia.

## 6.6. Bioreactor criterios de diseño

Previamente se realizó el cálculo de caudal que para este caso se diseñó con caudal proyectado a 20 años con una población de 4061 estimada y un caudal  $Q=21,28m^3/hora$ . La carga de contaminación, expresada en  $DBO_5$ , en el caso de red unitaria es  $75 g/habitante/día$ , portantoo la carga orgánica diaria que recibirá la PTAR municipal es:

$$\begin{aligned} Carga_T &= Poblacion \times cargadeDBO_5 = 4061hab \times \frac{75g}{hab} \times \frac{10^{-3}kg}{g} \\ &= 304,5kgDBO_5 \end{aligned}$$

Estimación de la concentración de SS en el fango de recirculación. Se elige un decantador secundario de rasquetas, con lo que  $X_r$  se estima entre 6000 y 8000 mg/L. La capacidad total instalada mínima es 150%, para un proceso de aireación prolongada.  
 $Q_b = 1,5 \times 21,28m^3/h = 31,92m^3/h$

Se adopta un número total de bombas de 3 (2+1), incluida la de reserva. El caudal unitario de bombeo coincide con el caudal mínimo de recirculación.



[Escriba aquí]

$$Qr = \frac{Qb}{N^{\circ} \text{ de bombas}} = \frac{31,92m^3/hora}{3 \text{ bombas}} = 10,64m^3/h$$

R=1, si funcionan dos bombas; la concentración de licor mezcla en estas condiciones de recirculación se da por la siguiente fórmula:

$$X = \frac{X_r R}{1 + R}$$

R	1/2		1	
X <sub>r</sub>	6000	8000	6000	8000
X	2000	2667	3000	4000

Se calculó la concentración del licor mezcla enreactory en la salida del decantador para unarazón de recirculación de valores 0.5 y 1.

Como la concentración en el reactor debe ser inferior a 3500 mg/L,el régimen normal de recirculación será ½. Si la concentración en el decantador baja a 6000 mg/L, se pasaría a un régimen de recirculación R=1, obteniendo que la concentración media en el reactor será de 2600mg/L. y con la siguiente operación obtendremos el volumen del bioreactor.

$$V \geq \frac{304KgDBO_5/d}{2600 \text{ mg} \frac{SSLM}{l} \times \frac{0,1KgDBO_5}{d} \times kgSSLM \times 10_3m^3 \times mgl \times kg} = 1169,4m^3$$

(Ashbolt, Grabow, & Snozzi, 1996)

## 6.7. Necesidades de oxígeno

El rendimiento (r) máximo de eliminación de DBO<sub>5</sub> es del 95%, el consumo específico mínimo de oxígeno 2 kg O<sub>2</sub>/kg DBO<sub>5</sub> el. y el coeficiente punta, por tratarse de un proceso de baja carga, la unidad.

$$NcOx^a = 2KgO_2/KgDBO_5 \text{ eliminada}$$

$$NcOx^{punta} = NcOx^a CargaTrmaxCp$$

[Escriba aquí]

$$NcOx^a = \frac{2KgO_2}{KgDBO_5} \times \frac{304KgDBO_5}{d} \times 0,95 \times 1 = 577,6 \frac{KgO^2}{dia} = 24,06KgO^2/hora$$

Para lograr cumplir con esas necesidades se debe calcular la potencia instalada, La potencia del motor (considerando un factor de paso de condiciones estándar a condiciones reales, de 0.6, y una capacidad específica de oxigenación de 2 kgO<sub>2</sub>/kWh), para un rendimiento del motor del 90%:

$$\frac{24,06KgO^2}{h} \times \left( 0,6 \times \frac{2KgO^2}{kWh} \times 0,9 \right) = 25,98kw / \left( \frac{1CV}{0,735Kw} \right) = 35,35CV$$

Por lo tanto, se adoptan dos turbinas cada una de 20CV.

**De acuerdo a estos resultados, los cuales han sido calculados a partir del comportamiento de la DBO y la DQO bajo las condiciones experimentales con inyección de micro y nano burbujas y dando cumplimiento a los parámetros de la resolución 0631 de 2015 y los parámetros de diseño del RAS 2000 se puede indicar que con un reactor de 1169, metros cúbicos atendiendo un caudal pico proyectado para 20 años de 21,28 metros cúbicos por hora con un tiempo de retención de 54,93 horas, el sistema actual presenta un periodo de retención de 14,5 días, produce malos olores y no logra disminuir la carga orgánica, el diseño planteado, ofrecería una reducción del 85% del la carga presente cambiaría la laguna de oxidación por un sistema mucho más eficiente como lo son los sistemas compactos el cual esta optimizado con la inyección de micro y nano burbujas de aire.**

[Escriba aquí]

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Las micro y nano burbujas de aire, actúan como activador biológico, esto se observa de forma principal en el ciclo del nitrógeno, el nitrógeno en las aguas residuales está presente en forma de amoníaco, el cual es muy tóxico, sobre este actúan las bacterias nitrosoma para su transformación en nitratos y las bacterias del género nitrobacter los transforman en nitritos, las micro y nano burbujas consiguen una reducción atribuible al aumento en el número de microorganismos y el aumento en su actividad al contar con niveles mayores de oxígeno disuelto.

Se puede considerar la inyección de micro y nano burbujas de aire como un método adecuado para revertir procesos de eutrofización en cuerpos hídricos, a que por su tamaño se logran sostener en el agua por periodos superiores a las 4 horas garantizando niveles adecuados de oxígeno disuelto, el cual facilitara el crecimiento de microorganismos aeróbicos y aumenta su metabolismo, logrando degradar de forma mas eficiente la materia orgánica y así revirtiendo el proceso, no obstante se deben realizar los cálculos adecuados teniendo en cuenta el caudal y el volumen del mismo, para saber el tipo de equipo y forma de operación.

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales las micro y nano burbujas pueden participar en el tratamiento primario ya que debido al tamaño de la burbuja esta se adhiere a las irregularidades de los sólidos en suspensión y logra una rápida aglutinación, también evita la proliferación de algas debido a que al desplaza el  $\text{CO}_2$ , por lo tanto se recomienda incluir su aplicación en el floculador.

El principal beneficio del uso de la inyección de micro y nano burbujas en un sistema de tratamiento de aguas residuales, esta en lograr aumentar la eficiencia en la remoción de la carga orgánica a nivel del bioreactor, esto se logra al contar con mayores niveles de Oxígeno disuelto, brindando así condiciones adecuadas a las colonias de bacterias aeróbicas o fangos activados, encargados de la degradación de la carga orgánica presente.

El sistema de producción de micro y nano burbujas de aire por cavitación hidrodinámica, utilizado en esta investigación, presenta como limitante la necesidad de tener precisión con los tiempos de aplicación, ya que por el diseño de la bomba o generador, tiene a aumentar la temperatura del agua y esto según la teoría de la doble capa la cual explica el comportamiento de

[Escriba aquí]

los gases en los fluidos, nos indica que a mayor temperatura en el fluido menor saturación de cualquier gas, esto da punto de partida para futuras investigaciones en las cuales el método de producción este asociado al usos de compresores y difusores especiales capaces de generar burbujas de tamaño nanométrico.

La inyección de micro y nano burbujas de acuerdo a los resultados obtenidos se puede indicar como una alternativa viable y segura para mejorar el desempeño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, al igual que de grana eficiencia para lograr revertir procesos en curso de eutrofización en cuerpos de agua, pero es necesario realizar los cálculos adecuados para establecer el tipo de equipo a usar y las otras labores complementarias para poder ejecutar de forma satisfactoria la tarea.

[Escriba aquí]

## Bibliografía

Superintendencia de Servicios Públicos. (2013). *Informe Técnico sobre sistemas de aguas residuales en Colombia*. Bogotá: SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS.

Simonsen, A. H. (2004). Nanobubbles give evidence of incomplete wetting at a hydrophobic interface. *J. Colloid Interface. Sci*, 273 - 285.

Ljunggren, S. E. (1997). The lifetime of a colloid-sized gas bubble in water and the cause of the hydrophobic attraction. *Colloid. Surf*, 129- 130 150 - 154.

Yang, J. D. (2003). Very small bubble formation at the solid–water interface. *Phys. Chem*, 6139–6147.

Takahashi, M. (2005). Potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas–water interface. *Phys Chem*, 21858–21864.

Matsumoto, M. T. (2008). Nano bubble-Size dependence of surface tension and inside pressure. *Fluid Dyn*, 546–553.

Mezule, L. T. (2009). A simple technique for water disinfection with hydrodynamic cavitation. *Desalination* 248, 152–159.

Ashutosh Agarwal, W. J. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, 1175–1180.

Takahashi, M. 2. (2009). Base and technological application of micro-bubble and nanobubble. *Mater. Integration*, 2–19.

Kim, J. S. (2000). Zeta potential of nanobubbles generated by ultrasonication in aqueous alkyl polyglycoside solutions. *J. Colloid Interface. Sci*, 223, 285–29.

Yamasaki, K. S. (2010). Water Treatment Method and Water Treatment System. *US Patent* 7662288.

Yamasaki, K. U. (2009). Wastewater Treatment Equipment and Method of Wastewater Treatment. *US Patent* 7578942.

Jyoti, K. P. (2001). Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biochem. Eng.*, 201 - 212.

Sumikura, M. H. (2007). Ozone micro-bubble disinfection method for wastewater reuse system. *Sci*, 53 - 61.

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

[Escriba aquí]

Abdelsalam M, C. (2010). therapy for severely hypoxic patients with acute respiratory distress syndrome: permissive hypoxemia. *Respire Care*, 1483–1490.

Wu, Z. Z. (2006). Nanobubbles influence on BSA adsorption on mica surface. *Interface*, 990–995.

Tirilly, Y. B. (1997). Effect of oxygen concentration on plant growth, lipid peroxidation, and receptivity of tomato roots to pythium under hydroponic conditions. *Plant Pathol*, 255 - 264.

Kurup N, N. P. (2010). Microbubbles: a nobel delivery system. *J Pharm Res Health Care*.

Himuro S, D. T. (2009). Effects of microbubbles on bacteria. *Prog Multiphase Flow Res*.

Jauregi P, V. J. (1998). Colloidal gas aphrons: a novel approach to protein recovery. *Biotechnol Bioeng*.

Kukizaki M, B. Y. (2008). Effect of surfactant type on microbubble formation behavior using shirasu porous glass (SPG) membranes. *Colloids Surf A*.

El Espectador. (julio de 2013). El Misterio de las Nanoburbujas.

Ahmed N, J. G. (1985). The effect of bubble size on the rate of flotation of fine particles. *Int J Miner Process*.

Broekman, S. P. (2010). Ultrasonic treatment for microbiological control of water systems. *Ultrason. Sonochem*, 1041 - 1048.

Roy D, V. K. (1992). Comparasion of soil washing using conventional surfactant solutions and colloidal gas aphron suspensions. *Sep Sci Technol*.

Gotoh Y, S. A. (2006). Oil separation from oil polluted soil by microbubble injection and separation mechanisms. *Jpn J Multiphase Flow*.

Park JS, K. K. (2009). Application of microbubbles to hydroponics solution promotes lettuce growth. *Hort Technology*.

Reed, R. W. (2006). Natural Wastewater Treatment Systems .

Burns SE, Y. S. (1997). Microbubble generation for environmental and industrial separations. *Sep Purif Technol*.

Martin, T., & Katrin, T. (2011). *Springer Science+Business Media*. Recuperado el 25 de 10 de 2017, de

[https://www.researchgate.net/profile/Martin\\_Dokulil/publication/301347429\\_Eutrophication\\_and\\_climate\\_change\\_Present\\_situation\\_and\\_future\\_scenarios/links/5718ce8f08ae986b8b7ad50c/Eutrophication-and-climate-change-Present-situation-and-future-scenarios.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Martin_Dokulil/publication/301347429_Eutrophication_and_climate_change_Present_situation_and_future_scenarios/links/5718ce8f08ae986b8b7ad50c/Eutrophication-and-climate-change-Present-situation-and-future-scenarios.pdf)

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Asamblea Nacional Constituyente. (04 de 07 de 1991). *Contitucion Politica de Colombia*. Bogota, Republica de Colombia.

Mesa, L. (2006). *Instituto Tecnologico de Costa Rica*. Recuperado el 12 de 10 de 2017, de <https://entremaestros.files.wordpress.com/2010/02/el-paradigma-positivista-y-la-concepcion-dialectica-del-conocimiento.pdf>

Hernandez, R., Fernadez, C., & Batista, M. (2010). *Metodologia de laInvetigacion*. Ciudad de Mexico: McGraw-Hill.

Universidad politecnica de cartagena. (s.f.). *upct.es*. Obtenido de Universidad politecnica de cartagena: [https://www.upct.es/~minaees/analisis\\_microbiologico\\_aguas.pdf](https://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf)

Ministerio de la proteccion social. (22 de JUNIO de 2007). *Instituto Nacional de salud*. Obtenido de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%20115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>

Universidad de Antioquia. (2009). *Universidad de antioquia*. Obtenido de GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS: <http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/55/1/GestionProcesosDescontaminacion.pdf>

Ministerio de salud publica. (16 de marzo de 1998). *Ministerio de salud y proteccion social*. Obtenido de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%200475%20DE%201998.PDF](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%200475%20DE%201998.PDF)

Organizacion Mundial de la salud. (s.f.). *Organizacion Mundial de la salud*. Obtenido de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/)

Fundacion Global Nature. (s.f.). *Fundacion Global Nature*. Obtenido de <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%205.pdf>

Ministerio de ambiente decreto 3930. (25 de octubre de 2010). *Ministerio de ambiente*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)

Red de desarrollo sostenible Colombia. (21 de abril de 2001). *Red de desarrollo sostenible Colombia* . Obtenido de <https://www.rds.org.co/es/recursos/gestion-ambiental>

Triana, E. S. (1993). *Biblioteca Virtual Ministerio del medio ambiente*. Obtenido de <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0013/MMA-0013-CAPITULO2.pdf>

Ministerio de Desarrollo Economico. (noviembre de 2000). *Ministerio de vivienda*. Recuperado el 30 de octubre de 2017, de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf)

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Tsutsumi. (2010). Application of microbubble injector to marine fish farming and its future perspective. *Bull Soc Sea Water Sci Jpn*.

Banco Mundial. (31 de DICIEMBRE de 2013). Recuperado el 30 de 09 de 2017, de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

Lopez, M. E. (1985). *Aguas residuales. Composicion*. Granada, España: Servicio de publicaciones.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *IDEAM.GOV*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>

Ministerio de Salud. (26 de julio de 1983). *anla.gov*. Obtenido de [http://www.anla.gov.co/sites/default/files/normativa\\_ambiental/dec\\_2105-83.pdf](http://www.anla.gov.co/sites/default/files/normativa_ambiental/dec_2105-83.pdf)

Nestor Mazzeo, J. C. (1998). *Asociacion civil de investigacion y desarrollo*. Obtenido de <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/pasantias/eutrofizacion.pdf>

Kaster, J., Michelsen, D., & Velander, W. (1990). *Increased Oxygen Transfer in a Yeast Fermentation Using a Microbubble Dispersion*. Blackburg, Virginia, USA: Applied Biochemistry and Biotechnology.

Han, S., & Dockko, M. (Dic. de 1998). Zeta potential measurement of bubbles in DAF process and its effect on the removal efficiency. *KSCE Journal of Civil Engineering*.

Ago, K., Nagasawa, K., Takita, J., Itano, R., Morii, N., Matsuda, K., & Takahashi, K. (2005). Development of an Aerobic Cultivation System by Using a Microbubble Aeration Technology. *Journal of chemical engineering of Japan*.

Sharma, P., Gibcus, M., Van der Mei, H., & Busscher, H. (Jul de 2005). Influence of fluid shear and microbubbles on bacterial detachment from a surface. *Appl Environ Microbiol*.

Li, P. (2006). *Development of advanced water treatment technology using microbubbles*. Obtenido de School of Science for Open and Environmental Systems: <http://iroha.scitech.lib.keio.ac.jp:8080/sigma/bitstream/handle/10721/2127/document.pdf?sequence=4>

Chu, L., Xing, H., X, Y. F., Zhou, N., Sun, X., & Jurcik, B. (2007). Enhanced ozonation of simulated dyestuff wastewater by microbubbles. En *Chemosphere* (Vol. 68, págs. Pages 1854-1860). Ibaraki, Japan: Elsevier.

Tsai, J., Kumar, M., Chen, S., & Lin, G. (Jul de 2007). Nano-bubble flotation technology with coagulation process for the cost-effective treatment of chemical mechanical polishing wastewater. En *Separation and Purification Technology* (Vol. 58, págs. Pages 61-67). Taiwan: Elsevier.

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------



[Escriba aquí]

Samikura, M., Hidaka, M., Murakami, H., Nobutomo, Y., & Murakami, T. (2007). Ozone micro-bubble disinfection method for wastewater reuse system. *Water Sci Technol*.

Himuro, S. (2007). A New Washing Method Using Microbubbles. *Progress in multiphase flow reserach*, 2, Pages 39,45.

Chu, L., Xing, H., Yu, F., Sun, X., & Jurcik, B. (2008). Enhanced treatment of practical textile wastewater by microbubble ozonation. En *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 86, págs. Pages 389-393). Ibaraki Prefecture, Japon: IchemE, Advadcing chemical engineering worldwide.

Chu, L., Yan, S., Xing, X., Yu, A., Sun, X., & Jurcik, B. (2008). Enhanced sludge solubilization by microbubble ozonation. En *Chemosphere* (Vol. 72, págs. Pages 205-212). Japon: Elsevier.

Hosokawa, S. (2009). Measurement of micro Bubbles generated by a pressurized dissolution method. *Journal Phys*.

Tsuge, H., Li, Shimatani, N., Shimamura, Y., Nakata, H., & Ohira, M. (2009). Fundamental Study on Desinfection Effect of Microbubbles. *Micro and Nanobubbles: Fundamental and applications*. Pan Stanford Publishing., 35, Pages 548-552.

Fan M, T. D. (May. de 2010). Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part III): specially designed laboratory scale column flotation of phosphate. *Mining Science and Technology*. , 20(Pages 317-338).

Fan, M., Tao, D., Honaker, R., & Luo, Z. (Sep de 2010). Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part IV): mechanical cells and specially designed column flotation of coal. *Mining Science and Technology*., 20, Pages 641-671.

Liu, S., Wang, Q., Ma, H., Huang, P., Li, J., & Kikuchi, T. (Ene. de 2010). Effect of micro-bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater. *Separation and Purification Technology*., 71, Pages 337-346.

Kutty, S., Winarto, F., Gilani, S., Anizam, A., Karimah, W., & Isa, M. (2010). Degradation Of Organic Matter Using A Submerged Micro Bubble Diffuser In A Biological Wastewater Treatment System. En *Waste Management and Environment* (págs. Pages 415-425). Inglaterra, Reino Unido: WITpress.

Uchida, T., Oshita, S., Ohmori, M., Tsuno, T., Soejima, K., Shinozaki, S., . . . Mitsuda, K. (Abr de 2011). Transmission electron microscopic observations of nanobubbles and their capture of impurities in wastewater. *Nanoescale Research Letters*.

He, W., Li, Z., Fan, Y., Liang, Y., & Scales, P. (May de 2012). The Development and Applications of Microbubble Generators Especially for Wastewater Treatment. *Advanced Materials Research*., 518-523, Pages 2891-2894.

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Wen, L., Ismail, A., Menon, M., Sathasivam, P., Thu, K., & Choon, K. (03 de Ago de 2012). Case studies of microbubbles in wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, Pages 10-16.

Liu, S., Wang, Q., Sun, T., Wu, C., & Shi, Y. (Feb de 2012). The effect of different types of micro-bubbles on the performance of the coagulation flotation process for coke waste-water. (B. N. Foundation, Ed.) *Journal of Chemical technology and Biotechnology.*, 87(2), Pages 206-215.

Pallapothu, S., & Taweel, A. (27 de Ago de 2012). Effect of Contaminants on the Gas Holdup and Mixing in Internal Airlift Reactors Equipped with Microbubble Generator. (D. U. Department of Process Engineering and Applied Sciences, Ed.) *International Journal of Chemical Engineering*.

Ahmadi, R., & Darban Khodadadi, A. (2013). Modeling and Optimization of Nano-bubble Generation Process Using Response Surface Methodology. *International journal of nanoscience and nanotechnology.*, 9(3), 151-162.

Li, H., Hu, L., Song, D., & Lin, F. (01 de Sept de 2014). Characteristics of micro-nano bubbles and potential application in groundwater bioremediation. *Water Environment Research.*, 86(9), Pages 844-851.

Zheng, T., Wang, Q., Zhang, T., Shi, Z., Tian, Y., Shi, S., . . . Wang, J. (28 de Abril de 2015). Microbubble enhanced ozonation process for advanced treatment of wastewater produced in acrylic fiber manufacturing industry. *Journal of Hazardous Materials*, 287, Pages 412-420.

Deendarlianto, D., Wiratni, W., Tontowi, A., Indarto, I., & Wahyu Iriawan, A. (Sept de 2015). The Implementation of a developed microbubble generator on the aerobic wastewater treatment. *International journal of technology.*, 06(06).

Hung, I. (2016). Ultrafine Bubble-Enhanced Ozonation For Water Treatment. *A thesis submitted to the faculty of the department of agriculture and biosystems engineering.* Tucson, Arizona, Estados Unidos.

Andinet, T., Kim, I., & Lee, J. Y. (2016). Effect of microbubble generator operating parameters on oxygen transfer efficiency in water. *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece.* (págs. Pages 26327-26335). Republic of Korea: CEST.

Sharifuzzaman, M., Yang, N., Park, M., & Park, J. (26 de Enero de 2017). Performance comparison of micro-nano bubble, electro-oxidation and ozone pre-treatment in reducing fluoride from industrial wastewater. *Engineering in Agriculture, Environment and Food.*, 10(03), Pages 186-190.

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Kaushik, G., & Chel, A. (30 de Junio de 2017). Microbubble technology: emerging field for water treatment. *Bubble Science, Engineering and Technology.*, 05(01, 02), Pages 33-38.

Temesgen, T., Bui, T., Han, M., Kim, T., & Park, H. (Agosto de 2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246, Pages 40-51.

Sperling, M., V, F., & Lemos Chernicharo, C. (Junio de 2001). Performance evaluation of a UASB - activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science and Technology.*, 842(70).

Arapio, L. (03 de Diciembre de 2014). Analizan aplicación de nano y micro burbujas en el agua de mar en minería . *Revista Minería Chilena.* .

Morikawa, M. (12 de Mayo de 2016). Usarán nanotecnología para revivir Alalay. *Los Tiempos*. Obtenido de Cochabamba: <http://www.lostiempos.com/actualidad/local/20160512/usaran-nanotecnologia-revivir-alalay>

Cruza, R., & Valverde, J. (Octubre de 2017). Reduction of Coliforms presents in domestic residual waters by Air-Ozone Micro-Nanobubbles In Carhuaz city, Peru. *Journal of Nanotechnology.*, 01(01).

Reyes, R., & Valverde, J. (2017). Efficiency Of Micro-Nanobubbles for Wastewater Treatment in Puerto Bermúdez, Oxapampa, Pasco. *Journal of Nanotechnology.*, 01(01).

Salguero, J., & Valverde, J. (Octubre de 2017). Reduction of the Biochemical Oxygen Demand of the water samples from the lower basin of the Chillón River by means of Air-Ozone MicroNanobubbles, Ventanilla – Callao. *Journal of Nanotechnology.*, 01.

Benazir, A., & Valverde, J. (2017). Reduction of Thermotolerant Coliforms Present in the Sea Water by Means of Micro-Nanobubbles of Air-Ozone of the Beach Los Pavos, Lima, Peru. *Chemical Engineering Transactions.*, 60.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Decreto 2667. Colombia.

Congreso de la Republica Ley 142. (1994). Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Resolucion 0631. (2015). Colombia.

Riera, M., & Graterol, N. (Julio de 2015). Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas en una empresa manufacturera. *Revista Digital de Investigación y Posgrado de la Universidad Nacional Experimental Politecnica.* , 05(02).

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Sjogreen, C. (25 de Mayo de 2015). Caracterización de Nanoburbujas en Soluciones Salinas. *Tesis o trabajo de investigación para obtener el título de Maestría en Ciencia-Física*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Forero, J., Díaz, J., & Blandón, V. (Diciembre de 1999). Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. *C.T.F Ciencia, Tecnología, Futuro.*, 01(05). Bucaramanga, Santander, Colombia.

Cisneros, C. (Julio de 2006). Clarificación de agua de producción para su inyección o reinyección por flotación inducida con microburbujas. *Proyecto previo a la obtención del título de ING de Petróleos*. . Quito, Ecuador: Software, DSpace.

Ortíz, C., & Eulate, N. (2012). Aplicación de microburbujas en la flotación de lodos de tratamiento de aguas ácidas de mina. Parte II: Flotación. *Revista Metalúrgica y Ciencia de materiales, Universidad Técnica de Oruro*. (32).

Cipiran, J. (2012). Disminución de la concentración de Sólidos Totales Suspendedos y grasas contenidas en el agua de bombeo en la empresa pesquera austral Group S.A Mediante flotación con nanoburbujas. *Tesis para optar el título profesional de ING. Químico*. Trujillo, Perú: Creative Commons.

IDEAM. (2012). *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAHRhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAHRhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones)

Liu, S., Wang, Q., Zhai, X., Huang, Q., & Huang, P. (Jul de 2010). Improved Pretreatment (Coagulation-Floatation and Ozonation) of Younger Landfill Leachate by Microbubbles. *Water Environ Res*.

Fan, M., Tao, D., Honaker, R., & Luo, Z. (Ene. de 2010). Nanobubble generation and its application in froth flotation (part I): nanobubble generation and its effects on properties of microbubble and millimeter scale bubble solutions. China: Elsevier.

Ushikubo, F., Furukawa, T., Nakagawa, R., Enari, M., Makino, Y., Kawagoe, Y., . . . Oshita, S. (20 de May de 2010). Evidence of the existence and the stability of nano-bubbles in water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.*, 361(1-3), Pages 31-37.

Agarwal, A., Jern, W., & Liu, Y. (Ago de 2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. (D. o. Engineering., Ed.) *Chemosphere*, 84(9), Pages 1175-1180.

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Terasaka, K., Hirabayashi, A., Nishino, T., Fujioka, S., & Kobayashi, D. (15 de Jul de 2011). Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge. *Chemical Engineering Science*, 66(14), Pages 3172-3179.

Kobayashi, F., Ikeura, H., Oshato, S., Goto, T., & Tamaki, M. (11 de Ago de 2011). Disinfection using ozone microbubbles to inactivate *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum*. *Crop Protection*, 30(11), Pages 1514-1518.

Liu, C., Tanaka, H., Zhang, J., & Kubota, N. (15 de Enero de 2013). Successful application of Shirasu porous glass (SPG) membrane system for microbubble aeration in a biofilm reactor treating synthetic wastewater. *Separation and Purification Technology*, 103, Pages 53-59.

Ashbolt, N. J., & Grabow, W. (1996). *Indicators of microbial water quality*. Recuperado el 28 de 10 de 2017, de <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf?sequence=8>

IDEAM. (2012). *IDEAM*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones)

De Miguel, F. (1999). *Formación y Evaluación de las Reservas de Explotación de las Aguas Subterráneas de los Sedimentos del Mioceno-Cuaternario de la Cuenca del Río Cauto en Cuba*. San Petersburgo: LGI.

Vernier, f. (2002). *Ciencias con lo mejor de Vernier*. Recuperado el 06 de 06 de 2018, de [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CMV-41-oxigeno\\_disuelto.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf)

Morin, P. J. (2011). *Community ecology*. Oxford: Wiley-Blackwell.

Monteoliva, A. M. (2000). *Iberorest*. Recuperado el 22 de 03 de 2019, de <http://iberorest.com/tratamiento-de-eutrofizacion/>

DANE. (2010). *Censo General 2010 Perfil PASCA CUNDINAMARCA*. Pasca-Cundinamarca.

Biblioteca del congreso nacional de Chile . (26 de DICIEMBRE de 2016). *Congreso nacional de Chile*. Recuperado el 30 de 09 de 2017, de <http://www.bcn.cl/observatorio/americas/noticias/la-contaminacion-del-agua-en-america-latina-y-chile>

Garcia, J. (2006). Comparacion de fertilizacion organica y tradicional a traves del uso de microorganismos eficaces y quimicos tradicionales sobre la produccion de biomasa durante un ciclo de cosecha en un cultivo de rabano gordo. *Revista Latinoamericana de Microbiologia*, 73-82.

Ashbolt, N., Grabow, w., & Snozzi, M. (1996). *Indicators of microbial water quality*. Recuperado el 28 de 10 de 2017, de <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf?sequence=8>

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]

Naciones unidas. (2016). *UNDESCO*. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>

Bach. Macassi, A., & Giuliana, C. (2017). Comportamiento del sistema de nanoburbujeo en el tratamiento para reducir los niveles de contaminación de aguas residuales domésticas de la provincia de concepción. En u. n. Química. Huancayo – Perú.

Romero M, C. A. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional en contaminación ambiental*.

Menendez, D. V. (2017). *Eficiencia de las micro-nano burbujas de ozono-aire para mejorar la calidad de las aguas residuales hospitalarias*. Lima – Perú.

Torres, J. (11 de Noviembre de 2015). Burbujas nanotecnológicas para recuperar lagos contaminados. *Mongabay latam*.

Tamburrino, A. (2013). *Transferencia de masa a traves de interfaces III*.

Baladrón, A. (3 de Febrero de 2016). *Ibero-Rest*. Obtenido de tróficas, Eutrofización: tratamiento mediante la manipulación de cadenas: <http://ibero-rest.com/tratamiento-de-eutrofizacion/>

IDEAM. (28 de Diciembre de 2007). *Demanda química de oxígeno por reflujos cerrados y volumetría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

Cawse, P. &. (1969). The reduction of  $^{15}\text{N}$ -labelled nitrate to nitrite by fresh soils following treatment with gamma radiation. *Soil Biol. Biochem.*, 1:287-274.

## Anexo 1. Presupuesto del proyecto de investigación.

Item	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Overol	manga larga en drill/algodón color azul oscuro.	Unidad	4	42000	168000
Impermeable	Traje impermeable en PVC.	Unidad	4	80000	320000
Botas impermeables	Bota en Pvc color amarillo punta de seguridad.	Unidad	4	150000	600000
Mascara proteccion	proteccion doble filtro con correa ajustable con filtros para vapores acidos y organicos	Unidad	4	54000	216000
Guantes latex	Caja de guantes latex X100 unidades sin polvo	Unidad	2	20000	40000

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

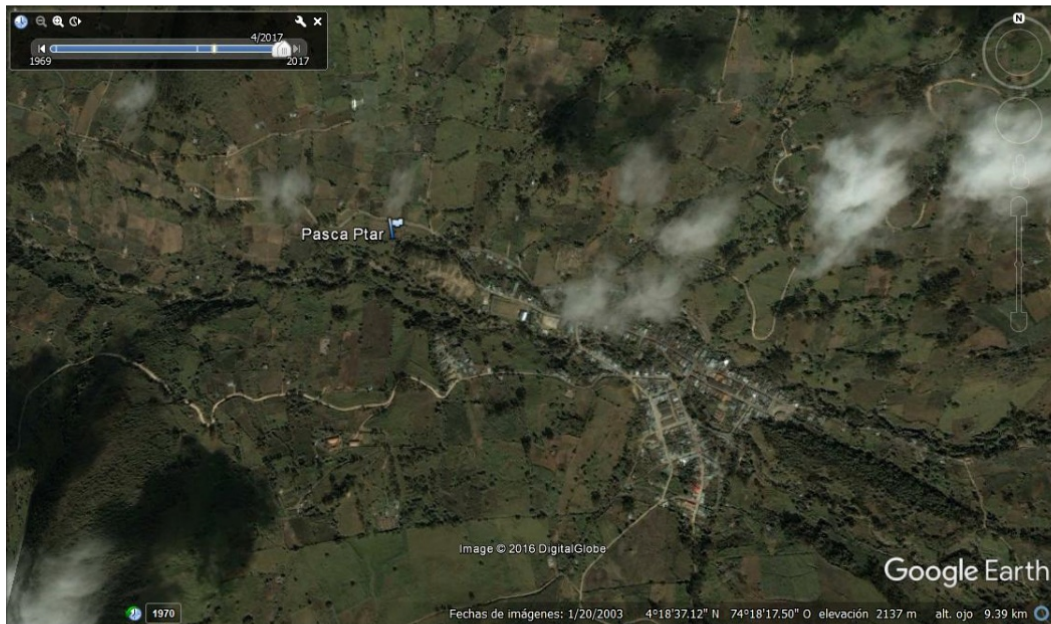
[Escriba aquí]

Tapabocas	Caja de tapabocas X50 unidades	Unidad	4	11000	44000
Gafas de proteccion	Gafas en policarbonato ventilación lateral color transparente liviana filtro Uv	Unidad	4	12000	48000
Gorros desechables	Caja de gorros desechables X100 unidades, borde elastico tela no tejida	Unidad	2	15000	30000
Garrafas	Garrafa en polietileno de 1 galon con manijas	Unidad	10	2000	20000
Nevera portatil	Nevera en icopor con tapa, 19 litros con correa	Unidad	2	35000	70000
Gel refrigerante	gel refrigerante con dietilenglicol y etilenglicol de 500gr de 19cmx14cm con envoltorios sellados	Unidad	3	3000	9000
toallas de papel	Rollo de toallas de papel absorbente x160 hojas	Unidad	6	5000	30000
Cinta	Cinta de enmascarar 18mmx 40mts	Unidad	5	5000	25000
Cuerda Nylon	Cuerda Nylon trenzada 6mmx15mts	Unidad	2	22000	44000
Balde plastico	Balde plastico aforado de 12Lts	Unidad	2	17000	34000
Reactivo	Analisis DQO	Unidad	24	53000	1272000
Reactivo	Analisis de DBO	Unidad	24	53000	1272000
Reactivo	Analisis SST	Unidad	24	21000	504000
Reactivo	Analisis de SS	Unidad	24	22000	528000
Reactivo	Analisis de Nitrogeno T.	Unidad	24	37000	888000
Reactivo	Analisis de Nitratos	Unidad	24	27000	648000
Reactivo	Analisis de Nitritos	Unidad	24	16000	384000
Reactivo	Analisis de Fosforo T.	Unidad	24	37000	888000
trasporte	trasporte y traslado de equipos y muestras	Unidad	1	680000	680000
planta electrica	planta electricatrifasica 3500va Diesel	Unidad	1	4200000	4200000
Electro bomba	bomba hidroneumática 1HP	Unidad	1	2800000	2800000
Equipo burbujeo	Equipo de micro y nano burbujeo 15 l/m	Unidad	1	12800000	12800000
TOTAL					\$28.562.000

Anexo 2.Imágen de localización satelital PTAR del municipio de Pasca.

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------

[Escriba aquí]



Fuente: Google Earth 2018.

Anexo 3. Imagen de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pasca.



Fuente: Autor.

Anexo 4. Imagen punto de vertimiento.

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------



[Escriba aquí]



Fuente:

Autor.

Elaboradopor: Fecha:	Revisadopor: Fecha:	Autorizadopor: Fecha:
-------------------------	------------------------	--------------------------