



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“PROLIFERACIÓN DE MICROALGAS EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

Trabajo de investigación para optar el grado académico de:  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Presentado por:

Taciana María Arbaiza Gonzales ([0000-0003-0349-8193](#))

Asesor:

Susan Mery Medina Canzio ([0000-0003-2574-7728](#))

Lima – Perú

2021

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°051-2021-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima, 15 de febrero de 2021

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Proliferación de microalgas en plantas de tratamiento de aguas residuales**, presentado por:

- **Taciana María Arbaiza Gonzales**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Proliferación de microalgas en plantas de tratamiento de aguas residuales** con N° de registro de la carrera: **090-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Susan Medina Canzio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

PROLIFERACIÓN DE MICROALGAS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES

Taciana María Arbaiza Gonzales<sup>1\*</sup>; Susan Mery Medina Canzio<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> *Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur. Lima-Perú*

*\*Correo de correspondencia: [taciana.arbaiza@gmail.com](mailto:taciana.arbaiza@gmail.com)*

## RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales es en la actualidad un mecanismo necesario para satisfacer la necesidad en situaciones donde no hay la posibilidad de contar con una fuente continua de agua. Múltiples tecnologías son empleadas para este fin, cuyo grado de complejidad depende del uso para el cual se va a disponer el agua tratada, el marco normativo que indique los parámetros de calidad que debe alcanzar y la inversión para contar con la infraestructura necesaria. Cuando la concentración de fósforo y nitrógeno es elevada en el agua a ser tratada y existen las condiciones favorables, se da el escenario perfecto para la proliferación de microalgas, las cuales al no ser controladas presentan un obstáculo en el adecuado tratamiento de aguas residuales. En la presente investigación se enmarca el escenario del tratamiento de aguas residuales en el Perú, las condiciones que favorecen la proliferación de microalgas en el caso de un reconocido club en Lima, así como diversas opciones para afrontar esta problemática.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, microalgas, Lima Golf Club, tecnologías, Perú.

**ABSTRACT**

Wastewater treatment is currently a necessary mechanism to meet the need in situations where there is no possibility of having a continuous source of water. Multiple technologies are used for this purpose, whose degree of complexity depends on the use for which the treated water is going to be available, the regulatory framework that indicates the quality parameters that must be achieved and the investment to have the necessary infrastructure. When the concentration of phosphorus and nitrogen is high in the water to be treated and there are favorable conditions, the perfect scenario for the proliferation of microalgae occurs, which, when not controlled, presents an obstacle in the proper treatment of wastewater. This research frames the scenario of wastewater treatment in Peru, the conditions that favor the proliferation of microalgae in the case of a recognized club in Lima, as well as various options to address this problem.

Keywords: Wastewater treatment, microalgae, Lima Golf Club, technologies, Peru.

## REVISIÓN TEÓRICA

### **Tratamiento de aguas residuales a nivel mundial**

Se conoce como aguas residuales a las aguas que presentan una alteración de sus características iniciales debido a actividades humanas y que a partir de la calidad que presentan, necesitan recibir tratamiento para su reutilización, vertimiento a un cuerpo de agua natural o descarga al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014). Las aguas residuales son recolectadas desde tiempos antiguos, sin embargo, su tratamiento es reciente ya que data entre fines del siglo XIX e inicios del siglo XX (Lofrano & Brown, 2010). Sin embargo, el conocimiento moderno y la conciencia de la necesidad de saneamiento y tratamiento de aguas contaminadas comenzaron con el famoso caso de John Snow en 1855, en el que demostró que un brote de cólera en Londres se debió al agua contaminada de aguas residuales obtenida del río Támesis (Lofrano & Brown, 2010).

El nivel o grado de tratamiento que reciben las aguas residuales varía según el país, lo cual se ve influenciado por el marco legal aplicable en cada uno de estos. En países en desarrollo como Venezuela, Guatemala o Bolivia, la mayor parte de las aguas residuales domésticas e industriales se descargan sin haber sido tratadas por la calidad que presentan o después de haber recibido un tratamiento simple como el tratamiento primario mediante el uso de sales férricas (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, 2017). En América Latina, alrededor del 15% de las aguas residuales recolectadas terminan en plantas de tratamiento (con niveles variables de tratamiento real). En el Medio Oriente, países como Irán que se consideran relativamente desarrollados, tienen aguas residuales sin tratamiento que son inyectadas en las aguas subterráneas de la ciudad. Hasta en un país de primer mundo como lo es China, las descargas de aguas residuales sin tratamiento se encuentran alrededor del 55%. (Dhote et al., 2012).

Por factores naturales y antropogénicos, se liberan contaminantes orgánicos e inorgánicos al medio ambiente que progresivamente se van acumulando. Esto genera graves problemas ambientales, provocando efectos negativos para la vida silvestre y la salud humana (The International Water association, 2018). La urbanización exacerba

aún más esta situación al aumentar la generación de aguas residuales, mientras que al mismo tiempo utiliza recursos que cada vez son más escasos de la Tierra. Recuperar el agua, la energía, los nutrientes y otros materiales que se puedan encontrar en las aguas residuales es una oportunidad clave que se debe aprovechar (The International Water association, 2018). Ante este panorama y con el fin de conservar la calidad y cantidad de este recurso indispensable para vida en la tierra, el desarrollo de tecnologías nuevas para la remediación de aguas contaminadas y aguas residuales ha sido de gran importancia. (Oputu et al., 2015). Opciones como la biorremediación, el biorreactor de membrana y los procesos avanzados de oxidación (AOP) se muestran como tecnologías de tratamiento de aguas y aguas residuales (Oputu et al., 2015) distintas a las ya convencionales como las plantas centralizadas, letrinas de pozo, sistemas sépticos, entre otros.

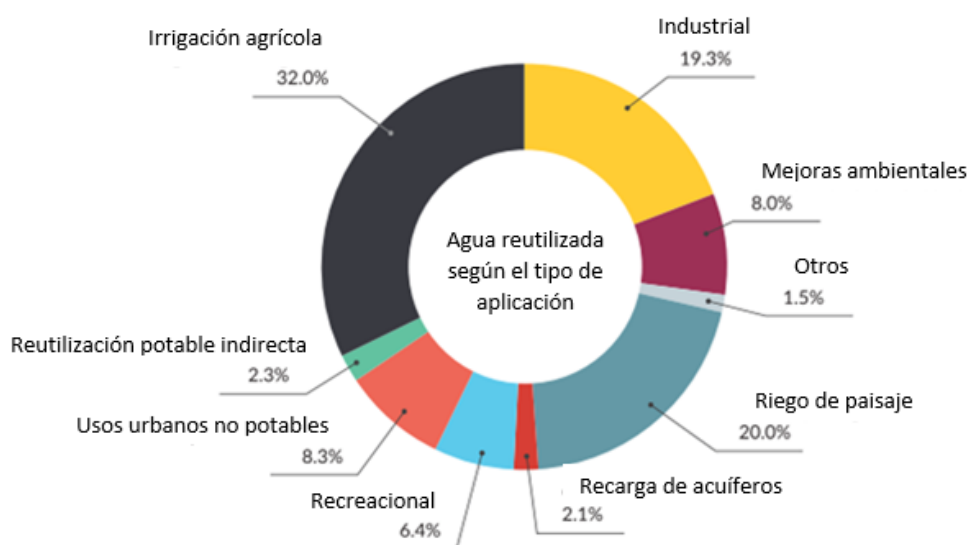
Un estudio realizado en América Latina y el Caribe, señala que las tres tecnologías más empleadas para el tratamiento de aguas residuales, son los lodos activos, el reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB) y las lagunas de estabilización. En los últimos 20 años el UASB se ha consolidado en esta región como una alternativa cada vez más empleada y útil para tratar aguas residuales municipales debido a que es fácilmente adaptable a las condiciones del medio haciendo uso insumos y recursos locales y generando a su vez subproductos como los lodos que pueden ser fácilmente reaprovechados en el entorno (Noyola et al., 2013).

Diversas ciudades en el mundo han encontrado en el tratamiento de aguas residuales el desarrollo de industria, generando a la vez oportunidades para cuidar el recurso agua. En Tailandia, el lodo se percibe como un recurso valioso en la economía basada en la agricultura. El proceso comienza a nivel doméstico, donde las aguas negras fluyen hacia un tanque séptico gestionado por el gobierno, y son separadas de las aguas grises que fluyen directamente al sistema de alcantarillado que a su vez recoge toda el agua de lluvia del entorno urbano. Finalmente, el agua es tratada en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y los lodos se recolectan, tratan y transforman para ser vendidos para su reutilización como fertilizantes. En China, la ciudad de Beijing ha adoptado diferentes tecnologías, como el reactor de membrana, para fomentar la reutilización de aguas residuales. Con la creación de nueva infraestructura para el

tratamiento de aguas residuales incentivada por el gobierno, la ciudad ha reciclado una cuarta parte de sus aguas residuales domésticas y ha mejorado el tratamiento de las aguas residuales industriales descargadas hasta un 85%. Chennai, capital de un estado en India, formuló un conjunto de estándares de servicio que permiten la reutilización acelerada de aguas residuales y el programa "Cero descarga de agua en Chennai". Todas las partes interesadas, incluyendo autoridades gubernamentales, ciudadanos y sector privado, tienen el mandato de un conjunto de regulaciones y reglamentos para garantizar la máxima reutilización del agua y las aguas residuales con estándares de calidad seguros. (The International Water association, 2018)

En la actualidad los usos que se le dan al agua tratada son variados y como fue explicado en líneas anteriores, depende en gran medida del nivel de tratamiento y de la calidad que se requiere para su uso.

Figura N° 1 : Agua reutilizada mundialmente después de recibir tratamiento



Fuente: (UNESCO, 2019)

La reutilización del agua brinda alternativas para incrementar el abastecimiento convencional de este recurso, sobre todo en ciudades que se abastecen de fuentes de agua muy lejanas o que sufren de estrés hídrico. Cuando las aguas residuales son tratadas con altos estándares de calidad y seguridad, estas mejoran su atractivo general haciendo posible que la reutilización del agua incremente su factibilidad económica (UNESCO, 2019).



### Marco normativo competente

En la normativa peruana se establecen diversos parámetros y valores necesarios para la operación y construcción de las PTAR como se muestra a continuación:

- Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA: Establece los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado sanitario de aguas residuales no domésticas; considerando algunos parámetros relevantes en el tratamiento de aguas residuales como los descritos en la siguiente tabla:

Tabla N°1: Valores Máximos Admisibles para descargas al sistema de alcantarillado

Parámetro	Unidad	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Aceites y Grasas	mg/L	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 )	mg/L	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1000
Potencial de Hidrógeno (pH)	unidad	6-9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	500

Fuente: Diario Oficial El Peruano, 2019

- Decreto Supremo N°003-2010-MINAM: Establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes provenientes de PTAR municipales o domésticas, considerando algunos parámetros relevantes en el tratamiento de aguas residuales como los descritos en la siguiente tabla:

Tabla N°2: LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 )	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200
Potencial de Hidrógeno (Ph)	unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Diario Oficial El Peruano, 2010

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua establecen los parámetros de calidad de agua que deben existir según diversas categorías y subcategorías en el cuerpo de agua receptor. El tratamiento que reciban las aguas residuales a ser vertidas debe priorizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en este decreto según la clasificación del cuerpo de agua receptor. La Tabla N°3 describe algunos de estos parámetros.

Tabla N° 3: Estándares de calidad ambiental para agua

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 )	mg/L	3	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	> o = a 6	> o = a 5	> o = a 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1000	1500

Fuente: Diario Oficial El Peruano, 2017

El Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA) - Perú 2011-2021 prioriza las metas en cuestiones ambientales para nuestro país, por un periodo de diez años. La Meta 1 del PLANAA, establece lo siguiente con respecto a las aguas residuales:

- Meta 1.1 al 2021: Un 100% de tratamiento y un 50% de reutilización de las aguas residuales domésticas urbanas.
- Meta 1.2 al 2021: Titulares que poseen autorizaciones de vertimiento cumplen con todos los LMP aplicables a su actividad. El ECA para agua se cumple en los cuerpos receptores. El PLANAA - Perú 2011-2021 se asemeja al Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015, debido a que ambos persiguen la meta de alcanzar un tratamiento de aguas residuales urbanas en un 100%, con la diferencia que el PLANAA considera que esta se alcanzaría en el 2021 además de lograr una reutilización de las mismas en un 50%. (Ministerio del Ambiente, 2011)

Adicionalmente a lo mencionado, el Perú tiene un Plan Nacional de Inversiones (PNI) aplicable al sector saneamiento durante los años 2014-2021, en el cual se cuantifican las inversiones requeridas para poder universalizar la cobertura de los servicios de saneamiento para los sectores urbano y rural. Se estima que para poder alcanzar las metas para el 2021, la inversión requerida es de 53,5 mil millones de soles, lo cual involucra el tratamiento de aguas residuales, el mejoramiento y recuperación de la infraestructura actual y la ampliación de la cobertura (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2014).

El Perú cuenta con planes y normativa bien detallados respecto al tratamiento de aguas residuales, al cumplimiento de los ECA para agua y LMP así como también una inversión estimada requerida para contar con la infraestructura necesaria, que resulta difícil aceptar que el estado actual de las aguas residuales en el Perú se encuentra en la forma que fue descrita párrafos arriba.

Los proyectos de inversión del sector de saneamiento, con el fin de lograr una inversión eficiente, poseen criterios de priorización en la asignación de recursos económicos según lo establecido en la Resolución Ministerial N°270-2014-VIVIENDA. Para las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), esta resolución incentiva que los proyectos integrales de ampliación del servicio agua potable y alcantarillado sean financiados por sobre los proyectos que involucran rehabilitación. Este último ni los proyectos para nuevas PTAR, se encuentran priorizados ya que cuentan con una calificación menor respecto a otros. Dicho escenario, convierte a las EPS en potenciales sujetos sancionables administrativa o penalmente ante la dificultad de cumplir los ECA de agua

y los LMP ya que se requieren nuevas PTAR así como también rehabilitar las ya existentes. Por otra parte, la resolución establece que aquellos proyectos que impliquen tener una PTAR, deberán tener un instrumento ambiental aprobado para poder obtener un financiamiento. En la actualidad, la mayor parte de las PTAR no cuenta con estos instrumentos y a su vez, las EPS pequeñas no han recibido una asesoría financiera y técnica para promover su obtención, lo cual dificulta aún más que existan proyectos enfocados al tratamiento de aguas residuales de manera formal (Sunass, 2015).

El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) establece el procedimiento para otorgar autorizaciones para el reúso de aguas residuales tratadas. En este reglamento, el artículo 150 menciona que la evaluación de las solicitudes presentadas para obtener una autorización para el reúso de aguas residuales tratadas se basará en los valores establecidos por el sector competente de la actividad a la que será destinada el agua reutilizada o, en caso no se tengan definidos los valores, se emplearán las guías de la Organización Mundial de la Salud (Diario Oficial El Peruano, 2010).

Los métodos habituales de tratamiento de aguas residuales están enfocados en la disminución o eliminación de los sólidos en suspensión y la demanda bioquímica de oxígeno, según aplique de acuerdo a los valores descritos en la normativa ya mencionada. Por otro lado, el tratamiento que debe recibir esta agua para ser aprovechada demanda la eliminación de helmintos y entre otros agentes patógenos, sin embargo, los métodos habituales no son muy eficaces para lograr esto. El número de huevos de helmintos, el cual es consecuencia del riego con aguas residuales en zonas cálidas, constituye un gran riesgo para la salud pública, por lo cual resulta importante tomar este parámetro en cuenta si el agua residual tratada será destinada para este uso (Del Castillo Gutiérrez & Meseth Macchiavello, 2015).

En zonas con climas cálidos, las lagunas de estabilización son el método de tratamiento de aguas residuales más empleado ya que poseen bajos costos de construcción, mantenimiento y operación, siempre y cuando existan terrenos disponibles para poder construirlos. La OMS señala que para erradicar los helmintos en la proporción requerida, es posible construir una serie de estanques que cuenten con un tiempo total de retención de entre 8 a 10 días, pero para climas cálidos se requiere duplicar este tiempo como mínimo para disminuir el número de bacterias a la concentración indicada por la

OMS. El método recomendado por la OMS para países en desarrollo para la eliminación de huevos de helmintos, requiere la creación de normas nacionales en concordancia con la realidad, estrictas y revisadas, pero más leves para las concentraciones bacterianas permisibles. De esta manera la salud pública estaría más protegida, permitiendo que se establezcan metas tecnológica y económicamente alcanzables (Organización mundial de la salud, 1989).

### **Situación actual del tratamiento de aguas residuales en el Perú**

El grado de cobertura de los servicios de saneamiento y acceso al agua potable son algunos de los indicadores empleados para determinar el nivel de bienestar de un país. En 2018 el grado de cobertura de servicios de agua potable en el Perú fue del 95,1% en el área urbana, en tanto en el área rural de un 75,0%. En alcantarillado la cobertura nacional fue del 74,6%, y para el sector urbano a cargo de las EPS, de un 89,9%. Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales fue muy bajo, alcanzando solamente el 32,7%, porcentaje que podría ser inferior si se tomara en consideración el grado de efectividad en los tratamientos (INEI, 2018).

Aproximadamente un tercio del total de las autorizaciones de reúso se han brindado en el departamento de Lima. Respecto al volumen de aguas tratadas autorizadas al año, Lima concentra el 52% del volumen total (Del Castillo Gutiérrez & Meseth Macchiavello, 2015). En las PTAR de Lima Metropolitana, los procedimientos existentes para el tratamiento de aguas residuales se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Ausentes de tratamiento o solo con pretratamiento: La descarga de aguas residuales domésticas e industriales se realiza de forma directa en el suelo o cuerpos de agua a través del río o el mar, letrinas, entre otros (Wirth, 2010).
- Tratamiento primario: Se emplean tanques Imhoff y fosas sépticas preferiblemente.
- Tratamiento secundario: Las tecnologías más empleadas son los estanques de estabilización y de oxidación. Los lodos activos, son generalmente usados en proyectos nuevos.
- Tratamiento terciario (desinfección): Este tratamiento más avanzado es considerado al diseñar las plantas, pero muy pocas lo tienen en operación (Wirth, 2010).

Tabla N°4 Agua residual generada en Lima Metropolitana, según forma de tratamiento,  
2008-2017.

Agua residual	Unidad de medida	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Total de aguas servidas tratadas</b>											
Caudal	l/s	2 558	2 775	2 754	2 810	2 951	9 939	12 977	13 938	19 568 a/	19 741 a/
Caudal	Miles m <sup>3</sup> /día	217	237	238	242	256	566	1 023	1 189	1 387	1 655
Volumen generado	Miles m <sup>3</sup> /año	79	86	86	88	93	206	373	433	506	604
Número de plantas en actividad		135	681	823	478	349	645	228	965	152	093
		16	17	17	19	20	22	21	21	21	23
<b>Tratamiento avanzado) (Preliminar</b>											
Caudal	l/s	-	-	-	-	-	6 776	9 692	10 653	16 637 a/	16 825 a/
Número de plantas		-	-	-	-	-	1	1	1	2	2
<b>Tratamiento (Sistemas convencionales - Lagunas de oxidación)</b>											
Caudal	l/s	365	120	130	141	147	136	55	55	95	100
Número de plantas		6	5	4	4	4	4	3	3	3	3
<b>Tratamiento (Lagunas aireadas)</b>											
Caudal	l/s	1 277	1 635	1 272	1 237	1 350	1 357	1 472	1 472	1 286	1 341
Número de plantas		3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Tratamiento (Lagunas lodos activados)</b>											
Caudal	l/s	381	513	583	622	623	891	974	974	744	626
Número de plantas		3	4	4	6	7	8	8	8	7	9
<b>Tratamiento (Sistemas anaerobios aerobios)</b>											
Caudal	l/s	525	498	764	802	826	775	780	780	801	843
Número de plantas		3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>Tratamiento (Filtro percolador)</b>											
Caudal	l/s	10	9	5	8	5	4	4	4	5	6
Número de plantas		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: INEI,2018

Hoy en día, existen aproximadamente 253 localidades dentro del ámbito de las EPS en el Perú. En 164 localidades, la totalidad o una porción del vertimiento al alcantarillado

de las aguas residuales es llevado hacia una PTAR. En las 89 localidades restantes, las aguas residuales no reciben tratamiento, lo cual genera en consecuencia que estas sean vertidas directamente a las pampas, drenes, ríos o mares.

Tabla N° 5: Principales localidades que carecen de tratamiento de aguas residuales

N°	Localidad, EPS	Caudal vertido al alcantarillado en L/s
1	Huancayo, SEDAM Huancayo S.A.C	384
2	Huánuco, SEDA Huánuco S.A *	251
3	Sullana, EPS Grau S.A.	200
4	Cajamarca, SEDACAJ S.A.	192

- Huánuco es considerado como una ciudad sin PTAR ya que SEDA Huánuco dirige en un distrito 3 PTAR que poseen una capacidad de tratamiento menor a 1 l/s.

Fuente: (Sunass, 2015)

Un análisis realizado a las PTAR operadas por las de las EPS de saneamiento, mostró que la capacidad de tratamiento en relación a la carga hidráulica es levemente menor en comparación al caudal vertido al alcantarillado por las EPS que cuentan al menos con una PTAR. Asimismo, el análisis precisó lo siguiente:

- ✓ Existe una gran brecha en la cobertura del servicio de saneamiento en Lima y los demás departamentos. La diferencia radica en la capacidad de tratamiento de la PTAR de Taboada en Lima ya que fue diseñada para atender una demanda futura. Posee además un tratamiento preliminar avanzado y un emisor submarino.
- ✓ Lima, a pesar de contar con más PTAR operando en el Perú, posee una demanda no atendida de aproximadamente 4.0 – 5.0 m<sup>3</sup>/s.
- ✓ El resto de departamentos, no tienen la capacidad de tratar de la carga orgánica existente en un 50%, siendo este déficit mayor para la carga hidráulica (Sunass, 2015).

La calidad de agua superficial es crítica en ciertas regiones del país a pesar de la abundancia de este recurso en el Perú. Así mismo, las aguas residuales domésticas son tratadas de forma deficiente, debido a la falta de sistemas de tratamiento y a carencias en los tratamientos ya existentes. Esto provoca que al ser dispuestas generen contaminación en el cuerpo receptor, incrementando la concentración de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno al añadir materia orgánica y microorganismos que terminan por limitar el aprovechamiento del agua. La degradación de la calidad del agua es un obstáculo para utilizar este recurso de forma eficiente, comprometiendo su abastecimiento, la agricultura, la conservación del medio ambiente y la salud de las personas y animales. La corrección de esta situación es una necesidad actual (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

La eutrofización es un proceso de contaminación del medio acuático causado por la concentración de nutrientes que favorece el crecimiento de algas. Consecuentemente, se produce un incremento del oxígeno consumido en los cuerpos de agua, reduciendo la eficiencia de cloración y generando un ambiente tóxico para los organismos superiores acuáticos. Resulta necesario disminuir la concentración de nutrientes presentes en el agua residual para proteger los cuerpos de agua en los que se dispone (Noyola et al., 2013).

### **Metodología utilizada en el control de la proliferación de microalgas al tratar aguas residuales**

Los cultivos de microalgas ofrecen una solución llamativa en el tratamiento de aguas residuales debido a la capacidad de las mismas para utilizar nitrógeno y fósforo inorgánico en su desarrollo. Así mismo, estos organismos son capaces de eliminar algunos compuestos orgánicos tóxicos y metales pesados. (Abdel-Raouf et al., 2012). Sin embargo, la existencia de nutrientes en un medio acuático también puede estimular el crecimiento de plantas acuáticas o floraciones de algas, generando la eutrofización (Dhote et al., 2012).

Los géneros *Ankistrodesmus*, *Chlorella*, *Spirulina*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria*, *Euglena*, *Micractinium*, *Phormidium*, *Botryococcus*, *Golenkinia*, y *Stigeoclonium* se han registrado en aguas residuales de diversa



procedencia ya que presentan una alta tolerancia en aguas contaminadas. (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Entre las diversas causas que pueden influenciar en el crecimiento de las algas tenemos:

- Tamaño y profundidad de la laguna: Las lagunas pequeñas y poco profundas están más expuestas a la luz solar y a que las temperaturas en el agua se eleven fácilmente, por lo tanto, facilitan el crecimiento de algas.
- Agua estancada: El agua en movimiento genera estrés hidrodinámico, teniendo una gran influencia en la tasa de crecimiento de las algas. Limitado movimiento del agua, las algas pueden reproducirse libremente.
- Altos niveles de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno: Estos nutrientes son una fuente nutricional para las algas. (Torres et al., 2016)

Entre los problemas principales que se pueden generar por la presencia de estos organismos en las PTAR cabe destacar: taponamiento de filtros, incremento de la cantidad de coagulante necesario, aumento de la demanda de cloro, producción de olores y sabores desagradables, producción de toxinas e incremento del riesgo de crecimiento microbiano en los sistemas de distribución. (Barrado, 2016)

Ante esta problemática, muchas investigaciones han sido ejecutadas para lograr controlar la proliferación de algas, desde medidas encaminadas a la eliminación de las algas ya presentes como son la utilización de sulfato de cobre a manera de alguicida, peces para el control de algas o la utilización de equipos de ultrasonido, hasta acciones previas al ingreso del agua al sistema de tratamiento que persiguen conseguir la disminución de ingreso de nutrientes como fósforo y nitrógeno (Barrado, 2016).

Un tratamiento que se puede aplicar una vez que las algas están presentes en el medio acuático, es la paja de cebada. Se ha evaluado el efecto que tiene el extracto de la paja de cebada descompuesta en el desarrollo de siete algas que suelen impactar de forma negativa a los cuerpos de agua dulce. Los bioensayos aplicados de dicha investigación, comprobaron que se inhibió entre 400 y 800 kg / ha, en comparación a los controles, el crecimiento de algas como *Scenedesmus subspicatus*, *Microcystis aeruginosa*, *Spirogyra sp.*, *Anabaena flos-aquae*, y *Cladophora glomerata*. A partir de estos resultados, el uso de la paja de cebada se puede tomar como opción para controlar las algas filamentosas en los sistemas de agua dulce (Islami & Filizadeh, 2011).

Otro estudio enfocado en el uso de las aguas residuales para cultivo de microalgas y el aprovechamiento de su biomasa, detalla las ventajas y desventajas de distintos métodos para la separación de las mismas de las aguas residuales, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 6: Ventajas y desventajas de los principales métodos de separación

MÉTODOS DE SEPARACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Centrifugación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método rápido</li> <li>- Altos porcentajes de recuperación</li> <li>- Valido para la gran mayoría de especies de microalgas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos consumos energéticos</li> <li>- Posibilidad de producir daño celular</li> <li>- Rentable solo para productos de alto valor añadido</li> </ul>
Filtración	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas eficiencias de recuperación</li> <li>- Válido para la gran mayoría de especies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costes operativos procedentes de la obstrucción de la membrana</li> <li>- Mantenimiento de la membrana regular</li> <li>- Costes regulares derivados del reemplazo de membranas y bombeo</li> </ul>
Sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método simple y de bajo coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posibilidad de la descomposición de la biomasa</li> <li>- Baja concentración de microalgas</li> <li>- Requerimiento de altos tiempos de operación</li> </ul>
Flotación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método de bajo coste</li> <li>- Bajos tiempos de operación</li> <li>- Poco espacio requerido</li> <li>- Posibilidad de realizar a gran escala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No factible con microalgas marinas</li> <li>- Generalmente se requiere el uso de floculantes químicos</li> </ul>
Electrofloculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No requiere la adición de floculantes químicos</li> <li>- Sistema compacto</li> <li>- Fácil de automatizar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de altos consumos energéticos para conseguir buenas eficiencias</li> <li>- Método con poca difusión</li> <li>- Altos costes de equipamiento</li> </ul>
Floculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja aportación de energía</li> <li>- Método simple y rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los floculantes pueden ser tóxicos y costosos</li> <li>- Limitación en la reutilización del medio de cultivo</li> </ul>

Fuente: (Salgueiro, 2018)

Por otro lado, otras investigaciones se ven enfocadas en la recuperación de los nutrientes a nivel del efluente de manera que se evita que estos sean fuente de potenciales eutrofizaciones. Una investigación de la Universidad de Cataluña, España,

propone la recuperación del nitrógeno y del fósforo de los efluentes a partir del uso de sorbentes como zeolitas sintéticas activadas por sales monovalentes y divalentes, así como promover la economía circular a través de la valorización del nitrógeno y el fósforo recuperados de la PTAR al ser empleados como fertilizante. (Chen & Valderrama, 2018)

### **Proliferación de microalgas en la PTAR del Lima Golf Club**

La presente investigación se realizó en el Lima Golf Club, un club de esparcimiento exclusivo ubicado en el distrito de San Isidro. Sus actividades se encuentran principalmente orientadas a la práctica del golf, siendo uno de los clubes más tradicionales del Perú en la práctica de este deporte. Al ser el golf su actividad principal, consta de amplios campos verdes de pasto que abarcan una extensión aproximada de 450, 320 m<sup>2</sup> que requieren de un constante riego y mantenimiento para su cuidado.

La gran área de expansión de los campos demanda a diario un volumen de agua para riego de 1100 m<sup>3</sup> aproximadamente, muy superior al que se encuentra disponible por la red pública. Ante este panorama el Club se vio en la necesidad de buscar alternativas de solución para evitar el cierre de sus instalaciones, para lo cual llegaron a la solución de construir dentro de sus instalaciones una PTAR para así poder cumplir con la demanda de agua que requerían sus áreas verdes.

La PTAR viene funcionando desde el año 1993, tratando a diario un promedio de 1300 – 1400 m<sup>3</sup> en volumen de agua proveniente en un 80% de la red de desagüe y en 20% de una acequia. Actualmente la PTAR cuenta con una proliferación controlada de microalgas que crecen en sus lagunas y que en épocas de verano se ve exacerbada debido a que las condiciones atmosféricas se tornan favorables para acelerar su metabolismo. Ante esta situación se genera un desbalance químico en el tratamiento de las aguas residuales debido a que las algas producen una caída en la demanda bioquímica de oxígeno, así como también producen malos olores y obstruyen los filtros y aspersores de riego de los campos. Ante esta situación, surge la necesidad de emplear un método efectivo para mitigar el crecimiento desmesurado de estas microalgas que le permita al Lima Golf Club mejorar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. El Anexo 1, incluye un inventario de las algas encontradas en una muestra tomada de una de las lagunas de la PTAR del Lima Golf Club. Tras este análisis se pudo determinar

que la mayor cantidad de algas presentes en la laguna son algas de tipo filamentosas, las cuales, según las fuentes revisadas, forman floraciones y se aglomeran en las superficies de los cuerpos de agua.

Tras este análisis el método a aplicar para combatir la proliferación de microalgas sería el extracto de paja de cebada descompuesta ya es que es un método económicamente viable de aplicar y que utiliza un insumo orgánico no contaminante que ayudaría a inhibir el crecimiento de las algas filamentosas que actualmente se aglomeran y causan complicaciones en el sistema de tratamiento y riego de áreas verdes en el club.

### CONCLUSIONES

En el reúso de aguas residuales es vital tomar en cuenta los parámetros necesarios para obtener la calidad de agua requerida para el fin que se emplee. Así mismo es necesario evaluar la aplicabilidad del método a emplearse para mitigar la proliferación de microalgas según el tipo de algas presentes y el problema que generan al reproducirse tomando en cuenta todos los factores que facilitan su proliferación para así lograr una óptima mitigación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257–275. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>
- Barrado, M. (2016). *Eliminación de microalgas de las aguas mediante métodos físicos y químicos*.
- Chen, X. Y., & Valderrama, C. A. (2018). Nutrient Recovery From Waste Water Treatment Plant By Sorption Processes : Technical and. In *Universidad Politécnica de Cataluña* (Issue September).
- Del Castillo Gutiérrez, M., & Meseth Macchiavello, E. (2015). El Reuso De Aguas Residuales Tratadas En El Perú. *ResearchGate*, December, 5.
- Dhote, J., Ingole, S., & Chavhan, A. (2012). Review on Waste Water Treatment Technologies. *International Journal of Engineering Research & Technology*, May 2014.
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49, 157–173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- INEI. (2018). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. sv, 69. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_y\\_saneamiento.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf)
- Islami, H. R., & Filizadeh, Y. (2011). Use of barley straw to control nuisance freshwater algae. *American Water Works Association*, 103(5), 111–118. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2011.tb11458.x>
- Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater Management through the Ages : A History of mankind. *Science of the Total Environment*, 5254–5264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.062>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). *Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú: Memoria 2013*.

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2014). *Plan Nacional de Inversiones del sector saneamiento para el periodo 2014- 2021*. [http://www.gestoresdeaguasegura.org/wp-content/uploads/2015/04/plan\\_nacional\\_inversiones\\_saneamiento.pdf](http://www.gestoresdeaguasegura.org/wp-content/uploads/2015/04/plan_nacional_inversiones_saneamiento.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Plan Nacional De Acción Ambiental - Planaa Perú: 2011 – 2021* (Vol. 2). [http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=822&Itemid=5317](http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=822&Itemid=5317)
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. <http://es.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Oputu, O., Akintayo, C., & Gbenga, O. E. (2015). *Water Treatment Technologies : Principles , Applications , Successes and Limitations of Bioremediation , Membrane Bioreactor and the Advanced Oxidation Processes*.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 - Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Salgueiro, J. L. (2018). *Cultivo de microalgas en aguas residuales y aprovechamiento energético de la biomasa algal*. Universidad de Vigo.
- Sunass. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. In *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento: Vol. I*. <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- The International Water association. (2018). *The Wastewater Report 2018 Reuse*

*Opportunity*. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-176>

Torres, A. P., Camberato, D. M., & López, R. G. (2016). El control de Algas en las Lagunas de Riego. *Perdue University*.

UNESCO. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No Dejar a Nadie Atrás*.

Van Vuuren, S. J., Taylor, J., Van Ginkel, C., & Gerber, A. (2006). Easy identification of the most common Freshwater Algae: A guide for the identification of microscopic algae in South African freshwaters. In *School of Environmental Sciences and Development, Botany: North-West University (Potchefstroom Campus (Issue May)*. [http://www.dwa.gov.za/iwqs/eutrophication/NEMP/Janse\\_van\\_Vuuren\\_2006\\_Easy\\_identification\\_of\\_the\\_most\\_common\\_freshwater\\_algae.pdf](http://www.dwa.gov.za/iwqs/eutrophication/NEMP/Janse_van_Vuuren_2006_Easy_identification_of_the_most_common_freshwater_algae.pdf)

Wirth, N. (2010). *Wastewater Re-use in Lima Metropolitana : A Concept for an Integrated and Sustainable Water and Wastewater Management*.

WHO Scientific Group on Health Aspects of Use of Treated Wastewater for Agriculture and Aquaculture & World Health Organization. (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura: informe de un Grupo Científico de la OMS [se reunió en Ginebra del 18 al 23 de noviembre de 1987]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39333>

# ANEXO I

Relación de Algas Identificadas en la  
PTAR del Lima Golf Club



División Chlorophyceae - Orden Chlorococcales - Familia Scenedesmaceae - Género **Scenedesmus**

**Características:** Las células son de forma cilíndrica alargada. Están unidas formando colonias planas, rectangulares, en forma de placa, conformadas por grupos de 2, 4, 8, 16 o incluso 32 células. Dichas células, se pueden encontrar dispuestas en forma lineal o en zigzag, en una fila doble o simple. En cuanto a su forma son también fusiformes, ovaladas, asemejándose a una media luna con los extremos puntiagudos o redondeados. Cada célula posee solo un núcleo y cloroplasto con un único pirenoide. Asimismo, las paredes de las células son resistentes a la descomposición, lo cual influencia en la formación de depósitos de combustibles fósiles. Se reproducen habitualmente de manera asexual por autosporas. El tamaño y número de las células, la forma en la que se encuentran dispuestas y el patrón de ornamentación en la pared celular (nervaduras, espinas, etc.), son características distintivas de las especies en este género (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células poseen entre 5 a 30  $\mu\text{m}$  de largo y entre 2 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho. En caso presenten espinas, pueden alcanzar una longitud de hasta 200  $\mu\text{m}$ .

**Ecología:** El género Scenedesmus es común y abundante en el plancton de estanques de agua dulce, ríos y lagos, siendo un productor primario importante y fuente de alimento para niveles tróficos mayores. Existen reportes de este género en todo el mundo y en diversidad de climas. Se pueden encontrar con mayor incidencia en aguas eutróficas a hipertróficas, con cierta acidez y poca salinidad. También puede encontrarse en suelos húmedos. Este género sirve como bioindicador de las condiciones ambientales al detectar cambios físicos y químicos en el medio, empleándose comúnmente en la detección de nutrientes o toxinas por contaminación antropogénica en el medio acuático (Van Vuuren et al., 2006).

Ejemplares encontrados



División Cyanobacteria - Orden Chroococcales - Familia Merismopediaceae – Género **Merismopedia**

**Características:** Formado por colonias microscópicas rectangulares en forma de placa que consisten en pequeñas células redondeadas u ovaladas, cuya reproducción es por fisión donde la colonia madre se fragmentará en colonias hijas más pequeñas. Las células de este género se encuentran dispuestas en filas perpendiculares dentro de un mucílago sin estructura e incoloro. El color de las células suele ser azul verdoso y ocasionalmente de rojizo. Las especies se diferencian por el tamaño de las células, la formación de colonias y por la presencia de vacuolas. Las colonias suelen tener un movimiento lento (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** El diámetro de las células varía de 1 a 10  $\mu\text{m}$ .

**Ecología:** Se encuentran en regiones templadas, en hábitats marinos y de agua dulce, incluidos cuerpos de agua lénticos, donde se les encuentra flotando libremente o en los sedimentos del fondo donde forman películas delgadas en aguas eutróficas y mesotróficas (Van Vuuren et al., 2006).



## División Cyanobacteria - Orden Oscillatoriales - Familia Phormidiaceae/ Familia Pseudanabenaceae – Género Oscillatoria

**Características:** Las especies de este género se caracterizan por el movimiento oscilante producido por el contacto de los tricomas con un sustrato sólido, siendo el movimiento de deslizamiento y oscilación lo que inspira el nombre del género. Conforme se van deslizando, los tricomas dejan un ligero rastro mucilaginoso cuya secreción proviene de los poros de las paredes celulares. Otras características son la falta de una vaina firme y definida, tricomas rectos o ligeramente ondulados, cilíndricos y usualmente muy largos, con células cortas y discoideas. Pueden formarse vainas de mucílago en condiciones estresantes como hipersalinidad. Las vacuolas de gas suelen ser comunes en formas planctónicas. Algunas características que permiten diferenciar a las especies son el tamaño, la morfología de la región apical y la proporción celular (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** El diámetro de los tricomas suele variar entre 8 y 30  $\mu\text{m}$  a más.

**Ecología:** Se encuentra en una variedad de hábitats como agua dulce, salada y aguas termales, incluso en sustratos sub-aéreos húmedos. Se presenta con mayor incidencia en lagunas usadas para el tratamiento aguas residuales y en estanques agrícolas. Cuando está en medio acuático, flota libremente o está entrelazado con algas filamentosas adheridas. Cuando pertenecen al bentos, los filamentos son viscosos y densos, encontrándose sobre sustratos como barro, plantas, piedras o arena. Algunas especies de Oscillatoria son tolerantes a altos niveles de contaminación orgánica y en aguas con altos niveles de nitrógeno. Algunas especies son capaces de ajustar sus niveles de clorofila compensando los bajos niveles de luz, permitiendo que vivan debajo de las floraciones de algas verdes (Van Vuuren et al., 2006).

Notas: Oscillatoria, Lyngbya y Phormidium son géneros similares y difíciles de distinguir, incluso para especialistas.

Ejemplares encontrados



División Cyanobacteria - Orden Oscillatoriales - Familia Phormidiaceae - Género Phormidium

Phormidium es muy común en suelos húmedos y rocosos. Los tricomas en este género son cilíndricos y pueden estrecharse levemente hacia los extremos. Las células son más cortas que anchas. Los tricomas pueden estar presentes dentro de la masa gelatinosa y son capaces de moverse. Las células tienen entre 0,6 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho y entre 1,0 a 10  $\mu\text{m}$  de largo. La célula terminal del filamento es una característica que permite diferenciar las especies. Debido a la dificultad para ver la vaina cuando se conserva, a menudo se puede confundir con Oscillatoria (Van Vuuren et al., 2006).



## Orden Naviculales– Género Amphipleura

**Características:** Las células de este género se pueden encontrar individualmente o pueden estar dentro de tubos gelatinosos difusos. El contorno de la válvula puede ser lineal o lineal-lanceolado. Por su parte, las estrías se componen de puntos extremadamente finos, difíciles de visualizar a nivel de microscopio. En la cara interna de la válvula se puede visualizar una costilla mediana, estrecha y simple, con excepción de los polos donde la costilla mediana se divide en dos, formando aparentes "ojos de aguja". Las células vivas contienen un cloroplasto central en forma de H (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células miden entre 80-140  $\mu\text{m}$  de largo y entre 7-10  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** El género Amphipleura está distribuido en sedimentos de aguas estancadas y rara vez en ríos. Las células se encuentran de manera predominante en aguas alcalinas, aunque también pueden encontrarse en un espectro de pH más amplio (Van Vuuren et al., 2006).

**Notas:** La única especie usualmente registrada es *A. pellucida* Kützing.

Ejemplar Encontrado





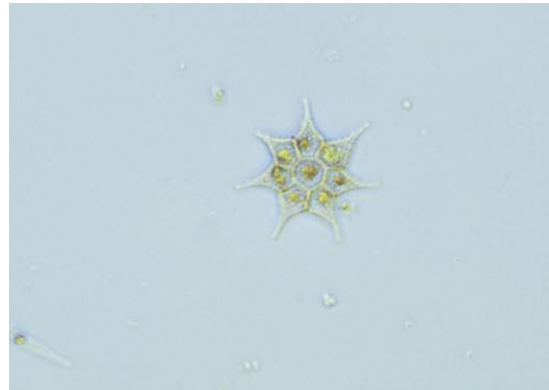
### Order Chlamydomonadales - Family Hydrodictyaceae - Genero Pediastrum

**Características:** El género se caracteriza por formar colonias planas de forma discoide, ovaladas a circulares, que consta de 4-64 células. La disposición suele ser en anillos concéntricos, siguiendo un patrón en forma de estrella cuando existen más de 16 células agrupadas. Las células de en este género tienen una forma muy variable ya que las células del margen presentan una forma distinta a la de la colonia. Las interiores son usualmente poliédricas, mientras que las células periféricas son similares y con proyecciones en forma de cuerno que mejoran la flotabilidad en el agua y previenen que sean depredadas. Las células son inmóviles, multinucleadas y presentan un cloroplasto parietal con un solo pirenoide. Las paredes celulares pueden ser lisas, muy granuladas, arrugadas o con muescas, además son muy resistentes a la descomposición. Se presenta reproducción asexual por zoosporas y autocolonias, la sexual es poco común. Las características empleadas para la identificación de especies son el tamaño, la forma de las células y la morfología de las colonias (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células presentan un diámetro entre 8 a 32  $\mu\text{m}$ , mientras que las colonias pueden tener hasta 200  $\mu\text{m}$  de diámetro.

**Ecología:** El género está muy extendido y es común en la mayoría de cuerpos de agua dulce de flujo lento y de vez en cuando tiene a formar floraciones especialmente en ambientes ricos en nutrientes (Van Vuuren et al., 2006).

Ejemplar Encontrado



## Orden Chlorococcales - Familia Oocystaceae - Género Oocystis

**Características:** Las células pueden encontrarse solitarias o en colonias de 2-16 (a veces 32 o 64) y poseen forma ovalada o elipsoidal. Ambos extremos de la célula son levemente puntiagudos. Asimismo, las células presentan entre uno a más cloroplastos que pueden contener pirenoides. La pared celular se caracteriza por ser lisa y gruesa. Este género posee reproducción asexual a través de autoesporas que son liberadas por la ruptura de la pared celular madre. Las características que permiten diferenciar a las especies son la forma y el tamaño de las células, así como también el número de cloroplastos y la presencia de pirenoides (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células miden entre 12 y 50  $\mu\text{m}$  de largo y entre 7 y 46  $\mu\text{m}$  de ancho. Las colonias pueden presentar hasta 77  $\mu\text{m}$  de diámetro.

**Ecología:** Es un género común y de gran extensión, encontrándose predominantemente en agua dulce como en estanques, zanjas, lagos y ríos lentos, pudiendo aparecer también en el suelo (Van Vuuren et al., 2006).



### Ordem Desmidiáles - Família Closteriaceae- Género Closterium

**Características:** Este género unicelular suele ser alargado y con forma de media luna. En la sección transversal, las células parecen circulares y a veces están infladas en la región media, siendo siempre más largas que anchas y dividiéndose en dos semiceldas iguales que contienen un solo cloroplasto. Los ápices suelen ser puntiagudos, redondeados o truncados. Las especies estrechas presentan cloroplastos simples que tienen usualmente forma de cinta, mientras que las especies más grandes, presentan cloroplastos como un núcleo axial central, con crestas longitudinales y pueden contener entre uno a varios pirenoides. La pared celular de Closterium es incolora pero debido a la tinción con hierro puede tornarse amarillenta. Esta pared puede ser lisa o estriada y presenta poros a través de los cuales se secreta mucílago. La reproducción en este género es asexual por división celular o también sexual por conjugación (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células tienen entre 70 y 1200  $\mu\text{m}$  de largo y entre 4 y 50  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** El Closterium es a menudo abundante. Pueden fijarse de manera firme por un extremo, lo que su presencia es usual en los ríos sobre macrófitos u otras superficies. El género comúnmente se presenta en lagos y estanques ácidos, oligotróficos, aunque en menor grado en ambientes alcalinos y eutróficos. La pared celular presenta polímeros que evitan que la célula se seque, esto permite que sobrevivan durante meses en el lodo de los bordes de los lagos (Van Vuuren et al., 2006).

Ejemplar encontrado



## Orden Euglenida – Familia Euglenidae – Género Euglena

**Características:** Es un género unicelular de cuerpo fusiforme u ovalado, el extremo posterior es ligeramente puntiagudo y el anterior redondeado. Las células poseen un color verde brillante a causa de cloroplastos, con forma discoidal. La presencia de un pigmento carotenoide puede generar que algunas especies presenten un color rojizo. Además de realizar fotosíntesis, las células de Euglena poseen también un aparato de ingestión fagotrófico. Para detectar la luz, ciertas especies suelen tener una mancha ocular en el extremo anterior de la célula. Las especies de agua dulce pueden tener vacuolas contráctiles cercanas a la base de los flagelos. Las células suelen tener dos flagelos, el primero implantado en el esófago apical que le sirve para nadar y el segundo que es corto y no emerge de la célula debido a que se encuentra dentro del esófago. Algunas especies pueden contraerse, cambiando su forma y arrastrándose por el agua, mientras otras son rígidas, manteniendo una forma constante. La reproducción en este género es de manera asexual. La identificación de especies es compleja y se basa en la forma celular, la forma y el número de cloroplastos y la presencia de paramilo y pirenoides (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células poseen entre 20-540  $\mu\text{m}$  de largo y entre 5-50  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** El género Euglena es abundante, produce una coloración verde oscuro en los estanques y puede formar películas verdes en la superficie o estar en los sedimentos. Se presenta con mayor incidencia en agua dulce sobre todo en ambientes contaminados o enriquecidos por desechos orgánicos y prefiere aguas con altas temperaturas. Suele encontrarse en floraciones algales (Van Vuuren et al., 2006).

Ejemplares encontrados

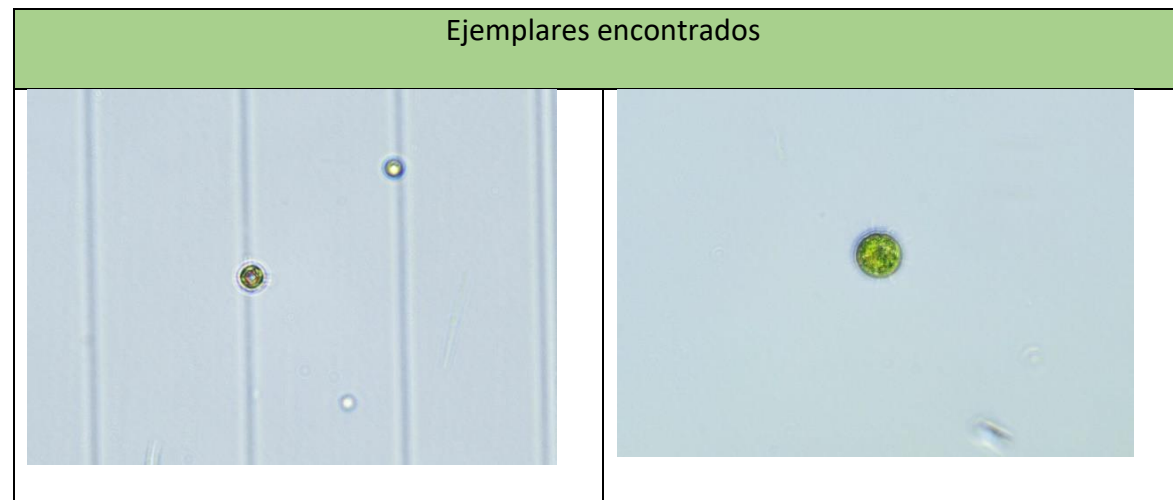


Orden Chlamydomonadales - Familia Micractiniaceae – Género Golenkinia

**Características:** Las células de este género son solitarias, esféricas y se encuentran cubiertas por numerosas espinas largas. Poseen paredes celulares lisas y en ciertos casos con una envoltura mucilaginosa rodea la célula y la base de las espinas. Asimismo, las células poseen un cloroplasto en forma de copa que contiene un pirenoide con una vaina de almidón que lo rodea. Poseen reproducción asexual donde se forman autosporas inmóviles o zoosporas móviles flageladas. Ocasionalmente pueden formar falsas colonias al entrelazar espinas o al no separarse después de la división celular. La reproducción sexual es también posible (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células poseen un diámetro de 7-20  $\mu\text{m}$  y las espinas miden entre 6 y 65  $\mu\text{m}$  de largo (Van Vuuren et al., 2006).

**Ecología:** Este es un género planctónico encontrado en hábitats de agua dulce como secciones de ríos de flujo lento, estanques y lagos.



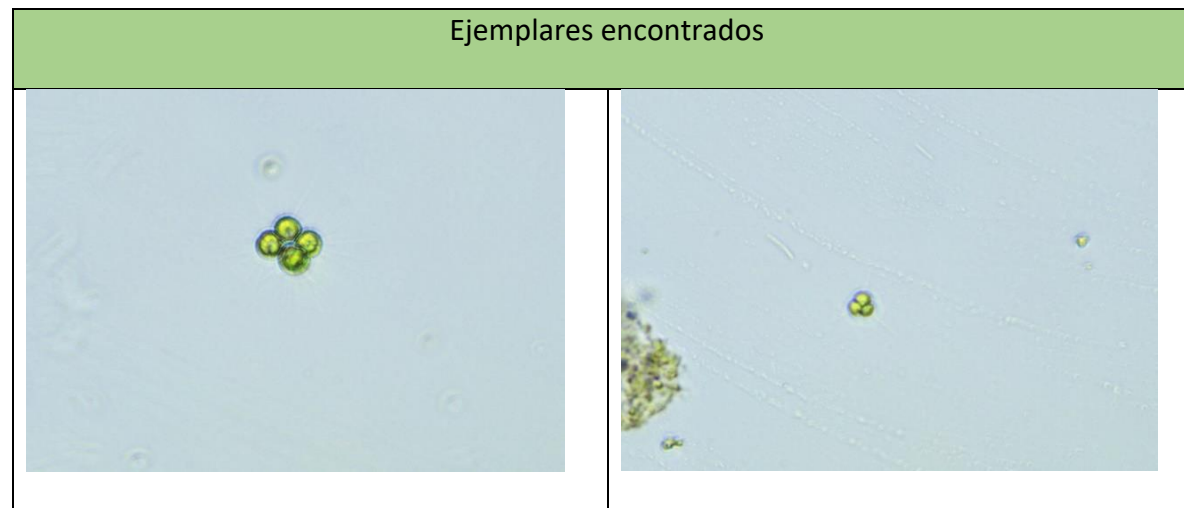


Orden Chlamydomonadales - Familia Micractiniaceae – Género Micractinium

**Características:** Este género se caracteriza por la formación de colonias triangulares y piramidales, de grupos de 4 a 64 células elipsoidales entrelazadas por espinas. Cada célula tiene entre 1 a 18 espinas largas y afiladas, que pueden alcanzar hasta 10 veces la longitud de la célula. Cada célula posee un único cloroplasto en forma de copa que contiene un pirenóide. Por su parte, las paredes celulares son delgadas y lisas. La reproducción asexual por autoesporas es común en las especies, mientras que la reproducción sexual es poco usual (Van Vuuren et al., 2006).

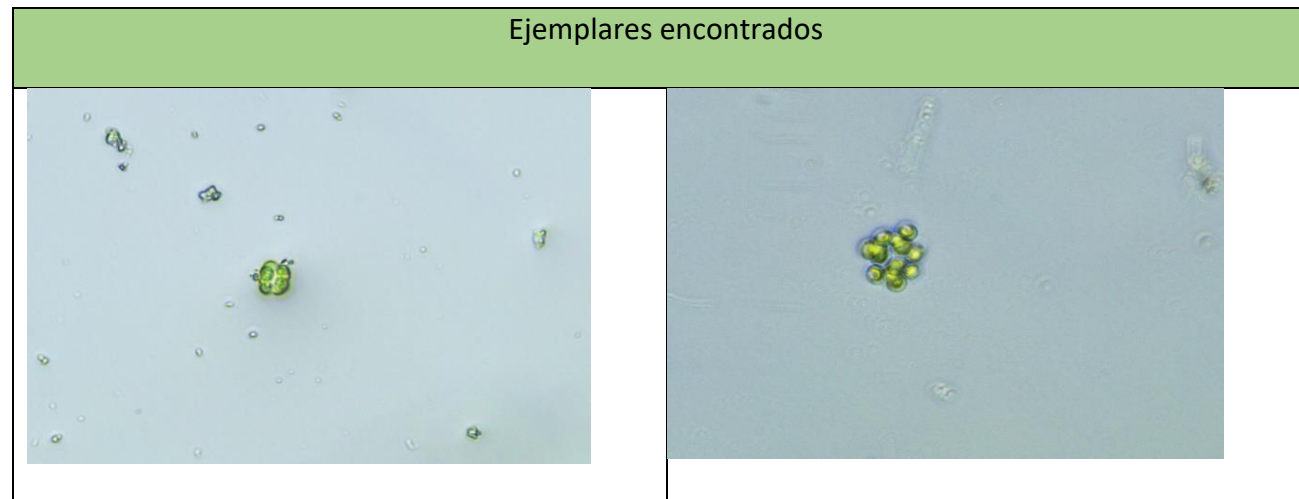
**Dimensiones:** Las células poseen un diámetro de 3-10  $\mu\text{m}$ . Mientras que las espinas presentan una longitud entre 10 a 35  $\mu\text{m}$ .

**Ecología:** Las colonias de Micractinium ocurren con frecuencia en aguas estancadas dulces, aunque también se pueden observar en ríos, siendo particularmente comunes en aguas eutróficas (Van Vuuren et al., 2006).



Orden Sphaeropleales - Familia Scenedesmaceae - Género *Westella* ó *Dictyosphaerium*

Género que forma colonias, con células esféricas agrupadas de a 4 u 8, usualmente conectados a otros grupos a través de los restos de las paredes celulares de las células madres. Los cloroplastos que poseen tienen forma de copa. Los individuos de este género se encuentran usualmente en el plancton de estanques ricos en nutrientes, incluyendo estanques de aguas residuales (Van Vuuren et al., 2006).



## Order Surirellales - Family Surirellaceae - Género Surirella

**Características:** Las células de este género son solitarias y en forma de cuña. Visto desde otra orientación, son de forma válvula, con el extremo superior ampliamente redondeado y el extremo inferior más puntiagudo. Posee nervaduras elevadas que dan lugar a marcas alrededor del margen de la válvula. Generalmente hay un área vacía a lo largo del eje apical hacia abajo del centro de la válvula (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células miden entre 16 y 120  $\mu\text{m}$  de largo y entre 12 y 45  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** Es un género de agua dulce, pero también es común en los hábitats marinos. Algunas especies pueden tolerar condiciones muy ricas en nutrientes y también pueden encontrarse en aguas duras (Van Vuuren et al., 2006).



## Order Desmidiales - Family Desmidiaceae - Género Cosmarium

**Características:** aunque las células de este género son solitarias, pueden crecer en forma de colonias gelatinosas macroscópicas. Resulta complejo realizar generalizaciones sobre su morfología ya que varían en la forma y el tamaño de las células y la ornamentación de la pared celular. A través de una hendidura, cada célula se divide en dos semicélulas iguales. La semicélula vista frontalmente es comprimida y vista verticalmente es ovalada o elíptica. Cada una posee al menos un cloroplasto central que contiene de uno a varios pirenoides. Posee un núcleo prominente y la superficie de las paredes celulares es lisa o presenta gránulos finos, pero no presenta espinas ni hendiduras apicales. Asimismo, la pared celular contiene poros que secretan mucílago, el cual se hincha a medida que absorbe agua generando una propulsión hacia adelante de las células. La reproducción asexual se da a través de división celular, mientras que la sexual, por conjugación (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células tienen entre 10 y 200  $\mu\text{m}$  de largo y entre 6 y 140  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** Cosmarium es un género comúnmente encontrado en hábitats acuáticos oligotróficos y/o ácidos. De la misma forma, pueden encontrarse en estanques y lagos alcalinos, eutróficos o inclusive en ambientes subaéreos (Van Vuuren et al., 2006).

Ejemplares encontrados



## Order Chlamydomonadales - Family Chlamydomonadaceae - Género Chlorogonium

**Características:** Las células en este género son unicelulares y alargadas, fusiformes y puntiagudas. Poseen dos flagelos iguales insertados en el extremo anterior, una pared celular delicada, un cloroplasto grande y único que puede presentar pirenoides y una mancha ocular en la mayoría de las especies. Adicionalmente, tiene entre dos o más vacuolas contráctiles que suelen estar ubicadas en las mitades posterior y anterior de la célula. La reproducción es asexual por zoosporas, pero también pueden presentar reproducción sexual. Las especies se diferencian por la presencia o ausencia de pirenoides (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las células miden entre 14 y 170  $\mu\text{m}$  de largo y entre 1,5 y 17  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** El género se encuentra muy extendido en agua dulce, registrándose en lagos eutróficos y en suelos húmedos. Rara vez forma floraciones (Van Vuuren et al., 2006).

Ejemplares encontrados



Orden Chlamydomonadales - Familia Radiococcaceae - Género Ankistrodesmus

**Características:** Ankistrodesmus es un género amplio cuyas células presentan paredes delgadas. Dichas células pueden presentarse solas, agrupadas de forma libre o retorcidas. Las células individuales poseen forma de aguja, un único núcleo y un cloroplasto en forma de placa que puede contener un pirenoide. En cuanto a la reproducción, esta es asexual mediante la formación de autosporas. Las especies se pueden distinguir entre sí por el tamaño y la forma de las células (Van Vuuren et al., 2006).

**Dimensiones:** Las celdas miden entre 25 y 60  $\mu\text{m}$  de largo y entre 1 y 6  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Ecología:** El género Ankistrodesmus se presenta usualmente en todo tipo de masas de agua y con mayor incidencia en aguas eutróficas. Suele flotar libremente dentro del plancton en agua dulce, a veces formando floraciones. También pueden crecer en el suelo (Van Vuuren et al., 2006).

