



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE  
TRATAMIENTO CON *CHLORELLA VULGARIS* Y  
SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ICA DE  
ABRIL DEL 2016 A FEBRERO DEL 2018.**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER**

**JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERA AMBIENTAL**

**ICA -PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a todas las personas que formaron y siguen siendo parte de mi educación, a mi familia por su apoyo moral y económico y a los amigos que se vuelven hermanos.

## AGRADECIMIENTO

Mis congratulaciones a mi Alma Máter universidad **ALAS PERUANAS** por dedicarse a formar a sus estudiantes académicamente hasta abrazar la culminación de la carrera.

Mi gratitud a los docentes con grado de Doctor, Magíster y Licenciado; quienes me forjaron sigilosamente con sus sabias enseñanzas y con la asertividad rumbo al siglo XXI, en especial al Dr. Ing. **CARLOS BLANCO CONTRERAS** por compartir sus conocimientos aplicados a la ciencia.

También reconocer al Mg. José Aquije y al Ingeniero Marcial Condeña por la asesoría brindada en el desarrollo del trabajo de investigación.

A mis engreídos padres Jorge Luis Espinoza Tarque y Mayte Johana Pacheco Ormeño quienes a cada instante me supieron formar con su ejemplo y amor y hoy en día le doy infinitamente las gracias por ser una profesional a carta cabal.

A mis hermanos Jorge Luis Alexander y Sofía Angélica por acompañarme y transmitirme su amor de hermanos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1. Planteamiento del Problema	18
1.1 Descripción de la realidad problemática	19
1.1.1 Nivel Mundial	19
1.1.2 Nivel Latinoamericano	20
1.1.3 Nivel Nacional	21
1.1.4 Nivel Local	23
1.2 Delimitaciones y Definición de la Investigación	23
1.2.1 Delimitaciones	23
A. Delimitación Espacial	23
B. Delimitación Temporal	23
C. Delimitación Social	23
1.2.2 Definición del Problema	23
1.3 Formulación del Problema	24
1.3.1 Problema Principal	24
1.3.2 Problemas Específicos	25
A. Primer Problema Específico	25
B. Segundo Problema Específico	25

C. Tercer Problema Específico	25
1.4 Objetivos de la Investigación	25
1.4.1 Objetivo General	25
1.4.2 Objetivo Específico	25
A. Primer Objetivo Específico	25
B. Segundo Objetivo Específico	25
C. Tercer Objetivo Específico	25
1.5 Justificación de la Investigación	26
1.5.1 Justificación Teórica	26
1.5.2 Justificación Metodológica	26
1.5.3 Justificación Práctica	26
1.6 Importancia	26
1.7 Limitaciones	27
1.7.1 Limitación Económica	27
1.7.2 Limitación Temporal	27
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	28
2. Fundamentos de la Investigación	29
2.1 Antecedentes de la Investigación	29
2.2 Bases Teóricas	32
2.2.1 Aguas Residuales	32
2.2.2 Principales características de las Aguas Residuales	32
A. Características físicas	32
B. Características Químicas	34
C. Gases	37
D. Características Biológicas	37
2.2.3 Impactos negativos del Agua Residual	39
2.2.4 Tipos de Tratamiento existentes para Aguas Residuales	42
A. Pre Tratamiento	42

B. Tratamiento Primario	43
1. La separación de los sólidos por gravedad	43
2. Coagulación y floculación	44
3. Tanques Imhoff	44
4. Digestión Primaria de Lodos	44
C. Tratamiento Secundario	45
1. Lagunas aireadas	46
2. Proceso de lodos activados	46
3. Procesos Anaerobios	47
D. Tratamiento Terciario	47
2.2.5 Microalgas	48
2.2.6 Factores para el crecimiento de microalgas	49
2.2.7 Sistemas de cultivos de microalgas	54
A. Sistemas Abiertos	55
B. Sistemas Cerrados	58
C. Sistemas de cultivo híbrido	61
D. Sistemas de cultivo Heterotróficos	61
2.2.8 Chlorella Vulgaris	61
2.3 Marco Legal	71
2.4 Definición de Términos	78
CAPÍTULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES	81
3. Metodología de la Investigación	82
3.1 Hipótesis de la Investigación	82
3.1.1 Hipótesis General	82
3.1.2 Hipótesis Específicas	82
A. Primera Hipótesis Específica	82
B. Segunda Hipótesis Específica	82
C. Tercera Hipótesis Específica	82
3.2 Variables	83
3.2.1 Definición conceptual de la variable	83

3.2.2 Operacionalización de la variable	83
CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	85
4. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	86
4.1 Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación	86
4.1.1 Tipo de Investigación	86
4.1.2 Nivel de la Investigación	86
4.1.3 Diseño de la Investigación	86
4.2 Método de la Investigación	87
4.3 Cobertura del Estudio de la Investigación	87
4.3.1 Universo de la Investigación	87
4.3.2 Población de la Investigación	87
4.3.3 Muestra de la Investigación	87
4.4 Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos	88
4.4.1 Técnicas de la Investigación	88
4.4.2 Instrumentos de la Investigación	88
4.4.3 Fuentes de Recolección de Datos	88
CAPÍTULO V: ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	89
5. Organización, Presentación y Análisis de Resultados	90
5.1 Área de Trabajo	90
5.2 Sistema Propuesto	92
5.2.1 Diseño del Sistema	92
5.3 Contrastación de Hipótesis	97
5.3.1 Primera Hipótesis	97
A. Toma de muestra para la investigación	97
B. Tratamiento del Agua Residual con <i>Chlorella vulgaris</i>	99
C. Análisis de Laboratorio	102
D. Resultados de Laboratorio	102
5.3.2 Segunda Hipótesis	107
5.3.3 Tercera Hipótesis	108

A. Obtención de abono orgánico	108
B. Toma de Muestra	109
C. Procedimiento:	111
D. Análisis de Laboratorio	113
E. Resultados de Laboratorio	113
F. Procedimiento	114
5.4 Discusión de Resultados	116
5.5 Conclusiones	120
5.6 Recomendaciones	121
BIBLIOGRAFIA	122
ANEXOS	126
Matriz de consistencia	127
Recursos Usados en el cultivo de <i>Chlorella vulgaris</i>	129
Pruebas al 5%,10% y 20% de cultivo de microalgas	132
Tratamiento de lodos activados	136
Resultado de Laboratorio	138

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Clasificación de las partículas sólidas contenidas en un agua residual, según su diámetro .....	34
Ilustración 2: Piscinas Inclinadas.....	56
Ilustración 3: Tanque Circular .....	57
Ilustración 4: Cámara de Algas.....	58
Ilustración 5: Imagen microscópica de <i>Chlorella vulgaris</i> .....	62
Ilustración 6: Laguna de Oxidación de Cachiche y Área con el suelo a tratar.....	91
Ilustración 7: Toma de muestra de agua residual del distrito de Ica.....	91
Ilustración 8: Materiales usados para el trabajo de laboratorio .....	99
Ilustración 9: Tratamiento con <i>Chlorella</i> a los 3 días .....	99
Ilustración 10: 0.5 gr de Sulfato de Aluminio .....	101
Ilustración 11 Separación de la biomasa algal y el agua tratada .....	101
Ilustración 12: Toma de muestra de lodos activados .....	101
Ilustración 13: Toma de muestra de suelo de los alrededores de la laguna de oxidación de Cachiche .....	110
Ilustración 14: Suelo con Abono orgánico .....	110
Ilustración 15: Envases con semillas de marigold amarillo .....	113
Ilustración 16: Brote de Marigold amarillo en el suelo con abono luego de 6 días ....	115
Ilustración 17: Marigold amarillo sembrado en suelo sin abono luego de 6 días .....	115
Ilustración 18: Fertilizante foliar (Polvo).....	129
Ilustración 19: Bayfolan .....	129
Ilustración 20: Cultivo de <i>Chlorella vulgaris</i> con Aireador .....	130
Ilustración 21: 8L de <i>Chlorella vulgaris</i> .....	131
Ilustración 22: Botellas usadas para la prueba de concentración de <i>C. vulgaris</i> en Agua residual.....	132
Ilustración 23: Extracción de <i>C. vulgaris</i> para realizar las pruebas.....	133
Ilustración 24: Vaso medidor .....	134
Ilustración 25: Llenado de las botellas con 1L de Agua residual .....	134
Ilustración 26: Colocación de la manguera a las botellas .....	135
Ilustración 27: Lodos Activados en envase de aluminio.....	136
Ilustración 28: Lodos activados con 30% de Cal.....	136

Ilustración 29: Lodos Activados al 3er día.....	136
Ilustración 30: Lodos Activados al tercer día.....	136
Ilustración 31: Lodos Activados con <i>C. vulgaris</i> .....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.....	36
Tabla 2: Efectos de Impactos negativos de las aguas residuales no tratadas en la Salud humana, medio ambiente y actividades productivas .....	41
Tabla 3: Definición conceptual de las variables .....	83
Tabla 4: Operacionalización de variables .....	83
Tabla 5: Especificaciones del aireador.....	94
Tabla 6: Determinación de la concentración de <i>C.vulgaris</i> .....	997
Tabla 7: Datos de la toma de muestra .....	99
Tabla 8: Resultado de Análisis de Nitrato y pH .....	102
Tabla 9: Remoción de Metales pesados considerados en los ECA's .....	103
Tabla 10: Remoción de metales pesados no considerados en los ECA's.....	105
Tabla 11: Remoción de Coliformes termotolerantes .....	107
Tabla 12: Resultado de Materia Orgánica en suelos.....	113
Tabla 13: Matriz de Consistencia .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Proceso para el Cultivo de la Microalga.....	93
Figura 2: Diagrama de Proceso para la determinación del medio de cultivo .....	94
Figura 3: Diagrama de Proceso para Determinar la necesidad de contar con luz las Veinticuatro horas. ....	95
Figura 4: Diagrama de Proceso para determinar la adaptación al nuevo sustrato.....	96

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Remoción de Nitratos.....	103
Gráfico 2: Porcentaje de remoción de metales pesados considerados en los ECA's ...	105
Gráfico 3: Porcentaje de remoción de Metales Totales y Disueltos no considerados En los ECA's .....	106
Gráfico 4: Porcentaje de Remoción de Coliformes Termotolerantes .....	107
Gráfico 5: Aumento de Materia Orgánica en el Suelo.....	114

## RESUMEN

La generación de aguas residuales municipales ha aumentado conforme al crecimiento poblacional que ha tenido el distrito de Ica y no toda la población cuenta con el servicio de alcantarillado lo cual supone que estas aguas no reciben tratamiento alguno y se disponen en terrenos vacíos, fuentes de agua, uso para riego de plantas y/o áreas verdes, lo cual genera contaminación ambiental y un riesgo para la salud pública.

En el presente trabajo de investigación se propone una alternativa de solución amigable con el ambiente para el tratamiento de aguas residuales municipales con la microalga *Chlorella vulgaris* enfocándose en aquellas que llegan a la laguna de oxidación de Cachiche, El tratamiento de estas aguas y los residuos orgánicos que deja su tratamiento pueden ser usados en actividades agrícolas y forestales.

Luego de los análisis pertinentes al efluente del sistema de tratamiento con la microalga se obtuvo la remoción de metales pesados: As, Ba, B, Cd, Cu, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, Se, Zn en un 40%, 52.87%, 33,33%, 70%, 33,82%, 40%, 92.60%, 33,33%, 36.57%, 2.83%, 37.50%, 50%, 56.26%, 45.45%, 63.78%, respectivamente. Además, hubo una remoción de 89.65% en Nitratos y 99.9% en coliformes termotolerantes.

Asimismo, se logró aumentar el porcentaje de Materia Orgánica en una muestra de suelo por medio del abono obtenido a partir del tratamiento de los lodos activados.

**Palabras Clave:** Agua Residual, *Chlorella vulgaris*, Metales pesados

## ABSTRACT

The generation of municipal wastewater has increased according to the population growth that the district of Ica has had and not the entire population has sewerage service which means that these waters do not receive any treatment and they are disposed in empty land, water sources and they are used as irrigation water, which generates environmental contamination and a risk to the public health.

In this research an alternative friendly with the environment is proposed for the treatment of municipal wastewater with the microalgae *Chlorella vulgaris* focusing on those who come to the oxidation pond Cachiche, The treatment of these waters and the organic waste leaving after the treatment can be used in agriculture and forestry.

After the pertinent analyzes to the effluent of the treatment system with the microalgae, the removal of Heavy Metals: As, Ba, B, Cd, Cu, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, Se, Zn in 40%, 52.87%, 33.33%, 70%, 33.82%, 40%, 92.60%, 33.33%, 36.57%, 2.83%, 37.50%, 50%, 56.26%, 45.45%, 63.78 %, respectively. In addition, there was a removal of 89.65% in Nitrates and 99.9% in thermotolerant coliforms. Likewise, it was possible to increase the percentage of Organic Matter in a soil sample by using the fertilizer obtained from the treatment of the activated sludge.

**Key words:** Wastewater , *Chlorella vulgaris*, Heavy Metals

## INTRODUCCIÓN

La distribución de la población de zonas urbanas y rurales muestra una tendencia creciente hacia la concentración urbana en todo el mundo, por lo que América Latina no es la excepción. En tal sentido, un factor de supervivencia de las ciudades es el abastecimiento de agua potable, así como el adecuado nivel de saneamiento urbano, a fin de propender a un ciclo de agua saludable y sostenible.

Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios), estas aguas suelen estar compuestas por sustancias químicas, microorganismos, sólidos, etc.

Por razones de salud pública y por consideraciones ambientales, económicas y sociales, las aguas residuales provenientes de los usos poblacionales o procesos industriales, no pueden ser eliminadas evacuándolas directamente a las fuentes naturales o reusándolas de la misma forma para usos con fines agrícolas; sin embargo, la mayor proporción de las aguas residuales generadas en el país no son tratadas, vertiéndose directamente a los cauces naturales continentales, al mar o a falta de agua superficial se toman para usarlas con fines agrícolas. Sólo una pequeña fracción recibe algún tratamiento previo, antes de su evacuación.

En Perú, solamente se ha ejecutado el 30% de la inversión pública en tratamiento de agua, de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015. La contaminación del agua ocurre a niveles primario, secundario y terciario de las fuentes de agua. Las sustancias que contaminan el agua son orgánicas e inorgánicas. En todos los casos, la contaminación del agua pone a la Salud Pública en peligro, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En la actualidad la instalación de una planta de tratamiento para aguas residuales requiere de una gran inversión desde su construcción hasta su mantenimiento, factor que muchas veces es complicado de solventar. La importancia de implementar un tratamiento a las aguas residuales es que se evita la contaminación de ecosistemas, aparición de focos infecciosos que además de ocasionar problemas al medio ambiente, también los genera en la salud de las personas.

Con el avance de la ciencia y las múltiples formas de aprovechar los recursos se ponen en práctica diversos métodos para tratar las aguas residuales. En el presente proyecto se usa la microalga *Chlorella vulgaris* para descontaminar las aguas residuales que llegan a

la laguna de oxidación de Cachiche en la ciudad de Ica, la finalidad es que estas aguas sean tratadas de una manera fácil, económica y amigable con el ambiente, entre sus usos puede ser para el riego de las áreas verdes, pero además de esto se pueden obtener subproductos como abono orgánico y biocombustible.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

#### **1.1.1 Nivel Mundial**

En estados unidos hay diversas plantas de tratamiento entre ellas está la planta de tratamiento secundario de aguas residuales en Dillard, Georgia.

El diseño final comprendió una planta de tratamiento de aguas residuales compacta con aireación extendida de 200.000 GPD para tratar las aguas residuales domésticas de la ciudad de Dillard. Los requerimientos del líquido influente y efluente para DBO: SST fueron respectivamente de 250 mg/L:250 mg/L y 20 mg/L:20 mg/L. La planta fue diseñada como un sistema de tanque de “triple ancho” para que entre en el sitio existente. La planta compacta de aguas residuales existente fue convertida en una cámara de retención de lodos, y fue suministrado un nuevo equipamiento mecánico que fue armado dentro del tanque existente para completar la conversión.

En cuanto al rendimiento del sistema cuenta con un sistema de aireación extendida de 200.000 GPD fue puesto en operación en el mes de marzo de 2006. El sistema abarca un total de tres trenes en una configuración en paralelo; el volumen combinado está diseñado para tratar los 200.000

galones por día. La calidad del efluente producido por el sistema tiene un valor promedio de  $DBO_5 = 20$  y  $SST = 20$ .<sup>1</sup>

### 1.1.2 Nivel Latinoamericano

En Chile las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los así llamados pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

El tratamiento de las aguas servidas se ha incrementado en el país sustancialmente en los últimos años, alcanzando un nivel de cobertura cercano al 83% respecto a la población urbana nacional, lo cual ha posibilitado paulatinamente la descontaminación de los cursos de aguas superficiales y marítimos. De acuerdo a las atribuciones legales y fiscalizadoras, a la SISS le corresponde velar porque la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) se efectúe de acuerdo a la normativa vigente, a través de las acciones de fiscalización sobre el autocontrol, la realización de controles directos e inspecciones en terrenos (SISS, 2012).

En el país, existen más de 260 sistemas de tratamientos de aguas servidas operando y autorizados por la Superintendencia, los que atienden a más de once millones y medio de habitantes de todo el País (SISS, 2012).

Las plantas para el tratamiento de aguas pueden separarse en tres grandes grupos:

- Plantas para tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR)
- Plantas para el tratamiento de residuos líquidos industriales (PTRILes)
- Plantas para la potabilización del agua.

La diferencia básicamente entre las plantas de potabilización del agua con las otras, es que en la potabilización solo se utilizan procesos

---

<sup>1</sup> Tratamiento Secundario De Aguas Residuales de RWL WATER, Estados Unidos. 2016, Sitio web: <https://www.rwlwater.com/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales-estados-unidos/?lang=es>

fisicoquímicos y no la combinación completa de procesos físicos, biológicos y químicos.

En el tratamiento de lodos es necesario por la normativa vigente para este residuo y su disposición final sólida casi siempre es en rellenos sanitarios.

El clarificado o agua tratada puede disponerse en cursos superficiales, subterráneos o al alcantarillado siempre y cuando se cumplan los decretos supremos que rigen estos procesos.

El tratamiento biológico puede ser aeróbico (existencia de oxígeno disuelto) o anaeróbico (inexistencia de oxígeno disuelto) donde la tecnología de tratamiento predominante corresponde a Lodos Activados (aeróbico) con casi un 60% respecto al número de PTAS (SISS, 2012).

En la actualidad existen muchos tipos de procesos de tratamientos de aguas diferenciados básicamente en su tratamiento secundario o biológico. (Hernandez, 2011)<sup>2</sup>

### **1.1.3 Nivel Nacional**

Según lo detallado en el estudio “Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución” de LA Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento (SUNASS) en el año 2008 en el Perú, de un total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), pocos son los proyectos que puedan llamarse exitosos. Ello se debe, por un lado, a la visión sesgada de las EPS que no llega a descubrir el potencial socio económico de las aguas residuales tratadas, la cual se manifestó al calificar como castigo para el trabajador la designación para efectuar actividades de operación y mantenimiento de las PTAR y, por otro lado, a la ausencia de una cultura de protección del ambiente como parte de la misión de las EPS. El resultado es la contaminación de los cuerpos de agua que reciben tanto los efluentes de insuficiente calidad de las PTAR

---

<sup>2</sup>.Tratamiento de aguas de Diego Hernandez en Everde, 05 de diciembre del 2011, Sitio web: <http://www.everde.cl/2011/12/tratamiento-de-aguas.html>

como los vertimientos de aguas residuales crudas provenientes de los sistemas de alcantarillado.

Las inversiones en construcción de PTAR en las EPS del Perú se estiman en US\$ 369 millones de dólares estadounidenses, monto que fue colocado por diversos gobiernos para evitar o aliviar los efectos de los contaminantes de las aguas residuales crudas y preservar el ambiente humano y natural. La inadecuada operación y mantenimiento de tales inversiones, e incluso fallas de diseño, impide lograr estos objetivos en 67 ecosistemas de igual número de cuerpos receptores, lo que además pone en riesgo la salud pública por el riego sin control de 61 áreas de cultivo y 12 áreas verdes recreativas.<sup>3</sup>

En octubre del 2012 inicia la planta de tratamiento de aguas residuales Taboada-PTAR TABOADA en el callao. Diseñada para tratar 442 millones de metros cúbicos/año de agua residuales provenientes de los colectores Interceptor norte, colector comas-chillón y línea de impulsión Sarita Colonia Y Beneficiando a 4.5 millones de habitantes.

Las plantas de tratamiento en Perú suelen estar distribuidas entre las administradas por SEDAPAL y la municipalidad en el caso de lima.

Los sistemas de tratamiento aplicados son:

- Lagunas Aireadas
- Lodos Activados
- Laguna de Oxidación
- Filtro Percolador Anaerobio - Aerobio
- Cámara de rejas
- Lodos Activados SBR
- Lodos Activados Aireación Extendida <sup>4</sup>

---

<sup>3</sup>. Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución de Ing. Juan Pablo Méndez Vega & Ing. Johnny Marchán Peña. (2008) en SUNASS, Sitio web: [http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro\\_ptar\\_gtz\\_sunass.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf)

<sup>4</sup> Planta de tratamiento de aguas residuales Taboada-Ptar Taboada(2012) de Sedapal Sitio web: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a20f54e7-1ee7-43e0-be4c-4198585076e4&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=a20f54e7-1ee7-43e0-be4c-4198585076e4&groupId=10154)

#### **1.1.4 Nivel Local**

En el distrito de Ica el método usado para el tratamiento de aguas residuales es por medio de lagunas de oxidación de las cuales muchas de ellas no cuentan con el debido mantenimiento ocasionando que existan malos olores y atraigan vectores como las moscas, mosquitos pudiendo afectar a las poblaciones cercanas.

Según una noticia publicada en el diario el comercio el 23 de mayo del 2013 la dirección regional de salud ambiental (DIRESA) de Ica dijo que la falta de tratamiento de los desagües que generan los casi 200 mil pobladores de Ica y el colapso de las lagunas de oxidación de esta ciudad han ocasionado que los límites máximos de contaminación superen hasta seis veces los parámetros permisibles. (Rosales,2013)<sup>5</sup>

### **1.2 DELIMITACIONES Y DEFINICIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.2.1 Delimitaciones**

##### **A. Delimitación Espacial**

Aguas residuales que llegan a la Laguna de Oxidación de Cachiche

##### **B. Delimitación Temporal**

Abril 2016 – febrero 2018

##### **C. Delimitación Social**

Población que genera aguas residuales domesticas

#### **1.2.2 Definición del Problema**

Las aguas residuales en muchos países son un problema ambiental puesto que contaminan de una manera irracional los ecosistemas en donde son vertidas, lagos, lagunas, ríos, manglares, costas, entre otros, los principales afectados son los animales y plantas que habitan en estos

---

<sup>5</sup> Ica: lagunas de oxidación superan seis veces los límites de contaminación de José Rosales Vargas. (2013) publicado en el diario "El Comercio" Sitio web: <http://elcomercio.pe/peru/lima/ica-lagunas-oxidacion-superan-seis-veces-limites-contamin>

ecosistemas pero los humanos también resultamos seriamente afectados ya que muchos de estos lugares son una fuente de agua dulce o simplemente por estar ubicados cerca de poblaciones resultan una fuente de infección y contaminación para los habitantes aledaños<sup>6</sup>

El tratamiento de las aguas negras es costoso y con frecuencia éstas se expulsan sin haber sido tratadas. Esto propaga los desechos y todos los microbios, lombrices y sustancias químicas presentes en ellas, ocasionando problemas de salud tales como hepatitis, cólera y tifoidea en los lugares donde se arrojan las aguas.

Incluso si se hace un costoso tratamiento de las aguas negras, la utilización del agua para acarrear los desechos resulta con frecuencia en un método no sostenible que puede causar problemas como:

- Contaminación de las fuentes de agua potable en las partes bajas.
- Contaminación de la tierra donde la gente vive y cultiva.
- Pérdida de nutrientes (fertilizantes) para la agricultura.
- Contaminación de los recursos de agua potable, para consumo, aseo y agricultura.
- Malos olores. (Conant&Fadem,2008, p. 116)<sup>7</sup>

### 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.3.1 Problema Principal

¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento con *Chlorella vulgaris* influenciará en la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica?

---

<sup>6</sup> Informe de la planta de tratamiento de aguas residuales de Magolio de Cusi Laura Benjamin Felix. (2012) en Scribd Sitio web: <https://es.scribd.com/doc/137145360/PLANTA-DE-TRATAMIENTO-MAGOLLO-TACNA-PERU>

<sup>7</sup> Guía comunitaria para la salud ambiental de Jeff Conant y Pam Fadem. ( EEUU 2008) en Hesperian. Sitio Web: <https://ongcaps.files.wordpress.com/2012/04/guc3ada-comunitaria-para-la-salud-ambiental.pdf>

### **1.3.2 Problemas Específicos**

#### **A. Primer Problema Específico**

¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de nitratos y metales pesados?

#### **B. Segundo Problema Específico**

¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de coliformes fecales en el agua?

#### **C. Tercer Problema Específico**

¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de materia orgánica en el suelo?

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento con chlorella vulgaris influenciará en la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica.

### **1.4.2 Objetivo Específico**

#### **A. Primer Objetivo Específico**

Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de nitratos y metales pesados.

#### **B. Segundo Objetivo Específico**

Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influenciará en la presencia de coliformes fecales en el agua.

#### **C. Tercer Objetivo Específico**

Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influenciará en la presencia de materia orgánica en el suelo.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 Justificación Teórica**

El desarrollo de sistemas de tratamiento menos costosos contribuye a la reducción del mal manejo de las aguas residuales generadas por una población, previniendo de esta manera la proliferación de vectores y la contaminación ambiental.

En este proyecto se propone la reducción de los contaminantes presentes en las aguas residuales de la ciudad de Ica mediante microalgas, aquellas que aprovechan los nutrientes que necesitan como aquellas fuentes de nitrógeno y fosforo, y que no solo ayudan a descontaminar el agua, sino que por medio de la fotosíntesis liberan Oxígeno.

### **1.5.2 Justificación Metodológica**

La ejecución de este sistema adaptado a las condiciones climáticas de la ciudad de Ica puede ser replicada en otras áreas que sean similares en cuanto a su climatología. Y la mejora de la calidad del agua resultante del sistema hará posible que se use para la agricultura por medio de productos naturales.

### **1.5.3 Justificación Práctica**

Se aplicaron métodos que pueden ser operados por cualquier persona sin la necesidad de contar con instrumentos especializados de tal manera que sea factible obtener los datos necesarios que garanticen la eficacia del sistema.

## **1.6 IMPORTANCIA**

Al ser un sistema de bajo costo y fácil aplicación, lograra disminuir la concentración de nitratos, metales pesados y coliformes termotolerantes en el agua.

Se tomará importancia a la biodiversidad como parte de la solución a los problemas ambientales del día a día.

Se Aprovechará adecuadamente los residuos sólidos reciclables

El Reuso del Agua Tratada: Existen actividades en las que no se requiere utilizar agua potable estrictamente y que se pueden realizar con agua tratada, sin ningún riesgo a la salud, tales como:

1. Riego de Áreas Verdes (glorietas, camellones, jardines, centros recreativos, parques, campos deportivos, fuentes de ornato)
2. Industriales y de servicios (lavado de patios y nave industrial, lavado de flota vehicular, sanitarios, intercambiadores de calor, calderas, cortinas de agua, etc.).<sup>8</sup>

## **1.7 LIMITACIONES**

### **1.7.1 Limitación Económica**

Al no contar con los recursos suficientes se realizará el proyecto a pequeña escala, los recursos económicos para la comprobación de las hipótesis fueron suficientes, sin embargo, no pudieron realizarse análisis adicionales como sales solubles.

### **1.7.2 Limitación Temporal**

El tiempo en que se realizó el trabajo fue suficiente para dar respuesta a las hipótesis planteadas.

---

<sup>8</sup>¿Cuál es la importancia que tiene el tratamiento de Aguas Residuales? (2009), de cuidodelagua.org Sitio web: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/importanciatratamiento.html>

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

La importancia y aplicación de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales, tiene sus antecedentes en la época de Caldwell (1940), quien reporta los primeros estudios, sobre la posibilidad de utilizar las microalgas como "microorganismos purificadores de aguas residuales, debido al aprovechamiento de los nutrientes inorgánicos" contenidos en esta agua, para favorecer el crecimiento de las microalgas, funcionando este como medio de cultivo.

Posteriormente Oswald (1957), introduce un nuevo concepto en la producción masiva de microalgas, al llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales, obteniendo una producción de biomasa vegetal con un alto contenido proteico, lo que naturalmente se considera como una valorización de las aguas residuales mediante el cultivo de microalgas. Es en la década de los años sesenta, en Richmond, California (1960), cuando se plantea el sistema de cultivo más grande de los Estados Unidos, llegándose a alcanzar una producción muy alta de biomasa de microalgas, siendo de 12-18 g m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>. Es a partir de este cultivo a gran escala que se desencadenó el desarrollo por parte de diversos países en el cultivo masivo de microalgas en sistemas cerrados y abiertos, con diferentes finalidades.

Otros Autores realizaron investigaciones sobre las microalgas los que se mencionan a continuación:

**Dinámica temporal de las microalgas de un tratamiento terciario de aguas residuales urbanas a escala de laboratorio.** (Tomas G. y Miguel A., 1989) en Sevilla, Madrid. En un agua procedente de un tratamiento biológico secundario con lodos activos se inoculó un cultivo mixto de *Chlorella saccharophila* y *Scenedesmus acutus* que creció en discontinuo en sendas cubetas a 25 °C y a 30 °C, respectivamente.

*C.socchorophila* fue desplazada por *Osillatoria amphibia*, que apareció espontáneamente en los cultivos, debido a una mejor adaptación a la luz y a los nutrientes por parte de la segunda. Todos los procesos ocurrieron más rápidamente a 30 °C que a 25 °C como era de esperar. El fósforo y el carbono controlaron el crecimiento de las algas en esas condiciones. La producción primaria presentó máximos en los minutos posteriores al encendido de la luz.

**Crecimiento de microalgas en aguas residuales para mejorar la eficiencia energética del proceso de producción de biocrudo** (Elia R. y Alberto B.) en Padova, Italia. El presente trabajo reporta los resultados de la evaluación energética del proceso de producción de BioOil a partir de microalgas, fueron estudiadas diferentes alternativas para la recuperación de energía de la biomasa residual de las cuales se reporta la “Combustión” por obtener los mejores resultados.

Se realizaron pruebas de crecimiento en aguas residuales, iniciando por el screening de microalgas, evaluando la velocidad de crecimiento, peso seco y consumo de nutrientes. Se probaron muestras de diversas secciones del proceso de depuración de agua residual. Se estudió el crecimiento de las microalgas en condiciones axénicas y con contaminación nativa.

**Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales (Margarita S., 2005) en Iztapalapa, Mexico.** Se nombra diferentes algas que han sido usadas en el tratamiento de estas aguas, además menciona también que las microalgas frente a los metales pesados presentan diversas adaptaciones y ciertos mecanismos de tolerancia, los cuales son los responsables de llevar a cabo a través de la membrana, los procesos de adsorción, absorción y desorción.

**Recuperación de residuos líquidos industriales mediante *Arthrospira sp.* y *Chlorella sp.*, a escala de laboratorio, para la obtención de agua de riego (Katy C. y Alejandro P.,2012) en Arequipa, Perú.** En los experimentos a nivel laboratorio se investigó procesos fisicoquímicos de tratamiento, como la coagulación/floculación aplicado a RILES de una industria avícola. El proceso químico de coagulación/ floculación fue realizado con sulfato de aluminio, cloruro férrico probados en forma individual, variando la dosis y el pH.

En un tratamiento secundario o biológico a nivel laboratorio se utilizó microalgas como *Arthrospira sp.* y *Chlorella sp.*, debido a los procesos simbióticos de bacterias (quienes realizan la degradación de la materia orgánica y excretan CO<sub>2</sub>) y microalgas (quienes utilizan los compuestos inorgánicos y consumen CO<sub>2</sub>), llevando a cabo una eficiente conversión de la energía solar, en la utilización y eliminación de materia orgánica, lo cual se traduce naturalmente en generación de biomasa.

**Cultivo de consorcio microalgal autóctono y biorremediación de efluentes urbanos (Ana L.,2015) en Catamarca, Argentina.** En el presente trabajo se muestran los resultados experimentales obtenidos del cultivo del consorcio de microalgas (*Chlorella sp* y *Scenedesmus sp.*) empleando el efluente urbano pretratado proveniente de la planta de tratamiento cloacal —La Viñital, Provincia de Catamarca, Argentina.

Los objetivos se orientan a caracterizar el consorcio de microalgas autóctonas en cuanto a la relación de la producción de biomasa y lípidos, en condiciones controladas de cultivo.

Se emplearon tres variables (% de Inóculo, % de medio nutricional e inyección de CO<sub>2</sub>), el ensayo se realizó a lo largo de 12 días de cultivo —indoor.

**Evaluación de un sistema de microalgas y bacterias para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales domésticas (Juan H., 2004)** en La Paz, Bolivia. En este trabajo se utilizaron dos especies de microalgas del género *Chlorella vulgaris* y *C. sorokiniana*, con-inmovilizadas en esferas de aginato de sodio con la bacteria promotora de crecimiento *Azospirillum brasilense*, para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales domésticas. como resultado, se tiene que *A. brasilense* incremento el crecimiento de ambas especies de *Chlorella* significativamente.

La eliminación de nitrógeno y fosforo fue superior en los sistemas coinmovilizados en comparación con la microalga sola. ( J. Hernández, 2004)

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Aguas Residuales**

Herrera (1980), define al agua residual como un líquido de composición variada, proveniente del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, que por tal motivo han sufrido degradación en su calidad original. Señala además que la calidad de las aguas se modifica sustancialmente si han sido empleadas con fines industriales y que, para proteger las tierras de cultivo y los productos agrícolas, es necesario que las aguas que se utilicen satisfagan determinadas normas de calidad.

### **2.2.2 Principales características de las Aguas Residuales**

#### **A. Características físicas**

Temperatura: La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.

**Turbidez:** La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.

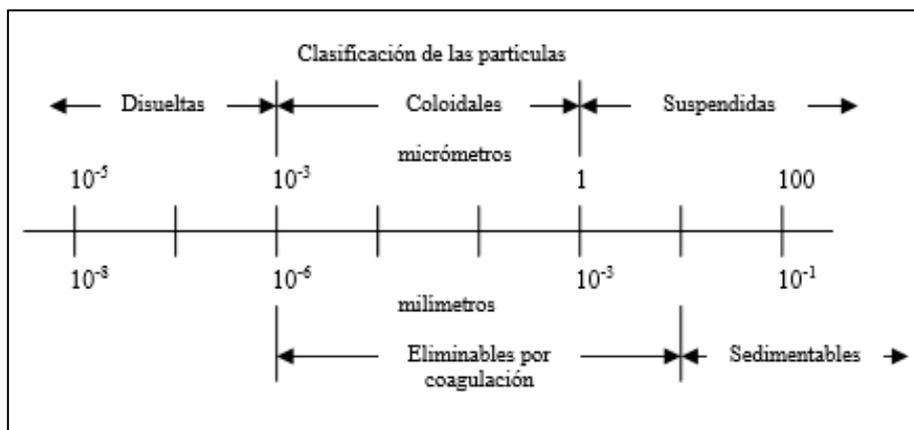
**Color:** El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica.

**Olor:** El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica.

**Sólidos Totales:** Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

1. **Sólidos suspendidos:** son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos.
2. **Sólidos filtrables:** esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10 y 1 micra. Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua. (Quiroz, 2009).

### Ilustración 1 Clasificación de las partículas sólidas contenidas en un agua residual, según su diámetro



#### B. Características Químicas

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

**Materia Orgánica:** Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos de origen animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%) y grasas y aceites (10%).

Medida del Contenido Orgánico: Los diferentes métodos para medir el contenido orgánico pueden clasificarse en:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO), Carbono orgánico total (COT).

Demanda Bioquímica de Oxígeno: El parámetro de contaminación orgánica más empleado, que es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días. La determinación de este, está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

1. Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
2. Dimensionar las instalaciones de tratamiento del agua residual.
3. Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

Las características químicas estarán dadas, principalmente, en función de los desechos que ingresan al agua servida. (Quiroz, 2009).

Materia inorgánica: Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por el agua residual, tratada o sin tratar, que a ella se descargan. Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua. Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables. (Quiroz, 2009).

A continuación, se muestra una tabla sobre la relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.

**Tabla 1 Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual**

Elementos	Relación con el Agua Residual
pH	El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos. Por lo general pH óptimo para el crecimiento de los organismos se encuentran entre 6.5 y 8
Cloruros	Proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua salada (zonas costeras), agua residual doméstica, agrícola e industrial. Suministra información sobre el grado de concentración del agua residual.
Nitrógeno	Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Básico para síntesis de proteínas.
Fosforo	Incrementa la tendencia de proliferación de algas en el receptor, íntimamente ligado, igual que el nitrógeno, al problema de la eutrofización.
Azufre	Requerido en síntesis de las proteínas y liberado en su degradación.

### C. Gases

Las aguas residuales contienen diversos gases con diferente concentración:

- Oxígeno disuelto: Es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables. La cantidad de oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, actividad biológica, actividad química, etc.
- Ácido sulfhídrico: Se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual.
- Anhídrido carbónico: Se produce en la fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras.
- Metano: Se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica por la reducción bacteriana del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). (Quiroz, 2009).

### D. Características Biológicas:

Estas características están definidas por la clase de microorganismos presentes en el agua, entre los cuales tenemos:

**Bacterias:** Juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas.

Las bacterias autótrofas son aquellas que se nutren de compuestos inorgánicos, tomando la energía necesaria para sus biosíntesis a

partir de la luz (bacterias fotosintéticas: familia Thiorethodaceae, Chlorobiaceae) o a partir de ciertas reacciones químicas (bacterias quimiosintéticas: Nitrobacter, Nitrosomonas, Hydrogenomonas, Thiobacillus).

En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas constituyen el grupo más importante, por su necesidad de compuestos orgánicos para el carbono celular. Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en anaerobias, aerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno.

1. Bacterias anaerobias: son las que consumen oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos y la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Los procesos que provocan son anaerobios, caracterizados por la presencia de malos olores.
2. Bacterias aerobias: son aquellas que necesitan oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración. El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica son procesos aerobios, caracterizados por la ausencia de malos olores.
3. Bacterias facultativas: algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto. (Metcalf & Eddy, 1991)

Algas: En los estanques de estabilización, son un valioso elemento porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis. Las algas, al igual que sucede con otros microorganismos, requieren compuestos inorgánicos para reproducirse. A parte del anhídrido carbónico, los principales

nutrientes necesarios son el nitrógeno y el fósforo. También son muy importantes vestigios de otros elementos (oligoelementos) como hierro, cobre, etc. Las algas pueden presentar el inconveniente de reproducirse rápidamente, debido al enriquecimiento del agua (eutrofización) y crear grandes colonias flotantes originando problemas a las instalaciones y al equilibrio del sistema. Los tipos más importantes de algas de agua dulce son: verdes (Chlorophyta), verdes móviles (Volvocales euglenophyta), verdiamarillas o marrón dorado (Chrysophyta) y verdiazules (Cyanophyta). (Metcalf & Eddy, 1991).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica biodegradable. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad de agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica. (Metcalf & Eddy, 1991)<sup>9</sup>

### 2.2.3 Impactos negativos del Agua Residual

En efecto, como complemento a este tema es necesario indicar los impactos negativos producidos por el mal manejo de las aguas residuales uno de los más resaltantes son las enfermedades asociadas al agua; de acuerdo a lo informado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS en su documento denominado: **El costo social de las enfermedades infecciosas**, estas enfermedades se dividen en:

---

<sup>9</sup> Diseño de un Sistema Integrado de Tratamiento de las Aguas Residuales para Mitigar la Contaminación del Río Mayo, Sector Juan Antonio – Moyobamba, 2014 por Bach. Violeta del Aguila Valles y Bach. Percy Igord Zamora Saavedra, 2016. Sitio Web: [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2385/TP\\_ISA\\_00014\\_2016.pdf?sequence=1](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2385/TP_ISA_00014_2016.pdf?sequence=1)

- **Las transmitidas por el agua:** originadas por el agua contaminada con desechos humanos, animales o químicos, que incluyen el cólera, la fiebre tifoidea, la *shigella*, la poliomielitis, la meningitis, la hepatitis y la diarrea; siendo la diarrea, la que ha provocado más muertes de niños en los últimos 10 años que todos los conflictos armados ocurridos después de la segunda guerra mundial. Así solo en el año 2001 murieron 1,96 millones de personas a causa de diarrea infecciosa, de los cuales 1,3 millones eran niños.
  
- **Las que tienen como base el agua:** causadas por organismos acuáticos que pasan parte de su vida en el agua y parte como parásitos de animales; las enfermedades son causadas por gusanos denominadas helmintos; se refiere que 88 millones de menores de 15 años se infectan cada año con la esquistosomiasis.
  
- **Las de origen vectorial relacionadas con el agua:** transmitidas por vectores como los mosquitos y la mosca tse tse, que infectan al hombre produciendo la malaria, fiebre amarilla, dengue, enfermedad del sueño y filariasis. Solo la malaria causa al menos 300 millones de casos de enfermedad aguda cada año.
  
- **Las vinculadas a la escasez del agua,** incluyen al tracoma y la tuberculosis. Se propagan por condiciones de escasez de agua dulce y sanidad deficiente. Según estimados de SEDAPAL, al año 2007, en el mundo 500 millones de personas padecen de escasez de agua potable y 200 millones de habitantes de los países subdesarrollados mueren anualmente por enfermedades relacionadas a la falta de agua potable. Las enfermedades pueden controlarse con una mejor higiene, para lo cual es imprescindible disponer de suministros adecuados de agua potable y sistemas de saneamiento utilizando tecnologías apropiadas, para recolectar, tratar y disponer las aguas residuales.

Las enfermedades pueden controlarse con una mejor higiene, para lo cual es imprescindible disponer de suministros adecuados de agua potable y sistemas de saneamiento utilizando tecnologías apropiadas, para recolectar, tratar y disponer las aguas residuales.<sup>10</sup>

En el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Aguas Residuales el recurso desaprovechado nos muestra la siguiente tabla sobre los impactos negativos de las aguas residuales:

**Tabla 2 Efectos de Impactos negativos de las aguas residuales no tratadas en la salud humana, medio ambiente y actividades productivas**

<b>Impactos en</b>	<b>Ejemplos de Impactos</b>
Salud	Aumento de la carga de morbilidad debido a la reducción de la calidad del agua potable
	Aumento de la carga de morbilidad debido a la reducción de la calidad del agua de baño
	Aumento de la carga de morbilidad debido a alimentos nocivos (pescado contaminado, verduras y otros productos de regadío)
	Aumento del riesgo de morbilidad cuando se trabaja o se juega en un área irrigada por aguas residuales
Medio Ambiente	Disminución de la biodiversidad
	Degradación de los ecosistemas acuáticos (por ejemplo, eutrofización y zonas muertas)
	Olores desagradables
	Disminución de oportunidades recreativas
	Aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero

<sup>10</sup> Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas e sustitución de agua limpia para áreas verdes de Fortunato Vidal Mendez Melgarejo & Osiris Feliciano Muñoz. (2010) en Docplayer Sitio web: <http://docplayer.es/8265965-Universidad-nacional-de-ingenieria.html>

	Aumento de la temperatura del agua
	Bioacumulación de toxinas
Economía	Reducción de la productividad industrial
	Reducción de la productividad agrícola
	Reducción del valor de mercado de los cultivos cosechados, si se usan aguas residuales peligrosas para el riego
	Reducción de las oportunidades de actividades recreativas acuáticas (reducción del número de turistas o reducción de la disposición a pagar por los servicios recreativos)
	Reducción de las capturas de peces y mariscos, o reducción del valor de mercado de pescados y mariscos
	Aumento de la carga financiera sobre la asistencia sanitaria
	Aumento de las barreras al comercio internacional (exportaciones)
	Costos más altos del tratamiento del agua (para el suministro humano y otros usos)
	Reducción de precios de propiedades cerca de masas de agua contaminadas <sup>11</sup>

Fuente: Adaptado del PNUMA (2015b, Tabla 1, p. 15).

## 2.2.4 Tipos de Tratamiento existentes para Aguas Residuales

### A. Pre Tratamiento

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende con el pretratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de La estación depuradora.

<sup>11</sup> Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Aguas Residuales el recurso desaprovechado, UNESCO 2017. Sitio Web: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>

En el pretratamiento se efectúa un desbaste (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual, así como elementos flotantes.

Si se hacen desengrasado y desarenado junto en un mismo recinto, es necesario crear una zona de tranquilización donde las grasas flotan y se acumulan en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial, y las arenas sedimentan en el fondo y son eliminadas por uno de los métodos que desarrollamos en el apartado anterior.

## **B. Tratamiento Primario**

El tratamiento primario que recibe las aguas residuales consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos floculentos bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación.

Entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están:

1. La separación de los sólidos por gravedad. Se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante. Se puede pues utilizar la sedimentación o la flotación para separar del agua residual los sólidos en suspensión presentes en ella.

2. Coagulación y floculación. Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los SS y de las partículas coloidales. La Coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante y la floculación es un proceso de separación de líquido-sólido utilizado para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en las aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Los floculantes más usados son los siguientes: oxidantes, adsorbentes, sílice activa, Los factores, que pueden promover la coagulación-floculación, son el gradiente de la velocidad, el tiempo, y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan. Por otra parte, el pH es un factor prominente en el retiro de coloides.

### 3. Tanques Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos.

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas. El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

### 4. Digestión Primaria de Lodos

En la decantación primaria y secundaria se producen lodos primarios o secundarios.

Estos lodos están compuestos por agua y partículas sólidas. El agua se encuentra agregada o como agua capilar. Las proteínas hidrófilas absorben, por otra parte, moléculas de agua.

Estos lodos pueden entrar rápidamente en putrefacción y producir, además, malos olores. En tal sentido, la digestión de los lodos primarios requiere de sistemas que garanticen tiempos de detención de sólidos superiores a los 25 días cuando se tienen aguas residuales con temperaturas promedio entre los 20-25°C.

### **C. Tratamiento Secundario**

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario o biológico ha sido diseñado, tomando como ejemplo el proceso biológico de autodepuración, anteriormente mencionado, que ocurre naturalmente. La aplicación de éste en aguas servidas, previene la contaminación de los cuerpos de agua antes de ser descargadas. En estos procesos, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas actúa como nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas, en resumen, el tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua.

Para que la transformación biológica se haga efectiva y de manera eficiente, deben existir condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano, considerando temperatura (30-40°C), oxígeno disuelto, pH adecuado (6,5-8,0), salinidad (menor a 3.000 ppm). En estos procesos, actúan como sustancias inhibidoras las sustancias tóxicas, como metales pesados Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y otros, así como

cianuros, fenoles y aceites, por este motivo es necesario evitar la presencia de estos.

La biomasa bacteriana puede estar soportada en un lecho fijo, como superficies inertes (rocas, escoria, material cerámico o plástico) o puede estar suspendida en el agua a tratar, siendo estos de lecho móvil o lecho fluidizado. En cada una de estas situaciones la concentración de oxígeno en el agua determina la existencia de bacterias aeróbicas, facultativas o aerobias. Los procesos aerobios con biomasa suspendida que más se aplican son los de lagunas aireadas y los de lodos activados que se describen a continuación:

#### 1. Lagunas aireadas

Son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno, por lo que se emplean cuando éste es un bien barato. El agua servida así dispuesta se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana. Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación que demora de 6 a 12 horas. La calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos.

#### 2. Proceso de lodos activados

El agua servida aireada se mezcla con bacterias aeróbicas que se han desarrollado con anterioridad. A diferencia del anterior, la mezcla del agua servida, previamente decantada, se agita por medio de bombas para que la materia esté en suspensión y en constante contacto con oxígeno en el interior de piscinas de concreto armado. La materia orgánica degradada del agua

servida flocula, por lo que luego se puede decantar. Una parte de la biomasa sedimentada se devuelve al tratamiento biológico, para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo.

### 3. Procesos Anaerobios

También podemos considerar en los procesos anaerobios que consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias. Ejemplos de tratamientos anaeróbicos son los tanques sépticos y los reactores anaerobios que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno ni movimiento.

Las ventajas principales serían que generalmente requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Produce una menor cantidad de lodos (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos).

Por otro lado, su desventaja sería que es más lento que el tratamiento aeróbico, es decir, requiere un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas servidas.

### **D. Tratamiento Terciario**

Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso hasta llegar a potabilizarla si se desea.

En el tratamiento de aguas servidas, es importante tener en cuenta el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos, no tienen valor económico, pero si ocasionan daños al medio ambiente.

Para estabilizar estos lodos, es decir, destruir las bacterias patógenas y volverlos inocuos al medio ambiente, el lodo se concentra por sedimentación y coagulación/floculación durante el tratamiento secundario. Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y eliminar el agua mediante exposición al sol, filtros de arena, filtros al vacío o centrifuga. Sin embargo, éstas técnicas poseen costos elevados y problemas técnicos.

El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos, incinerarlo, o lo más deseable, usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo.

Un resumen de la secuencia completa de tratamientos que pueden aplicarse a aguas residuales domésticas, y también aguas residuales industriales, se representa en este esquema. <sup>12</sup>

### 2.2.5 Microalgas

Las microalgas son generalmente organismos foto autótrofos, es decir, organismos que obtienen la energía de la luz proveniente del sol y se desarrollan a partir de la materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies de microalgas son capaces de crecer empleando la materia orgánica como fuente de energía o de carbono. Según esto, la producción de microalgas se divide en:

**Foto autótrofa:** Las algas obtienen la energía del sol y el carbono de los compuestos inorgánicos(sales)

---

<sup>12</sup> Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú de María Grazia Rossia Luna. (2010) en FONAM Sitio web: [http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)

**Foto heterótrofa:** Las algas obtienen la energía del sol y emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono.

**Mixotróficas:** Muchas algas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos, de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica. El carbono lo obtienen, por lo tanto, de compuestos orgánicos y del CO<sub>2</sub>. Algunas de estas algas son la especie *Spirulina platensis*.

**Heterótrofa:** Los compuestos orgánicos proporcionan tanto la energía como la fuente de carbono de estas algas. Por lo tanto, existen algas que pueden desarrollarse bajo ausencia de luz, como por ejemplo la especie *Chlorella protothecoides*.

Las microalgas son las plantas de mayor crecimiento de la tierra (100 veces más rápido que los árboles) y pueden crecer en distintos ambientes tanto de pH como de temperatura.

Fotosíntesis  $CO_2 + 2H_2O + \text{Luz solar} \Rightarrow (CH_2O) + O_2 + H_2O$  nuevas células

Respiración  $CH_2O + O_2 \Rightarrow CO_2 + H_2O$

## 2.2.6 Factores para el crecimiento de microalgas

### Luz

La disponibilidad de luz es el principal factor limitante de los cultivos foto autótrofos de microalgas. Los nutrientes inorgánicos e incluso el CO<sub>2</sub> pueden ser incorporados al medio de cultivo en exceso, de forma que nunca sea limitantes al crecimiento. Por el contrario, la luz debe ser continuamente suministrada al cultivo, ya que la energía radiante no se puede acumular (Molina-Grima et al., 1996)

El crecimiento de los microorganismos fotosintéticos es proporcional a la intensidad de la luz recibida siempre que esta se sitúe por debajo de un cierto valor máximo. A partir de este valor máximo, el crecimiento se ve limitado ya que los sistemas fotosintéticos receptores se ven dañados y la fotosíntesis, por tanto, inhibida. En la mayoría de las microalgas la fotosíntesis se ve saturada a niveles lumínicos que representan sobre el

30% de la radiación total solar, lo que supone unos 1700 a 2000  $\mu\text{E}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ . Las microalgas se adaptan a los cambios de luz variando el contenido de clorofila A de sus células, de modo que las microalgas adaptadas a bajos niveles de luminosidad tienen una respuesta más rápida a cambios en la intensidad luminosa ya que tienen más clorofila que las que están adaptadas a intensidades de luz altas.

### **Nutrientes**

Los principales nutrientes minerales que las microalgas toman del medio y necesitan para su desarrollo son:

#### **Carbono**

Las microalgas autótrofas pueden emplear como fuente de carbono al  $\text{CO}_2$  presente en la atmósfera o en gases de escape, así como los iones de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) mediante la enzima anhidrasa carbónica. Son capaces de tolerar unas 150.000 ppmv de  $\text{CO}_2$  en aire de media, aunque hay especies de microalgas como *Chlorella*, que han demostrado que toleran hasta 400000 ppmv. Cuando se provee a las algas de carbonato, se hace generalmente en forma de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaHCO}_3$ .

Se puede calcular estequiometricamente la necesidad de carbono conociendo la composición de la biomasa, resultando un mínimo de 1.85  $\text{gCO}_2/\text{g}$  biomasa. Por otro lado, para asegurar que las microalgas pueden tomar dicho  $\text{CO}_2$  su suspensión en el líquido ha de ser de 0,1-0,2 kPa.

Los compuestos orgánicos proporcionan para las microalgas heterótrofas tanto la energía como la fuente de carbono. Así mismo, las microalgas mixotróficas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos, de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica, obteniendo el carbono de compuestos orgánicos y del  $\text{CO}_2$ .

## **Nitrógeno**

Es otro de los macronutrientes esenciales en el crecimiento de las microalgas. El contenido en nitrógeno de la biomasa algal puede suponer desde un 1% hasta más del 10%, en función de la disponibilidad y el tipo de fuente de nitrógeno. Las microalgas pueden tomar nitrógeno del medio generalmente en forma de urea, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). En un estudio (Xin 2010) se demostró que la microalga *Scenedesmus* sp., crece más rápidamente con amonio, seguido de urea y finalmente de nitrato, en cambio, la eliminación de fósforo y nitrógeno fue más completa en el cultivo donde el nitrógeno estaba presente en forma de nitrato y urea que en el cultivo realizado con amonio, puesto que el nitrógeno en forma de amonio, cuyo equilibrio de disociación depende de la temperatura y el pH del medio, inhibe también el crecimiento de las microalgas debido a que es normalmente tóxico para los organismos fotosintéticos, ya que desacopla el transporte electrónico en el fotosistema II y compite con el agua en las reacciones de oxidación que generan el O<sub>2</sub> libre. La tolerancia al amonio depende de la especie cultivada: por ejemplo, *Spirulina* se ve prácticamente inhibida ante concentraciones de 200 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L mientras que *Chlorella sorokiniana* no muestra inhibición ante concentraciones de 400 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L. Lo que aún no se ha determinado es qué forma de nitrógeno es más beneficiosa energéticamente para la producción de microalgas.

## **Fosforo**

Es tomado del medio en forma de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>-3), cuya concentración en equilibrio con las formas protonadas depende del pH del medio. Factores como un pH excesivamente alto o bajo, o la ausencia de iones como potasio, sodio o magnesio, ralentizan la toma de fosfatos por parte de las microalgas.

La cantidad necesaria de fósforo es mucho menor que la de nitrógeno para una misma cantidad de biomasa generada.

Diversos autores concluyen que la toma de nutrientes por parte de las microalgas se ve influida por la relación N:P en el medio de cultivo, de

modo que se producirá un mayor crecimiento y toma de nutrientes cuanto más próxima esté a la composición de las microalgas. Por ejemplo, para la microalga *Chlorella* la relación óptima es de 8:1 (Aslan y Kapdan, 2008). Sin embargo, como las microalgas son capaces de adaptarse al medio de cultivo pueden tomar, en principio, uno de los nutrientes en una proporción mayor que la presente en su composición celular.

Las microalgas requieren, para su crecimiento, además de otros **macro-** y **micronutrientes** (Richmond, 2004).

Aparte del C, N y P, otros elementos son necesarios para el cultivo de microalgas, tanto macronutrientes (S, K, Na, Fe, Mg, Ca) como micronutrientes o elementos traza (B, Cu, Mn, Mo, Zn, V y Se), tal como se observa en la composición elemental de las células microalgales. Muchos de dichos elementos traza son relevantes en reacciones enzimáticas y en la biosíntesis de compuestos necesarios para el metabolismo. Al igual que el P, estos iones traza muestran cierta afinidad por otros compuestos del medio y precipitan. Para evitar este problema, se añaden al medio agentes quelantes de metales, como el EDTA (especialmente el Na-EDTA, que es de fácil disolución).

## **pH**

El pH del medio influye tanto en la proporción de las especies del equilibrio químico del CO<sub>2</sub>, y por tanto, en la alcalinidad del medio, como en la forma química en que se encuentran algunos nutrientes y micronutrientes necesarios. Cada especie de microalga tiene un rango de pH en el cual su crecimiento es óptimo, dependiendo de qué especies químicas esté más habituada a asimilar. El pH en la mayoría de cultivos de microalgas se encuentra entre 7 y 9, con un óptimo entre 8,2–8,7.

El proceso fotosintético de fijación de CO<sub>2</sub> provoca un aumento gradual de pH en el medio debido a la acumulación de OH<sup>-</sup>, lo que puede promover la eliminación de nitrógeno en forma de amoníaco por stripping a la atmósfera y la eliminación de fósforo por precipitación de

ortofosfatos. El control de pH se consigue mediante aireación o inyección controlada de CO<sub>2</sub>, pero también mediante la adición de ácidos o bases

### **Oxígeno**

El nivel de oxígeno disuelto es un parámetro que debe ser controlado en el cultivo de microalgas, ya que altas concentraciones de oxígeno disuelto pueden inhibir la fijación de carbono por parte del enzima RuBisCo. Esta inhibición se ve favorecida por un déficit de CO<sub>2</sub> y por la alta radiación y temperatura.

Muchas especies de microalgas no son capaces de sobrevivir en un medio sobresaturado de oxígeno más de 2 o 3 horas. El nivel de saturación varía siendo para algunas especies el 120% de saturación en el aire mientras que para otras el 200%.

Así mismo, en cultivos de alta densidad, la producción fotosintética de oxígeno puede alcanzar hasta los 40 mg/L, de forma que con la radiación adecuada pueden llegar a desarrollarse radicales de oxígeno libres. Estos radicales son tóxicos para las células y causarían daños en sus membranas. La presión parcial del oxígeno en el cultivo puede disminuirse aumentando la turbulencia y stripping de aire.

### **Agitación**

La agitación facilita la eficiencia en el transporte, impidiendo la sedimentación de las algas y su adherencia a las paredes del reactor, homogeniza el pH y asegura la distribución de los gases y de la luz. Con una correcta agitación se somete a las algas a ciclos rápidos de mezclado, en los que en cuestión de milisegundos pasan de una zona oscura a una zona iluminada.

El flujo turbulento es de gran importancia en cultivos de alta densidad, puesto que en el medio natural las densidades celulares del fitoplancton rondan las 10<sup>3</sup> células/ml, de modo que la distancia media entre células es de 250 veces su diámetro, mientras que en sistemas artificiales de cultivo esta distancia se ve reducida a tan sólo 10 veces su diámetro, ya que se alcanzan densidades de 10<sup>9</sup> células/ml. El flujo laminar provoca, además de una distribución heterogénea de la luz, gradientes de difusión.

Sin embargo, no todas las especies toleran una agitación fuerte que suponga un buen mezclado en el reactor, ya que son sensibles al estrés hidrodinámico.

### **Temperatura**

En el crecimiento de las microalgas, la temperatura es un factor a considerar, puesto que influye en los coeficientes de velocidad de las reacciones biosintéticas (Richmond, 1986). La relación entre temperatura y velocidad de crecimiento aumenta exponencialmente hasta que se alcanza la temperatura óptima.

A pesar de que una gran variedad de microalgas es capaz de desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, como la especie *Chlorella* que puede crecer entre 5 y 42°C, todas ellas presentan un rango fuera del cual se ven inhibidas e incluso mueren.

Por otro lado, si existe una fluctuación muy amplia entre la temperatura máxima y mínima, puede ser igual de importante tanto el calentamiento durante las horas del día con poca luz como la refrigeración durante las horas de mayor iluminación. En este sentido, conviene cuando sea posible el empleo de frío o calor recuperado del mismo proceso o de un proceso industrial asociado, para mantener un balance neto favorable de energía. La refrigeración puede ser evitada mediante el uso de sistemas que regulen la cantidad de luz que llega al reactor, como sistemas de sombra, dilución de la luz, etc.

Diversos autores han demostrado que en el caso de que el dióxido de carbono o la luz sean limitantes en el cultivo, la temperatura no ejerce una influencia significativa.

#### **2.2.7 Sistemas de cultivos de microalgas**

Las microalgas se pueden cultivar de manera fotoautótrofa, fotoheterótrofa, heterótrofa o en condiciones de mixotrofia. Según Brennan (2010) la producción fotoautótrofa es hoy en día el único método de producción de microalgas a gran escala que resulta económicamente rentable y técnicamente viable en el caso de que no haya producción de energía.

Respecto a los sistemas de cultivo, éstos se suelen clasificar, según su configuración y el tipo de funcionamiento

En:

#### **A. Sistemas Abiertos**

Se pueden clasificar en aguas superficiales naturales, como estanques, lagunas y lagos, y estanques artificiales.

Los sistemas artificiales presentan diferentes diseños: inclinados (de capa fina), circulares y los más extendidos son los estanques de carrusel o canales (raceway ponds).

Los canales o “raceway ponds” suelen ser canales de hormigón ovalados poco profundos (de unos 15-20 cm) en forma de circuito cerrado, donde el cultivo es recirculado y mezclado para favorecer la estabilización del crecimiento y la productividad de las microalgas. Elementos como un rodete, hélices, inyectoras de aire, etc., se suelen encargar de ello, de modo que el inóculo y los nutrientes se integran en el sistema al principio, y las microalgas se recirculan a través del bucle hasta el punto de extracción, evitándose así también la sedimentación.

Debido a la poca profundidad de los canales, la difusión desde la atmósfera permite a las algas obtener el  $CO_2$  necesario para su crecimiento. No obstante, se pueden instalar difusores en el fondo del estanque y reflectantes de luz para poder aumentar la profundidad de los mismos.

Otro tipo de sistemas de cultivo abierto son “piscinas inclinadas” en las que la turbulencia es creada por la propia gravedad. Presentan una serie de inconvenientes tales como la fuerte evaporación, la ineficiente utilización del terreno y la sedimentación de las células en los sectores en los que la velocidad de flujo es menor, así como el coste energético de bombear el cultivo de nuevo a la parte superior.

## Ilustración 2 Piscinas Inclinadas



Fuente: Creative Commons Texas A&M AgriLife.

También existen “tanques circulares” para el cultivo de microalgas pero este sistema presenta una serie de desventajas tales como la ineficiente utilización del terreno, el elevado coste de las construcciones de hormigón y el alto consumo de energía. En los estanques circulares la agitación se realiza mediante una pala que gira recorriendo toda la superficie. A pesar de ser costosos en su construcción y operación, son muy usados en Japón, Taiwán e Indonesia para la producción de *Chlorella* (Lee, 2001).

### Ilustración 3 Tanque Circular



Fuente: Creative Commons Sandialabs

Sin embargo, en un sistema de cultivo abierto es difícil mantener una sola especie de microalga, debido a la facilidad de contaminación biológica, que puede incluso suponer la infección de dicho cultivo por bacterias u otros microorganismos. El modo de conseguir mantener un monocultivo en este tipo de sistemas es mediante el control de las condiciones ambientales, de modo que éstas tomen valores extremos, lo que es posible en el cultivo de microalgas extremófilas, pero no con otro tipo de microalgas. Por ejemplo, *Chlorella*, *Dunaliella salina* y *Spirulina* presentan esta opción, mediante el control de un alto nivel de nutrientes, una elevada salinidad y una elevada alcalinidad respectivamente.

El control de la temperatura es también complejo en un sistema de cultivo abierto, ya que si bien es verdad que la evaporación ejerce efecto de refrigeración, las oscilaciones diarias no se ven amortiguadas, y por otro lado la evaporación provoca cambios en la composición iónica del medio de cultivo.

Otros posibles problemas de este tipo de sistemas son la dificultad de mezclado eficiente, la potencial falta de CO<sub>2</sub> y la limitación de la luz en capas inferiores. Para maximizar la productividad de biomasa se ha de optimizar el mezclado y la profundidad del estanque.

## B. Sistemas Cerrados

Las cámaras de algas son sistemas cerrados de pequeña escala de producción. En ellas se llevan a cabo cultivos de algas escalares donde el volumen del cultivo va aumentando.

Existen recipientes de tamaños muy diversos en los que se mantiene el cultivo bajo unas condiciones muy controladas de temperatura, luz, etc.

El control del parámetro temperatura se realiza con una combinación de termostatos y calefactores, mientras que la luz aplicada es artificial y se suele aportar por medio de tubos fluorescentes que permiten una distribución homogénea de la luz y de la radiación ultravioleta, así como un control de la temperatura, ya que emiten poca cantidad de calor.

En función de las necesidades de cada tipo de cultivo se pueden elegir diferentes tipos de materiales con distintas características de espectro lumínico.

**Ilustración 4 Cámara de Algas**



Fuente: *Creative Commons Microphyt*

## **Fotobioreactores**

Los fotobioreactores se caracterizan por la regulación y control de la mayoría de parámetros de crecimiento importantes, al mismo tiempo que reducen el riesgo de contaminación y las pérdidas de CO<sub>2</sub> por difusión. Además, permiten condiciones de cultivo reproducibles, el control de la temperatura y un diseño flexible (Pulz, 2001).

En estos equipos, la luz no incide directamente en las células, sino que atraviesa unas paredes transparentes para llegar hasta ellas. Por ello en los fotobioreactores cerrados el intercambio directo de gases entre el cultivo y la atmósfera suele estar fuertemente limitado. La principal consecuencia es la acumulación de oxígeno en su interior.

Las posibilidades técnicas de un fotobioreactor cerrado son mucho mayores que las de los sistemas abiertos.

Pueden clasificarse según su diseño y modo de operación:

**Desde el punto de vista del diseño**, los fotobioreactores pueden clasificarse como: planos o tubulares, horizontales, verticales, inclinados o espirales, serpentines (tubos acodados, circulación en serie) o múltiples (circulación en paralelo desde un colector repartidor a uno recogedor).

**Desde el punto de vista del modo de operación**, los fotobioreactores pueden clasificarse como: impulsados agitados por aire o por bombas, reactores de una fase (el intercambio de gases se produce en una cámara separada) o reactores de dos fases (no existe cámara de intercambio de gases, sino que éste se produce a lo largo de todo el reactor).

**Fotobioreactores tubulares:** Los reactores tubulares son uno de los fotobioreactores más adecuados para cultivos en el exterior, debido a su alta relación área iluminada/volumen reactor. La transferencia de materia, así como el grado de agitación en los fotobioreactores tubulares son limitados, causando altas concentraciones de O<sub>2</sub>. Los problemas de fotoinhibición también son comunes, ya que si no hay

un buen grado de mezcla las células de la superficie reciben grandes cantidades de luz, mientras que a las interiores no les llega la suficiente (Ugwu et al., 2007).

**Fotobioreactores de paredes planas, inclinados o verticales:**

Formados por dos láminas de materiales transparentes generalmente de plástico (rígido o flexible) verticales o inclinadas, entre las que se agita el cultivo mediante sistemas mecánicos o neumáticos.

El espacio entre las láminas suele ser de entre 1 y 20 cm, y la altura de las mismas de hasta 2 m. Tienen la ventaja de posibilitar grandes superficies de cultivo expuestas a la luz por unidad de superficie de terreno (hasta 500 m<sup>2</sup> irradiados/100m<sup>2</sup>), aunque resulta difícil mantener las turbulencias adecuadas.

Las concentraciones de O<sub>2</sub> disuelto son bajas y las eficiencias fotosintéticas que se alcanzan son altas.

**Fotobioreactores de plástico:**

**Ventajas**

Alta productividad

Control básico del cultivo

**Desventajas**

Trabajo intensivo preciso, requiere la limpieza de tubos

4 años de vida útil de los tubos de plástico

Obstrucción de tubos debido a la adherencia de las algas al plástico

**Fotobioreactores de aluminio y cristal:**

**Ventajas:**

Alta productividad por km<sup>2</sup>

Posibilidad de producción continua

Total control del crecimiento del alga

Sistema de autolimpieza

Tiempo mínimo de mantenimiento

Vida útil de 30 años

Amplia área para luz en el sistema

No hay partes plásticas

Mínimos costes de operación y mantenimiento

Bajo consumo de energía

**Desventajas:**

Mayor coste de inversión por km<sup>2</sup> que otros sistemas de producción hasta que se alcancen las economías de escala

**C. Sistemas de cultivo híbrido**

Combinan diferentes etapas del crecimiento en fotobiorreactores y lagunas abiertas o estanques. Generalmente estos sistemas consisten en una primera etapa de producción de la biomasa en fotobiorreactores, donde hay mayor control de las condiciones ambientales, minimizando la contaminación y maximizando la división celular. En la segunda etapa las microalgas son cultivadas en lagunas abiertas para acumulación de productos inducidos por la deficiencia de nutrientes de ese sistema (Brenan y Owende, 2010; Hernández et al., 2009).

**D. Sistemas de cultivo Heterotróficos**

Son sistemas que permiten fácil cambio de escala y generan la mayor densidad de biomasa producida. Así mismo, proporcionan un alto grado de control del crecimiento y la reducción de los costes de cosecha, pero tienen un consumo de energía mayor (Borowitzka, 1999).

Ese tipo de cultivo es usado actualmente para la producción comercial del alga *Cryptocodinium cohnii*, para producción de ácidos grasos ricos en omega 3 (Martek, 2010) y de *Chlorella* en Japón.<sup>13</sup>

**2.2.8 Chlorella Vulgaris**

Es un alga unicelular de color verde, de forma esférica, con un diámetro que es entre 100 y 1.000 veces menor a 1 mm. El color verde lo obtiene

---

<sup>13</sup> AST Ingeniería S.L. (2013). Aplicación de las Microalgas: Estado de la técnica. 2016, de AST Ingeniería S.L Sitio web: <http://www.ast-ingenieria.com/guia-malgas-1>

de los cloroplastos, que son las estructuras encargadas de realizar la **fotosíntesis**. Esta característica le da nombre *Chlorella* al género, que significa pequeño verde.

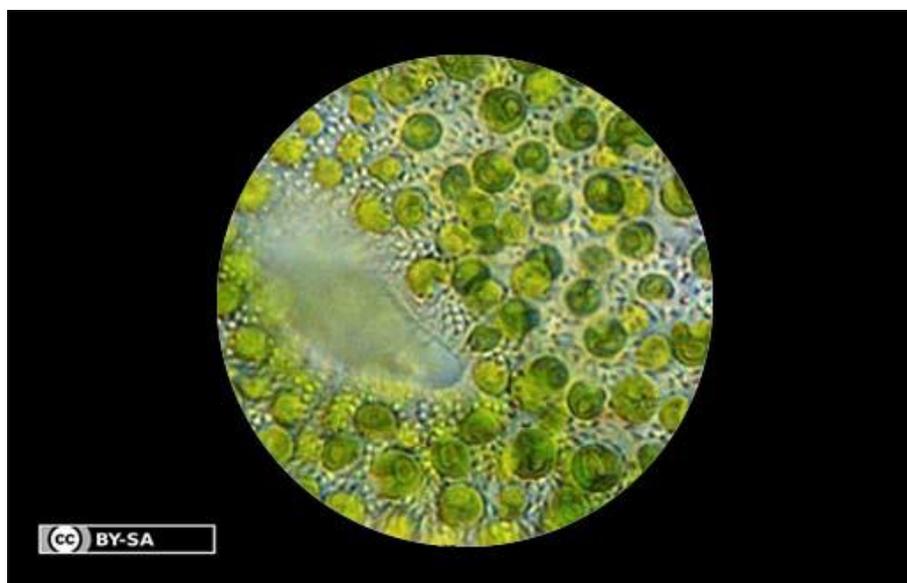
**Clasificación:**

*Orden: Chlorococcales;*

*Familia: Oocytaceae ;*

*Género: Chlorella*

**Ilustración 5 Imagen microscópica de Chlorella vulgaris**



- Habita en ríos, arroyos de agua dulce y suelos encharcados.
- Gracias a la **fotosíntesis**, que es el proceso por el que adquiere carbono de la atmósfera (como elemento vital para su crecimiento y desarrollo) forma parte de la base de la cadena alimenticia.
- Se reproduce muy rápidamente y de forma asexual. Para eso precisa el carbono que obtiene de la **fotosíntesis**, agua, luz y pequeñas cantidades de minerales. Debido a su rápido crecimiento, se estudia la posibilidad de que sea utilizada para producir biodiesel.
- Contiene grandes cantidades de proteínas, vitamina C, betacaroteno y vitaminas B (B1, B2, B6 y B12). Es utilizada para fabricar

suplementos alimenticios, productos cosméticos contra el envejecimiento, para estimular el sistema inmune y para la desintoxicación de **metales pesados**.<sup>14</sup>

### **Descripción**

"Chlorella vulgaris" es un alga verde unicelular. Se estima que "C. vulgaris" ha estado en la Tierra durante más de 2,5 mil millones de años. Durante ese tiempo, ha tenido que evolucionar para sobrevivir, lo que resulta en muchas de las funciones útiles que usamos hoy y en el futuro (Liebke). La mayor parte de las características importantes es su capacidad para crecer rápidamente. La práctica común implica normalmente una población en aumento en fotobioreactores (Sacasa 2013). Estas cámaras se agitan constantemente y se utilizan para controlar ciertos aspectos del metabolismo de "C. vulgaris".

VARIABLES tales como el medio, la carbonatación, y la luz, han sido investigados en gran medida para entender el mejor medio para un crecimiento óptimo. Varios usos de "C. vulgaris" han sido investigados. En primer lugar, debido a sus altos niveles de proteína y minerales, se utiliza en vitaminas e incluso ha pensado a ser un alimento viable cuando se deshidrata (Belasco 1997). Tiene efectos poderosos de impulsar la salud humana (Liebke). En segundo lugar, muchas algas producen lípidos a través de la fotosíntesis. "C. vulgaris" tiene un contenido de lípidos por biomasa es aproximadamente el 42%. Esto es más que la soja, caña de azúcar y maíz; lo que lo convierte en una alternativa viable para el biodiesel (Yujie 2011). Con la tecnología actual, que puede coincidir con el precio del petróleo de \$ 63,97 por barril. Esto no es

---

<sup>14</sup> Chlorella vulgaris, Clasificación y características principales. Biblioteca Plan Ceibal. Sitio Web: [http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas\\_educativas/\\_pdf/ciencias-naturales/reino-protista/002-chlorella-vulgaris.pdf](http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/_pdf/ciencias-naturales/reino-protista/002-chlorella-vulgaris.pdf)

ni siquiera mencionar el potencial de hacer dinero de vuelta a través del tratamiento de aguas residuales (Yujie 2011)

El agua residual es tratada incluso en la producción textil. La investigación muestra que "C. vulgaris" reduce el tinte de color un 41,8%, de amonio en un 44%, de fosfato en un 33%, y el dióxido de carbono por 33-62% (Lim 2010) capacidad "C. vulgaris" también ha sido considerado para la reducción de las emisiones de la central eléctrica.

La Estructura de la pared celular es única para "C. vulgaris" comparada con las algas verdes más relacionadas.

Posee una pared celular de enzima digerible que es a diferencia de otras algas verdes. C. vulgaris es algo versátil, con la fijación de carbono. "C. vulgaris" es fotolito autótrofa.

C. vulgar es similar a la mayoría fotoautótrofas porque la luz es absorbida a través del cloroplasto. Las algas verdes y luego fijas el CO<sub>2</sub> en ácidos grasos dentro de la célula.

La presencia de hidratos de carbono provoca la formación de ácidos grasos intercelulares tener largas cadenas. En situaciones con poco o nada de carbohidratos, esta alga verde forma ácido linolénico. Similar a la mayoría de algas verdes y rojas.<sup>15</sup>

### **Chlorella vulgaris y los metales pesados**

El estudio científico de las microalgas comenzó en 1890, cuando el microbiólogo holandés Biejelinçk estableció cultivos puros de una microalga de agua dulce *Chlorella vulgaris*. Más tarde en 1919, se obtuvieron cultivos densos de *Chlorella sp.* en el laboratorio y se introdujo la idea de utilizar estos cultivos como una herramienta de trabajo en el estudio de la fotosíntesis. La cantidad de nutrientes que contienen las aguas residuales favorecen el crecimiento de

---

<sup>15</sup> Descripción de C.vulgaris : David Wells de Microbe Wiki Sitio web: [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Chlorella\\_vulgaris](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Chlorella_vulgaris)

microalgas, esto permitió que en 1940 se estudiara la posibilidad de usar microalgas para purificar aguas residuales. Así también, Oswald (1957) comenzó a utilizar el concepto de producción masiva de microalgas para el tratamiento de aguas residuales. Los desarrollos tecnológicos para la producción masiva de microalgas han sido significativos en todo el mundo, ya que esto ha permitido que se utilicen en la remoción de desechos de aguas residuales, tales como nutrientes y metales, entre otros.

*Chlorella vulgaris* es una Chlorophyta de forma esférica, unicelular, eucariota y presenta clorofila a y b. Se puede encontrar en medios marinos y de agua dulce, debido a que su pared celular se encuentra compuesta por una mezcla compleja de azúcares, glucosamina, proteínas y ácido úrico. Esta microalga es capaz de incorporar grandes cantidades de metales (Cr<sup>+2,+3,+6</sup>, Fe<sup>+2,+3</sup>, Cu<sup>+1,+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Pb<sup>+2,+4</sup> y Hg<sup>+1,+2</sup>) por medio de absorción y acumulación (Graham y Wilcox, 2000).

La biorremediación de metales pesados se lleva a cabo a través de biotransformación, bioacumulación, biosorción y biovolatilización (Means & Hinchee 1994, Saqid et al. 2013). La bioacumulación de metales pesados se define como la acumulación intracelular de sorbato, que se produce en dos etapas: la primera es idéntica a la biosorción que es rápida y la posterior, más lenta con transporte de sorbato en el interior de las células por un sistema de transporte activo (Chojnacka 2010).

Las microalgas son consideradas con gran potencial de uso en la remoción de nutrientes (e.g. metales traza) por su alta capacidad de acumulación de metales, además de que presentan sensibilidad ante diversos materiales de prueba, sus requerimientos nutricionales son conocidos, poseen una alta tasa de crecimiento que permite conocer en pocos días la densidad y el efecto causado por el agente tóxico y su manipulación es relativamente sencilla en laboratorio (Cañizares-Villanueva y Casas-Campillo, 1991). Las microalgas

son muy sensitivas a la toxicidad de los metales y algunas especies son utilizadas como sensores biológicos para detectar efectos tóxicos potenciales de metales pesados. Los efectos tóxicos en microalgas pueden ser causados por diversos mecanismos:

- a) Bloqueo de grupos funcionales de moléculas biológicamente importantes como enzimas en el sistema de transporte de nutrientes esenciales y de iones,
- b) Desplazo o sustitución de iones metálicos esenciales de biomoléculas y unidades funcionales celulares.

Lo anterior puede resultar en modificación e inactivación de enzimas o disrupción de la integridad de la membrana celular (Kaplan, 2005). El proceso de biosorción de metales por microalgas es generalmente un proceso de dos fases que implican una adsorción extracelular (e.g. polisacáridos y mucílago), además de componentes celulares (e.g. grupos carboxy e hidroxí y sulfatos). Este proceso no metabólico y rápido que ocurre en células vivas y no vivas, depende de parámetros como: el pH, especies químicas del metal, tipo de alga y la concentración de biomasa. La segunda fase de absorción es la acumulación dentro de la célula, este es un proceso lento que implica transporte activo a través de la membrana y proteínas de unión en sitios intracelulares. Este proceso es dependiente del metabolismo y es inhibido por bajas temperaturas, ausencia de aporte de energía y sólo ocurre en células vivas (Kaplan, 2005).

Dentro de los artículos consultados las microalgas con propiedades remediadoras de metales son: *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella miniata*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella sorokiniana*. Las cuales se destacan por su eficiencia en la eliminación de metales pesados de las aguas residuales ya que poseen gran área superficial y alta afinidad de unión. (Chong, 2000)

Las algas verdes, Chlorophytas, poseen un componente fibrilar de celulosa y una matriz amorfa compuesta de polisacáridos como, galactosa, ribosa, xilosa, ácido glucurónico, que pueden ser sulfonados. Las proteínas representan 10 al 70% del peso seco de la pared celular. Ofrece grupos funcionales como hidroxilos, carboxilos, sulfhidrilos, aminos, iminas, amidas, imidazolas. (Davis y col., 2003)

Las algas despiertan un especial interés en la investigación y desarrollo de nuevos materiales biosorbentes, debido no solamente a su alta capacidad de adsorción sino también a que se encuentran presentes en mares y océanos en cantidades abundantes y de fácil acceso (Kuyicak y Volesky, 1990; Rincon y col., 2005).

Los metales pesados que penetran en las células de las algas eventualmente compiten por los sitios que ligan a las proteínas, las enzimas activas y varios grupos biorreactivos, interrumpiendo procesos metabólicos de rutina (Visviki y Rashin 1991).

*Chlorella vulgaris* es una Chlorophyta de forma esférica, unicelular, eucariota y presenta clorofila a y b. Se puede encontrar en medios marinos y de agua dulce, debido a que su pared celular se encuentra compuesta por una mezcla compleja de azúcares, glucosamina, proteínas y ácido úrico. Esta microalga es capaz de incorporar grandes cantidades de metales ( $\text{Cr}^{+2,+3,+6}$ ,  $\text{Fe}^{+2,+3}$ ,  $\text{Cu}^{+1,+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2,+4}$  y  $\text{Hg}^{+1,+2}$ ) por medio de absorción y acumulación (Graham y Wilcox, 2000).

Las microalgas son consideradas con gran potencial de uso en la remoción de nutrientes (e.g. metales traza) por su alta capacidad de acumulación de metales, además de que presenta sensibilidad ante diversos materiales de prueba, sus requerimientos nutricionales son conocidos, poseen una alta tasa de crecimiento que permite conocer en pocos días la densidad y el efecto causado

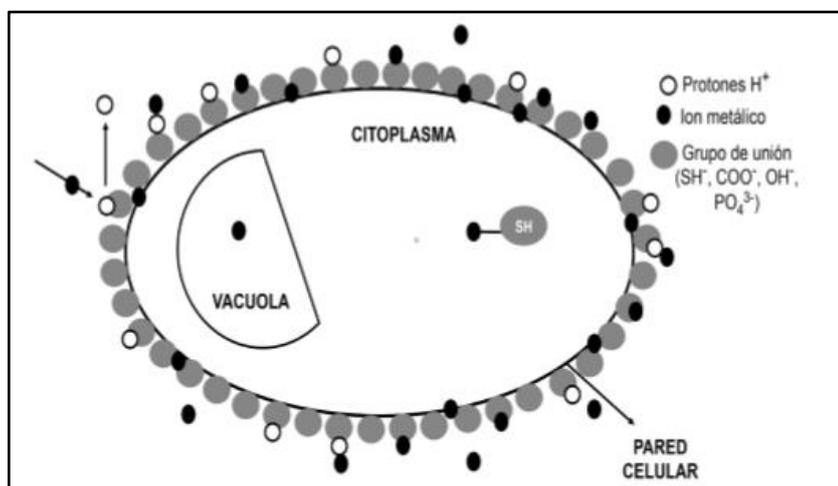
por el agente tóxico y su manipulación es relativamente sencilla en laboratorio (Cañizares-Villanueva y Casas-Campillo, 1991).

El proceso de bioabsorción de metales por microalgas es generalmente un proceso de dos fases que implican una adsorción extracelular (e.g. polisacáridos y mucílago), además de componentes celulares (e.g. grupos carboxy e hidroxilo y sulfatos). Este proceso no metabólico y rápido que ocurre en células vivas y no vivas, depende de parámetros como: el pH, especies químicas del metal, tipo de alga y la concentración de biomasa. La segunda fase de absorción es la acumulación dentro de la célula, este es un proceso lento que implica transporte activo a través de la membrana y proteínas de unión en sitios intracelulares. Este proceso es dependiente del metabolismo y es inhibido por bajas temperaturas, ausencia de aporte de energía y sólo ocurre en células vivas (Kaplan, 2005).

Es sabido que la captación (adsorción y absorción) de iones metálicos a través de la superficie de las microalgas se da por enlaces covalentes a través de grupos amino, carbonilo, carboxilo y sulfato (Perales-Vela et al., 2006). De igual forma, anteriormente ya se tenía conocimiento de que polisacáridos y proteínas presentes en las paredes celulares eran los principales responsables en el transporte de iones metálicos hacia el interior de la célula (Crist et al., 1981; Trevors et al., 1986).

Una disminución de la absorción de metales por las microalgas se ha observado con frecuencia a un pH extremadamente ácido.

**Ilustración 6 Mecanismo y diferentes grupos funcionales que participan en la biosorción de iones metálicos en microalgas (SH-, COO-, PO4<sup>3-</sup>, etc.)**



Fuente: Zeraatkar et al., 2016.

**Procedimiento de Asimilación de Nitratos por *Chlorella vulgaris***

N  
:



**Nitrato a Nitrito**

La NR – NADPH está presente en las plantas superiores y en algas, las formas NAD(P)H se encuentran en algas, hongos y plantas superiores y la forma específica de NADPH se encuentra en hongos.

La nitrato reductasa cataliza el primer paso de la asimilación del nitrato en todos estos organismos, el cual parece ser el proceso que limita la adquisición de N en la mayoría de los casos, siendo esta enzima regulada por el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y la luz entre otros factores.

La enzima NR es un homodímero compuesto de 2 subunidades idénticas de 100 kDa aproximadamente cada una, conteniendo

cada subunidad tres grupos prostéticos: un equivalente de FAD (flavina adenina dinucleótido), hemo-Fe y un complejo de Molibdeno (Mo) . El molibdeno está unido a la enzima por un complejo orgánico llamado pterina formando el Mo-molibdoterina (Mo-MPT). En consecuencia, la enzima contiene tres cofactores internos: FAD, hemo y MPT y dos iones metálicos: Fe y Mo en cada subunidad (Figura 5). Durante el recambio catalítico el FAD, el Fe y el Mo son cíclicamente reducidos y oxidados, de manera que la NR existe en formas reducidas y oxidadas.

### **Nitrito a Amonio**



La nitrito reductasa es una proteína simple de 63 Kda y contiene dos grupos prostéticos, un complejo de Fe-S (Fe4S4) y un grupo hemo especializado. Experimentos cinéticos sugieren que el par Fe4S4-hemo de la enzima se unen al nitrito y lo reducen directamente a amonio.

### **Amonio para formar Aminoácidos**

Empieza por las siguientes formulas:

- Glutamina Sintetasa



- Glutamato Sintetasa



## **2.3 MARCO LEGAL**

### **LEY N° 28611.- LEY GENERAL DEL AMBIENTE**

#### **“Artículo 31°. - Del Estándar de Calidad Ambiental.**

**31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA** es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (...).”

**“Artículo 121°. - Del vertimiento de aguas residuales.** El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.”

#### **Artículo 122°. - Del tratamiento de residuos líquidos.**

**122.1 Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento** la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales.

**122.2 El sector Vivienda, Construcción y Saneamiento** es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de LMP en los residuos líquidos domésticos, en coordinación con las autoridades sectoriales que ejercen funciones relacionadas con la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

**122.3 Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas,** son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad

con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.”

### **MARCO LEGAL LEY N° 29338, LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Artículo 82°.- Reutilización de agua residual** La Autoridad Nacional, autoriza el reuso del agua residual tratada, con opinión del Consejo de Cuenca, .... El titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización.

### **D.S. N° 001-2010-AG, REGLAMENTO DE LA LEY DE RECURSOS HÍDRICOS TÍTULO V; CAPÍTULO VII: REUSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS**

**Artículo 147°.-** Reuso de agua residual

**Artículo 148°.-** Autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

**Artículo 149°.-** Procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

**Artículo 150°.-** Criterios para evaluar la calidad del agua para reuso

**Artículo 151°.-** Plazo de vigencia de las autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

**Artículo 152°.-** Del control del reuso de las aguas residuales tratadas

### **D.S. N° 001-2010-AG, REGLAMENTO DE LA LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Artículo 148°.- Autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas** Podrá autorizarse el reuso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación: a. Sean sometidos a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, b. Cuenten con la certificación ambiental otorgada por la

autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reuso de las aguas. c. En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

**D.S. N° 001-2010-AG, REGLAMENTO DE LA LEY DE RECURSOS HÍDRICOS Artículo 149°.-** Procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

149.1. La Autoridad Nacional del Agua establece los requisitos y aprueba el procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reuso ...

149.2. El titular de un derecho de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgado su derecho. Para actividades distintas requiere autorización ...

149.3. Se podrá autorizar el reuso de aguas residuales tratadas a una persona distinta al titular del sistema de tratamiento, para este caso el solicitante presentará la conformidad de interconexión de la infraestructura para el reuso otorgado por el citado titular, además de los requisitos ...

**D.S. N° 001-2010-AG, REGLAMENTO DE LA LEY DE RECURSOS HÍDRICOS Artículo 150°.-** Criterios para evaluar la calidad del agua para reuso **Las solicitudes de autorización de reuso de aguas residuales tratadas** serán evaluadas tomándose en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reuso del agua o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud.

#### **LEY N° 27972 - LEY ORGÁNICA DE MUNICIPALIDADES**

**“Artículo 80°. - Saneamiento, Salubridad y Salud.** Las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones:

1. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:

1.1. Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. (...)

2. Funciones específicas compartidas de las municipalidades provinciales:

2.1. Administrar y reglamentar directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando por economías de escala resulte eficiente centralizar provincialmente el servicio. (...)

2.3. Proveer los servicios de saneamiento rural cuando éstos no puedan ser atendidos por las municipalidades distritales o las de los centros poblados rurales, y coordinar con ellas para la realización de campañas de control de epidemias y sanidad animal.

2.4. Difundir programas de saneamiento ambiental en coordinación con las municipalidades distritales y los organismos regionales y nacionales pertinentes. (...)

4. Funciones específicas compartidas de las municipalidades distritales:

4.1 Administrar y reglamentar, directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando esté en capacidad de hacerlo.

4.2. Proveer los servicios de saneamiento rural y coordinar con las municipalidades de centros poblados para la realización de campañas de control de epidemias y control de sanidad animal. (...)

#### **DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM - DECRETO SUPREMO QUE APRUEBA LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES**

“**Artículo 1°.** - Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.”

“**Artículo 2°.** - Definiciones Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos: - Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales. - Límite Máximo

Permisible (LMP). - Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. - Protocolo de Monitoreo. - Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.”

“**Artículo 3°.** - Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos 29 (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.”

**“Artículo 4° . - Programa de Monitoreo**

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.”

**“Artículo 5° . - Resultados de monitoreo**

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.”

**“Artículo 6° . - Fiscalización y Sanción** La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.”

**REGLAMENTO DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DE LA AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, APROBADO POR DECRETO SUPREMO N° 006-2010-AG**

“**Artículo 6°.** - Funciones de la Autoridad Nacional del Agua. Son funciones de la Autoridad Nacional del Agua: (...) f) Otorgar, modificar y extinguir previo estudio técnico, derechos de uso de agua, autorizaciones de vertimientos y de reúso de agua residual; aprobando cuando sea necesario la implementación, modificación y extinción de servidumbres de uso de agua. (...) h) Emitir opinión técnica vinculante para: aprobación de instrumentos de gestión ambiental que involucren las fuentes naturales de agua, otorgamiento de autorizaciones extracción de material de acarreo y respecto a la disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de viabilidad de los proyectos de infraestructura hidráulica. (...)”

“**Artículo 36°.** - Funciones de las Autoridades Administrativas del Agua. Las autoridades administrativas del agua ejercen en el ámbito de su competencia las funciones siguientes: (...) e) Otorgar autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas previa opinión de la autoridad ambiental sectorial competente, la que se expresa con la certificación ambiental correspondiente. (...)”

**REGLAMENTO PARA EL OTORGAMIENTO DE AUTORIZACIONES DE VERTIMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS, APROBADO POR RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 224-2013-ANA**

“**Anexo 1.** Glosario de Términos. (...)”

1.9 Aguas residuales industriales: Aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. (...)”

**DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias**

## 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Agente contaminante:** toda aquella sustancia cuya incorporación a un cuerpo de agua conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de este.

**Aguas negras:** son las aguas provenientes del servicio sanitario.

**Aguas residuales:** Son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no deben desecharse vertiéndolas sin tratamiento: en lagos, ríos u otros depósitos, que vienen a ser el **Cuerpo receptor** de estas aguas.

**Análisis microbiológico de las aguas residuales:** Determinaciones básicas de los microorganismos totales, coliformes totales y coliformes fecales.

**Biorreactor:** es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo.

**Caudal:** volumen de agua por unidad de tiempo.

**Contaminación:** es un término general que significa la introducción al agua de microorganismos, que hacen el agua impropia al consumo humano, generalmente se considera que implica la presencia o posible presencia de bacterias patógenas.

**Cuerpo receptor:** es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, tubería, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales.

**Demanda biológica de oxígeno (dbo) :** La DBO se define como la cantidad de oxígeno usada por la materia orgánica en la estabilización del agua residual o servida en un período de 5 días a 20° C

**Densidad poblacional:** es el número de habitantes por unidad de superficie hab/Ha.

**Disposición final:** es el punto de descarga final del agua que ha sido tratada anteriormente.

**Floculación** es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado

**Fotosíntesis:** Es el proceso a través del cual las plantas, las algas y algunas bacterias fabrican su alimento a partir de la energía de la luz del sol, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua. En proceso se convierte la energía luminosa en energía química y, finalmente, se transforma materia inorgánica en orgánica, con la que se nutren los organismos fotosintéticos.

**Influente del sistema de tratamiento:** Se refiere al caudal que ingresa a la primera unidad de tratamiento.

**Metales pesados:** Grupo de elementos químicos que presentan densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano.

**Muestra simple:** es aquella muestra tomada en forma única y aislada para determinar la calidad del agua en un momento dado.

**Límites máximos permisibles:** Son los estándares oficiales de contaminantes cuyo límite no deben sobrepasar las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores. Si pese al tratamiento de estos elementos se sobrepasan los límites establecidos, habrá contaminación

**Reuso de aguas residuales tratadas:** Es cuando al agua residual tratada se tiene la intención de utilizarla, siendo los criterios de calidad más importantes los relacionados con la salud pública (remoción de coliformes fecales y de huevos de helmintos) y las necesidades de los agricultores (volumen de sólidos

suspendidos y nutrientes como nitrógeno y fósforo ya que incrementan la fertilidad del suelo y disminuyen la necesidad de aplicar fertilizante).

**Sistema de tratamiento:** conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y/o biológicos, cuya finalidad es depurar la calidad del agua residual a la que se aplican.

**Sedimentación:** es el proceso en donde los floculo se trasladan a un tanque, donde por su propio peso se precipitan.

**Sedimentación:** es el proceso en donde los floculo se trasladan a un tanque, donde por su propio peso se precipitan.

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 Hipótesis General**

La aplicación de un sistema de tratamiento con *Chlorella vulgaris* influirá en la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica.

##### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

###### **A. Primera Hipótesis Específica**

La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia de nitratos y metales pesados.

###### **B. Segunda Hipótesis Específica**

La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia de coliformes fecales.

###### **C. Tercera Hipótesis Específica**

La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia de materia orgánica en el suelo.

## 3.2 VARIABLES

### 3.2.1 Definición conceptual de la variable

*Tabla 3 Definición conceptual de las variables*

<b>Variable Independiente</b>	<b>Variable Dependiente</b>
Sistema de Tratamiento con <i>Chlorella vulgaris</i>	Aguas residuales
Es una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua.	Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).

### 3.2.2 Operacionalización de la variable

**Tabla 4 Operacionalización de variables**

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>
Sistema de Tratamiento con <i>Chlorella vulgaris</i>	<p><math>X_1</math>: Parámetros de nitratos y metales pesados debajo de los ECA</p> <p><math>X_2</math>: Parámetro de coliformes termotolerantes debajo de los</p>	<p><math>x_1</math>: Niveles bajos de nitratos y metales pesados</p> <p><math>x_2</math>: Niveles bajos de coliformes termotolerantes</p> <p><math>x_3</math>: Nivel de M.O adecuado</p>

	<p>ECA</p> <p><math>X_3</math>: Coloración marros oscuro</p>	
Aguas residuales	<p><math>Y_1</math>: Parámetros de nitratos y metales pesados por encima de los ECA</p> <p><math>Y_2</math>: Parámetro de coliformes termotolerantes por encima de los ECA</p> <p><math>Y_3</math>: Coloración clara</p>	<p><math>y_1</math>: Niveles altos de nitratos y metales pesados</p> <p><math>y_2</math>: Niveles altos de coliformes termotolerantes</p> <p><math>y_3</math>: Suelos con nivel bajo de M.O</p>

## **CAPÍTULO IV**

# **DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

## 4.1 TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1.1 Tipo de Investigación

El trabajo de investigación de acuerdo a su finalidad, es de tipo **aplicada**, porque haciendo uso de las teorías existentes sobre las variables contenidas en el presente trabajo se plantea el diseño y la aplicación de un Sistema de descontaminación para las aguas de la laguna de Cachiche en a la ciudad de Ica.

Es de tipo **experimental** porque se usa el método científico de experimentación, se realiza el trabajo en base a comprobación empírica y de medición.

### 4.1.2 Nivel de la Investigación

Según su nivel de profundidad adopta un nivel **Descriptivo** porque se detalla las partes del sistema planteado.

Es **aplicativa** porque mediante la aplicación del sistema planteado se busca mejorar la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica.

### 4.1.3 Diseño de la Investigación

En concordancia con la naturaleza y los objetivos del proyecto de investigación, el diseño para el control de las variables que se ha

seleccionado es el diseño Experimental – Cuasi experimental – De muestras separadas

$O_1$	$X_1$	$O_2$
$O_1$	$X_2$	$O_3$
$O_1$	$X_3$	$O_4$

$O_1$  = Toma de muestra de agua en la laguna de oxidación de Cachiche

$O_2$  = Toma de muestra del agua tratada

$O_3$  = Toma de muestra del agua tratada

$O_4$  = Toma de muestra del agua tratada

$X_1$  = Tratamiento con 5% de concentración de *Chlorella vulgaris*

$X_2$  = Tratamiento con 10% de concentración de *Chlorella vulgaris*

$X_3$  = Tratamiento con 20% de concentración de *Chlorella vulgaris*

## 4.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la naturaleza de la investigación se escogió el método **Científico Experimental** porque Sigue los pasos de observación, búsqueda de información, hipótesis, experimentación, análisis de resultados y conclusiones.

## 4.3 COBERTURA DEL ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.3.1 Universo de la Investigación

Aguas Residuales del Distrito de Ica

### 4.3.2 Población de la Investigación

Personas que generen aguas residuales domesticas

### 4.3.3 Muestra de la Investigación

Aguas Residuales que llegan a la laguna de Oxidación de Cachiche

#### **4.4 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **4.4.1 Técnicas de la Investigación**

Pruebas de Campo

Técnicas de Muestreo

##### **4.4.2 Instrumentos de la Investigación**

Diario de campo

Análisis de Laboratorio

##### **4.4.3 Fuentes de Recolección de Datos**

Resultados de los Análisis de laboratorio

Tesis que han realizado investigaciones similares

Libros de microbiología y microalgas

Internet

## **CAPÍTULO V**

# **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## **5 ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1 Área de Trabajo**

En la visita de campo se observó que la capacidad de agua residual en las lagunas esta al máximo y los lodos se acumulan en las orillas generando malos olores.

Es por ello que se propone otra alternativa para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Ica, que involucra no solo el tratamiento de las mismas sino también el aprovechamiento de los lodos activados generados como residuo a fin de no tener impactos negativos en el ambiente.

La muestra de suelo usada en este trabajo con el abono orgánico a partir de lodos activados, se encuentra ubicada al lado de la laguna de oxidación de Cachiche.

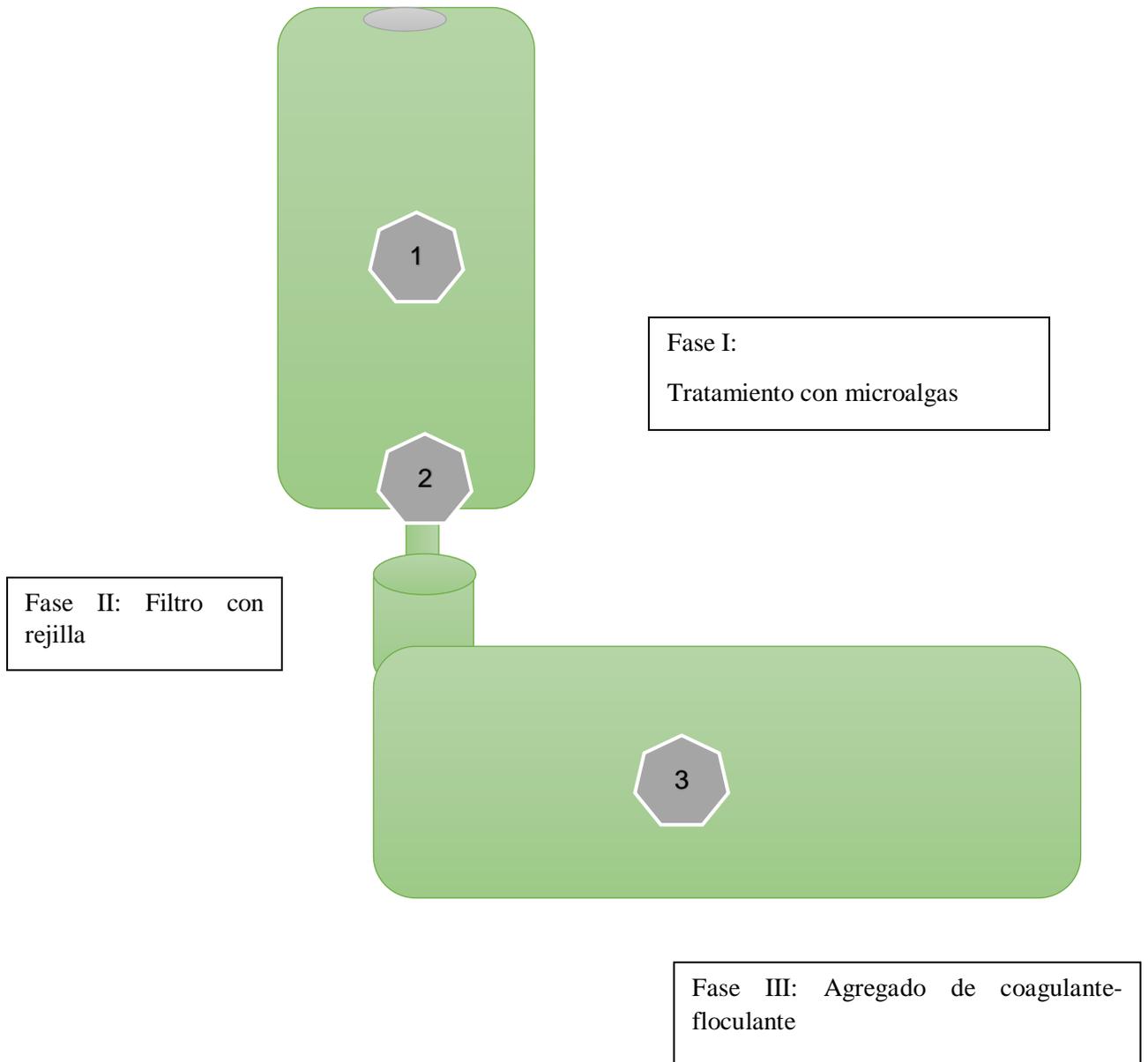
La alternativa escogida no busca reemplazar a las lagunas de oxidación, sino que está dirigida a aquellas zonas que no dan un tratamiento adecuado a sus aguas residuales.

**Ilustración 7 Laguna de Oxidación de Cachiche y Área con el suelo a tratar**

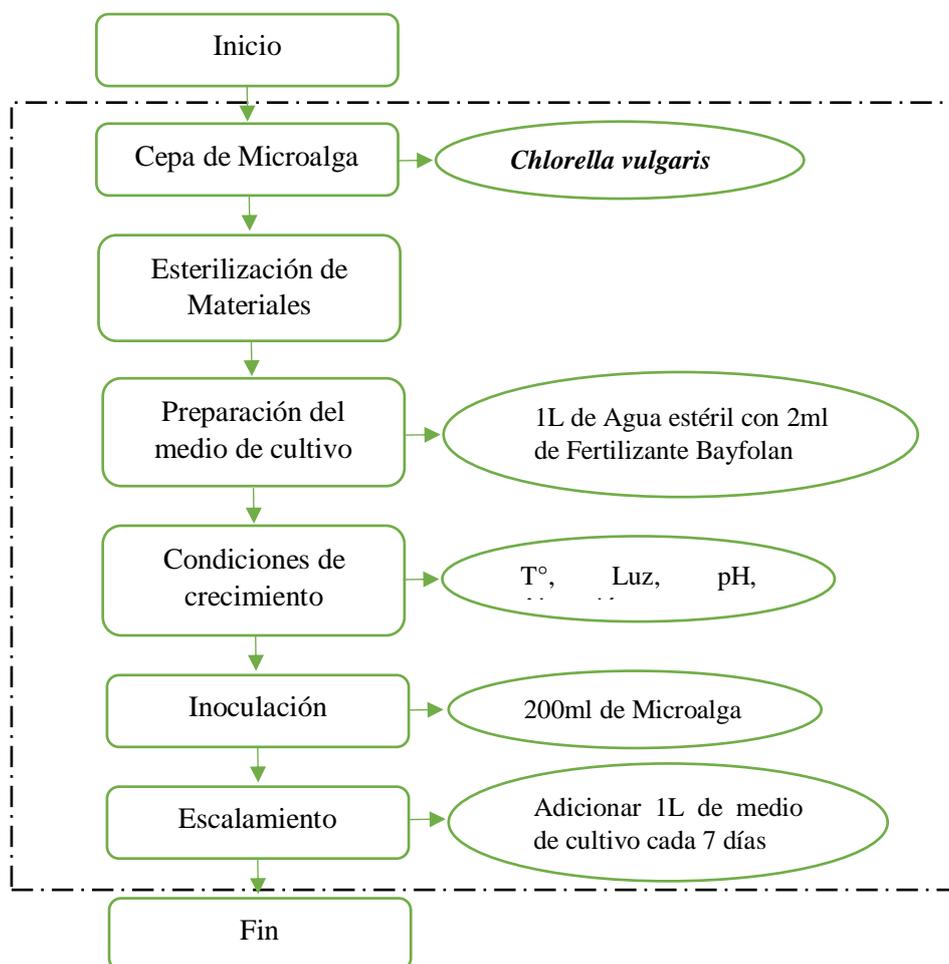
Fuente: Google Earth

## 5.2 SISTEMA PROPUESTO

### 5.2.1 Diseño del Sistema



**Figura 1 Diagrama de Proceso para el Cultivo de la Microalga**



Se obtuvieron 200mL de *Chlorella vulgaris* con una concentración de  $8.3 \times 10^6$  cel/ml procedente de la Universidad San Agustín de Arequipa, Perú.

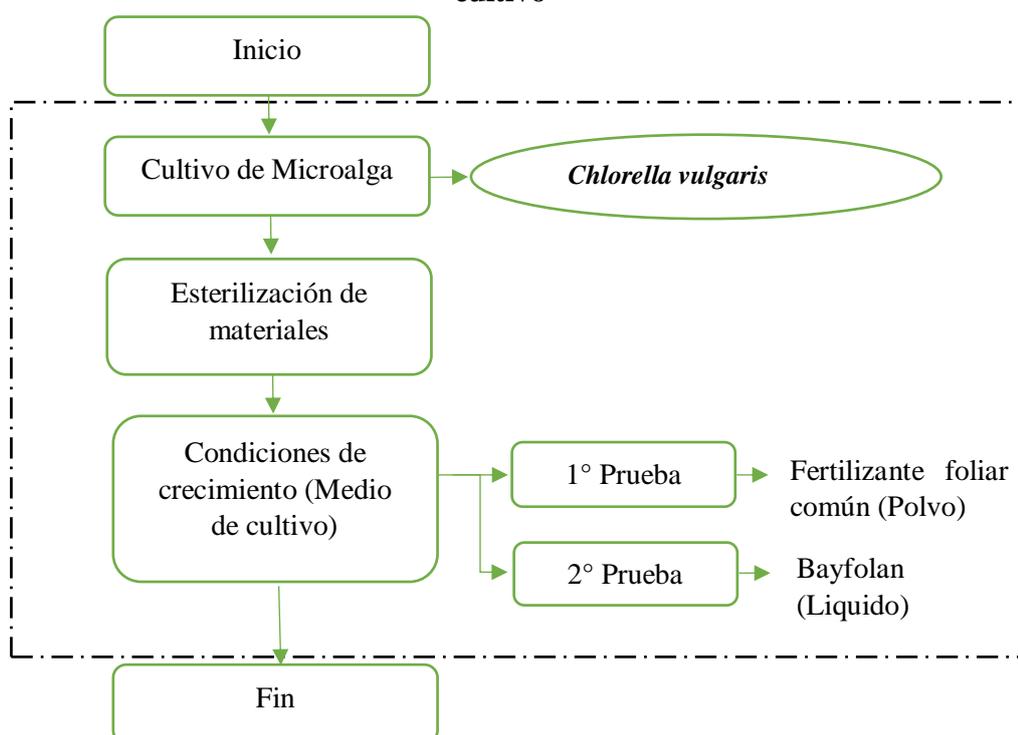
Para el cultivo de la microalga se utilizaron Botellas de Agua mineral de 3L y 8L, lavadas con alcohol de 96° y agua estéril. Las botellas fueron conectadas a un aireador de acuario, se hizo un agujero en la tapa de la botella y se introdujo la manguera por donde pasaría el aire. Finalmente se cubrió con algodón, gasas y se selló con esparadrapo.

**Tabla 5 Especificaciones del aireador**

Voltage/ Frequency	220 V/ 50 Hz
Power	2 W
Air Output	3 L/Min
Air Flow Adjuster	Hi-Lo Switch
Air Outlet(S)	1 Outlet

Se trabajó con la temperatura ambiental de la ciudad de Ica, por ser un clima cálido y seco cuenta con una temperatura media de 27°C en verano y 18°C en invierno. Teniendo en cuenta que las temperaturas pueden superar o disminuir con el cambio de estación se cultivó la microalga en los meses de Abril – Julio del 2016, Julio – Diciembre del 2017, Enero -Febrero del 2018. Se observó que a pesar de las temperaturas bajas que se dieron en el invierno del 2017 no altero el cultivo de *Chlorella vulgaris*, sin embargo, durante los meses de diciembre del 2017 a Febrero del 2018 la coloración verde oscuro del cultivo se dio en menor tiempo a comparación de los meses de invierno.

En el periodo Abril a Julio del 2016 se evaluaron las condiciones con las que se trabajaría para cultivar la microalga, factores importantes como el medio de cultivo, aireación, Luz y pH.

**Figura 2 Diagrama de Proceso para la determinación del medio de cultivo**

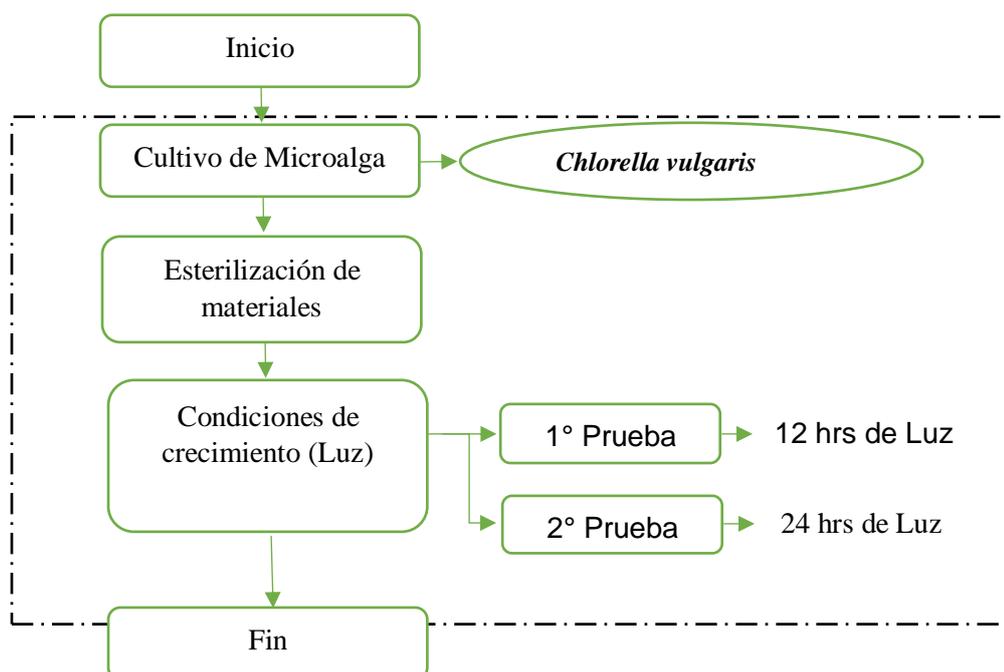
Para la determinación del medio de cultivo se usó un fertilizante foliar común cuya presentación es en polvo y su composición como cualquier otro fertilizante, en su mayoría contiene Nitrógeno, Fosforo, Potasio.

El Bayfolan es un abono foliar líquido cuya composición química es:

Elementos mayores	Elementos Menores
Nitrógeno Total Anhídrido Fosfórico Oxido de Potasio	Hierro, Manganeso, Boro, Cobre, Zinc, Molibdeno, Cobalto.
Además: Vitamina B1, Hormonas de crecimiento.	

En dos envases de 1L de la cepa de microalga con agua estéril cada uno se le agregó 1.5gr de fertilizante foliar en polvo y 2ml de Bayfolan respectivamente. Se continuó agregando la misma cantidad de nutrientes por 3 semanas. Al final del periodo de prueba se determinó usar el Bayfolan debido a que con el fertilizante foliar en polvo se dio un aumento de pH a 9 ocasionando la disminución de masa algal.

**Figura 3 Diagrama de Proceso para Determinar la necesidad de contar con luz las 24 horas.**



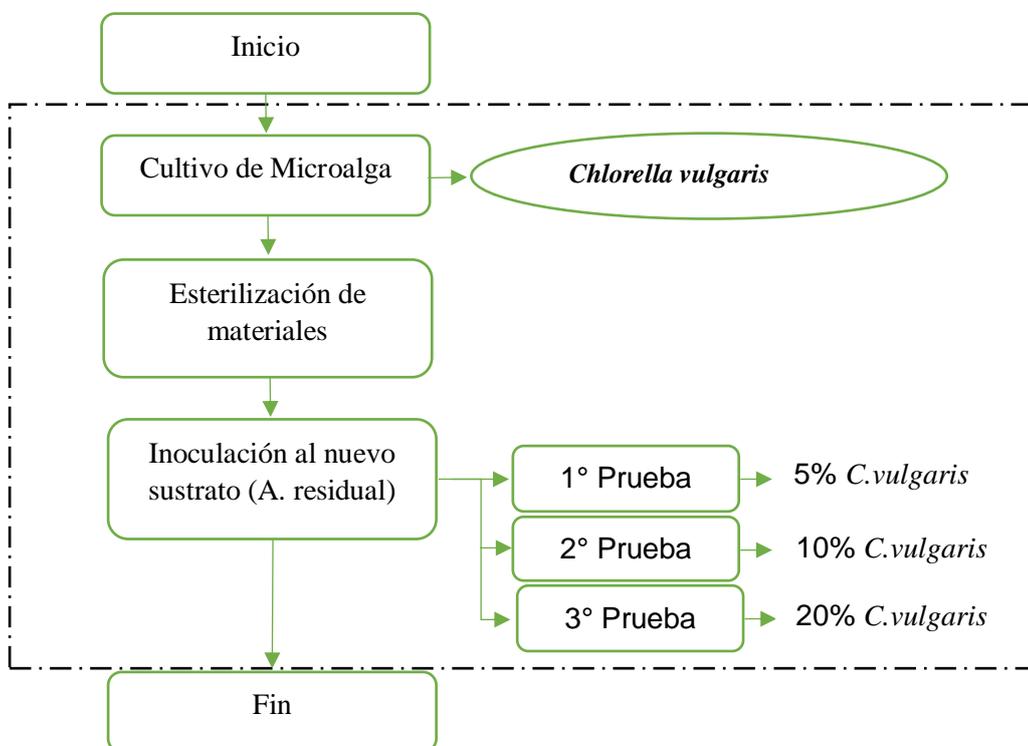
Otro de los aspectos fue determinar si era necesario contar con iluminación las 24 horas del día para el cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris*, para ello como en las pruebas anteriores se tomó 2L de cultivo de microalga, ya con el medio de cultivo (Bayfolan), se dividió la muestra en 2 envases con 1L cada uno y se expuso una muestra de cultivo a luz artificial desde las 6pm hasta las 6am usando lámparas con 3 focos leds. Y otra solo con la iluminación natural, ambas por un periodo de 2 semanas.

En los resultados no hubo variación significativa por lo que se descartó su uso.

La aireación, por otro lado, fue importante desde el inicio del cultivo. Cuando aumenta la concentración celular del cultivo, la aireación logra una dispersión efectiva de nutrientes, mejora la disponibilidad de la luz y ayuda a estabilizar el pH. Así mismo Mantiene las microalgas en suspensión evitando su precipitación y muerte celular.

El pH para el cultivo fue de 7 y era medido con cintas de pH.

**Figura 4 Diagrama de Proceso para determinar la adaptación al nuevo sustrato**



La determinación de la cantidad que se debía agregar a 1L de agua residual para que las microalgas puedan reproducirse y disminuir los contaminantes presentes se hizo mediante 03 pruebas en las cuales se tuvieron 03 botellas, previamente desinfectadas, con 95 ml, 90ml y 80 ml de agua residual en cada una a las que se agregaron 5ml, 10ml y 20ml de *Chlorella vulgaris* respectivamente.

**Tabla 6 Determinación de la concentración de *C.vulgaris* en Agua Residual**

P001	5%	Tiempo de 7 días
P002	10%	
P003	20%	

Luego de 03 días en el envase P003 se observó variaciones en la tonalidad de color, adquiriendo un verde amarillento lo que demostraba que las microalgas se adaptaban al nuevo medio al que fueron expuestas.

Por ello se determinó que a esa concentración se realizaría el tratamiento para las aguas residuales municipales del distrito de Ica.

### 5.3 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

#### 5.3.1 Primera Hipótesis

**Hipótesis alterna (Ha):** La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia Nitratos y metales pesados.

**Hipótesis nula (Ho):** La aplicación de un sistema de tratamiento con *Chlorella vulgaris* no influirá en la presencia de Nitratos y metales pesados.

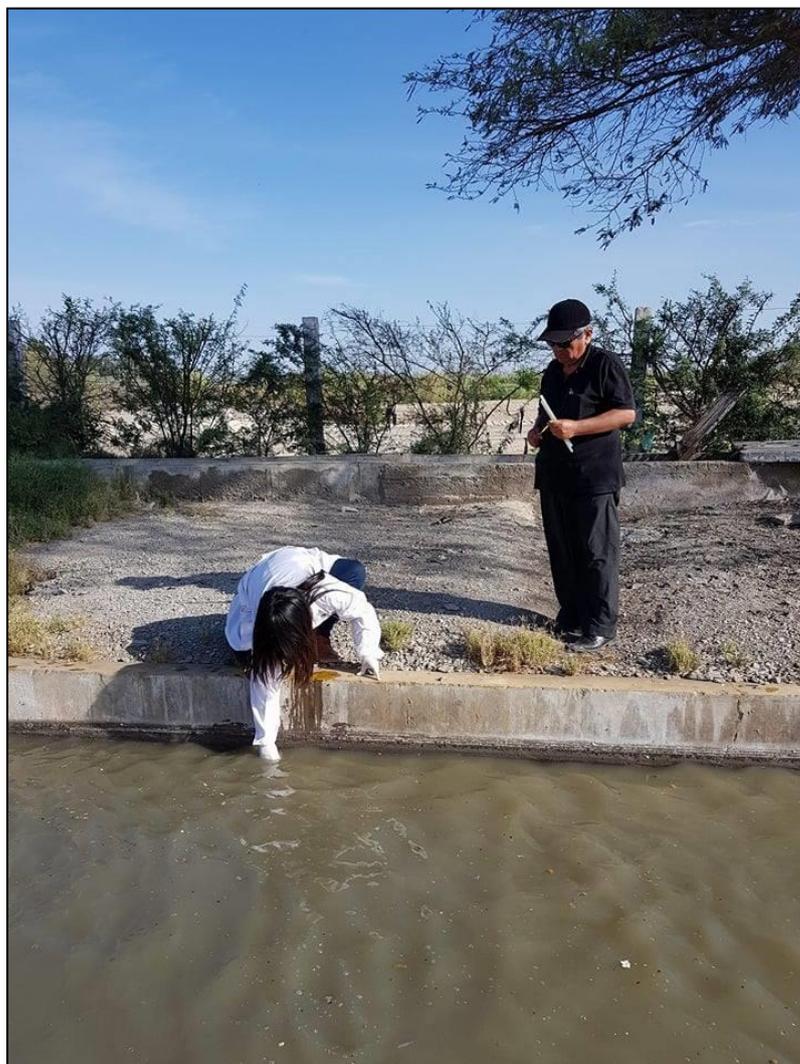
#### A. Toma de muestra para la investigación

Se extrajeron 03 Litros de las Aguas residuales del Distrito de Ica que llegan a la Laguna de Oxidación de Cachiche en un envase de plástico previamente desinfectado.

Adicionalmente para enviar las muestras a Analizar al laboratorio:

Parámetro a Analizar	Cantidad	Descripción
Nitratos	1L	01 envase de plástico, se mantuvo a 4°C por 12 horas
Metales Pesados	1L	02 envases de 500ml adicionando 1.5ml de Ácido Nítrico en cada envase.
Coliformes termotolerantes	1L	01 envase de vidrio con temperatura de 2°C.

**Ilustración 8 Toma de muestra de agua residual del distrito de Ica**



**Fuente: Propia**

**Tabla 7 Datos de la toma de muestra**

FECHA	29-10-2017
HORA	03:42 pm

**B. Tratamiento del Agua Residual con *Chlorella vulgaris***

La prueba de experimentación se realizó en el laboratorio de la Universidad Privada Alas Peruanas.

Materiales Usados:

- Vaso precipitado
- Embudo
- Agua Estéril
- Gasas
- Agua residual
- Cultivo de *Chlorella vulgaris*

**Ilustración 9 Materiales usados para el trabajo de laboratorio**

**Fuente: Propia**

**Procedimiento:**

Medir 2L de Agua residual con ayuda del vaso precipitado y agregar dentro de una botella previamente desinfectada usando el embudo, luego medir 400 ml de cultivo de microalga y agregar al envase.

El envase debe estar conectado al aireador y cerrado con gasa y esparadrapo.

Al tercer y séptimo día, extraer 500 ml y coagular con 0.5 gr de sulfato de aluminio.

**Ilustración 10 Tratamiento con Chlorella a los 3 días**

Fuente: propia

**Ilustración 11 0.5 gr de Sulfato de Aluminio**



**Fuente: Propia**

**Ilustración 12 Separación de la biomasa algal y el agua tratada**



**Fuente: Propia**

### C. Análisis de Laboratorio

Se enviaron las 03 muestras tomadas para realizar los análisis pertinentes a 03 diferentes laboratorios, 02 de ellos acreditados por INACAL.

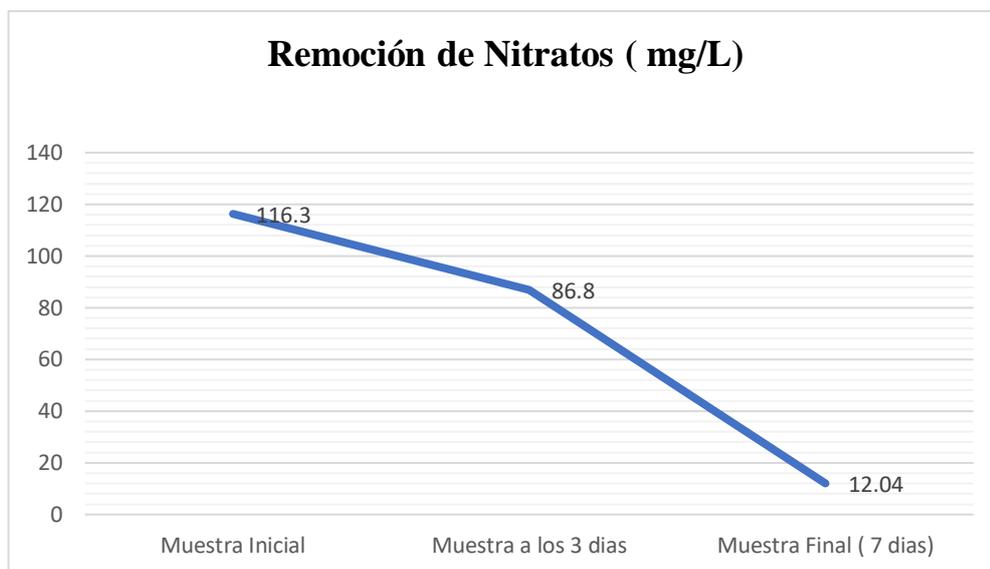
La determinación de pH se realizó en el laboratorio de la Universidad Alas Peruanas y el seguimiento se realizó en el lugar donde se realizaron las pruebas, en la Urb. San Miguel, Distrito de Ica.

### D. Resultados de Laboratorio

**Tabla 8 Resultado de Análisis de Nitrato y pH**

Parámetros	Valores			
	Muestra inicial	Muestra día 3	Muestra día 7	ECA'S Categoría 3: D1
Nitratos	116.3mg/L	86.8 mg/L	12.04 mg/L	100 mg/L
pH	8	7	7	----

Fuente: Propia

**Gráfico 1 Remoción de Nitratos**

Fuente: Propia

En el gráfico se muestra la disminución de nitratos debido al consumo de los mismos por la microalga *Chlorella vulgaris* en un periodo de 7 días, Obteniendo una disminución del 89.65%.

**Tabla 9 Remoción de Metales pesados considerados en los ECA's**

Parámetro	Unidades	Muestra Inicial	Muestra Final	ECA'S Categoría 3: D1
Aluminio	mg/L	2.134	3.69	5
Arsénico	mg/L	0.005	< 0.003	0.1
Bario	mg/L	0.087	0.041	0.7
Berilio	mg/L	< 0.002	< 0.002	0.1
Boro	mg/L	0.168	0.252	1
Cadmio	mg/L	0.001	< 0.0003	0.01
Cobre	mg/L	0.068	0.045	0.2
Cobalto	mg/L	< 0.002	0.003	0.05
Cromo	mg/L	0.005	0.003	0.05
Hierro	mg/L	1.526	0.113	0.1
Litio	mg/L	0.006	0.004	2.5
Magnesio	mg/L	15.447	9.798	**
Manganeso	mg/L	0.106	0.103	0.2
Mercurio	mg/L	0.008	0.005	0.001
Niquel	mg/L	0.004	< 0.002	0.2
Plomo	mg/L	0.016	0.007	0.05

Selenio	mg/L	0.011	0.006	0.02
Zinc	mg/L	0.196	0.071	2

#### Fuente Propia

Para determinar el porcentaje de remoción se usó la siguiente fórmula:

$$E = (S_0 - S) / S_0 \times 100$$

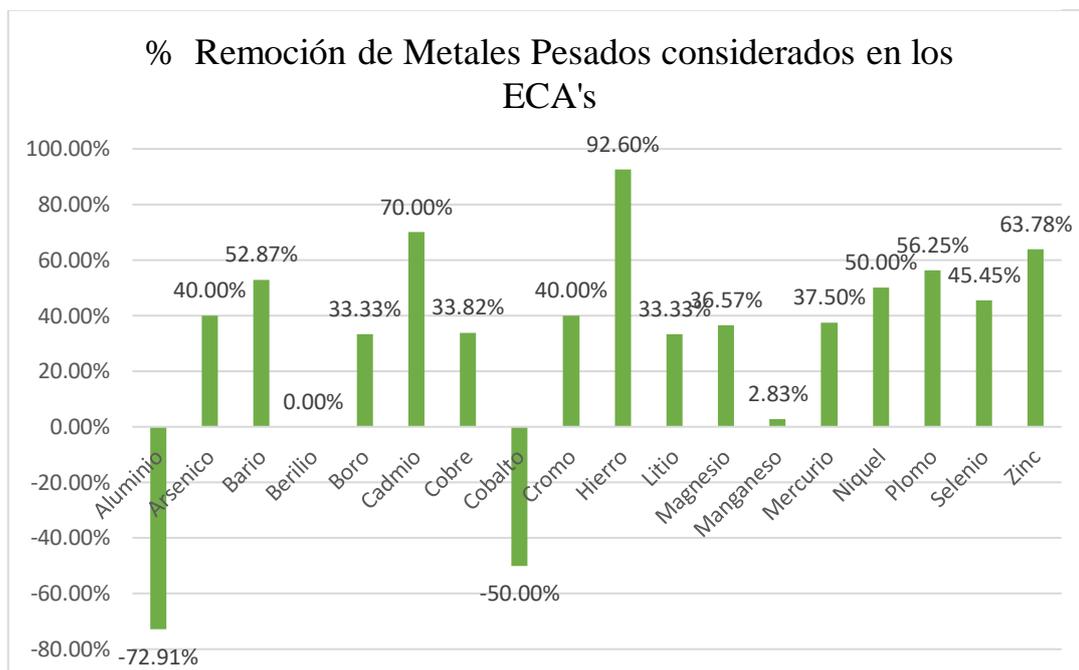
Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]

S: Carga contaminante de salida

S<sub>0</sub>: Carga contaminante de entrada

**Gráfico 2 Porcentaje de remoción de metales pesados considerados en los ECA's**



Fuente: Propia

En el gráfico se plasma el porcentaje de remoción de los metales considerados en los Estándares de Calidad Ambiental, Categoría 3, D1: Riego de Vegetales aprobados por D.S N° 004-2017-MINAM.

El aumento del aluminio es debido a que se agregó sulfato de aluminio para separar la biomasa algal junto con los sólidos suspendidos del agua residual.

Para el caso del aumento de 0.001mg/L de Cobalto se requiere mayor investigación.

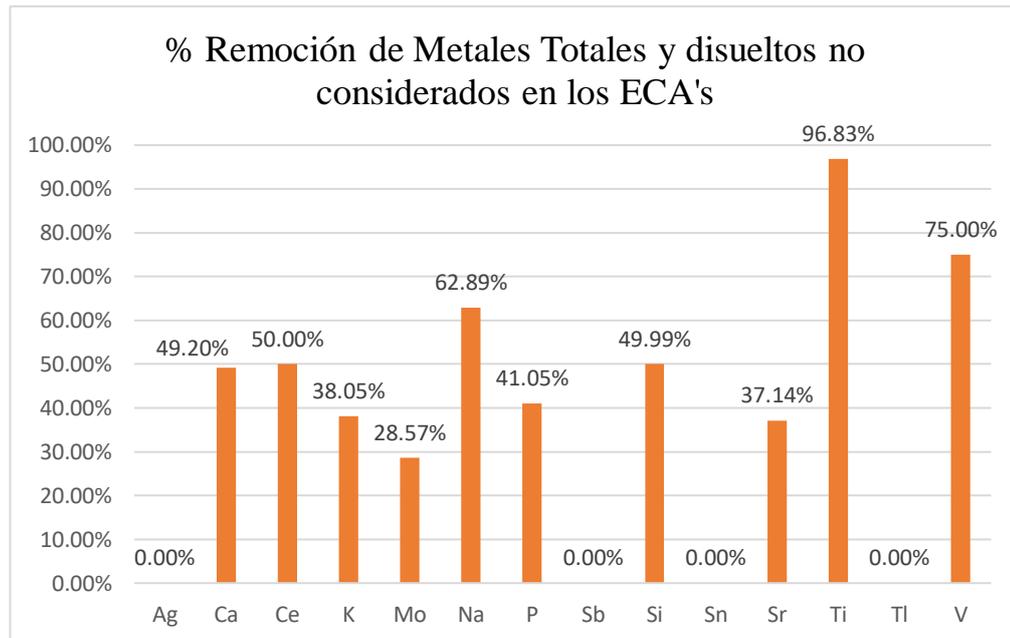
**Tabla 10 Remoción de metales pesados no considerados en los ECA's**

Parámetros	Unidades	Muestra Inicial	Muestra Final
Ag	mg/L	< 0.001	< 0.001
Ca	mg/L	112.42	57.106
Ce	mg/L	0.008	< 0.004
K	mg/L	40.644	25.179
Mo	mg/L	0.007	0.005
Na	mg/L	131.17	48.68
P	mg/L	17.66	10.41
Sb	mg/L	< 0.003	< 0.003
Si	mg/L	24.365	12.185
Sn	mg/L	< 0.003	< 0.003
Sr	mg/L	0.525	0.33

Ti	mg/L	0.063	0.002
Tl	mg/L	< 0.003	< 0.003
V	mg/L	0.012	0.003

Fuente: Propia

**Gráfico 3 Porcentaje de remoción de Metales Totales y Disueltos no considerados en los ECA's**



Fuente: Propia

En el gráfico se muestra la remoción de metales no considerados dentro de los Estándares de Calidad Ambiental de agua en la categoría 3, D1: Riego de vegetales. Siendo Titanio y Vanadio los que mostraron una mayor disminución en su concentración, mientras que Plata, Antimonio y Estaño no mostraron disminución alguna.

### 5.3.2 Segunda Hipótesis

**Hipótesis alterna (Ha):** La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia de coliformes fecales.

**Hipótesis nula (Ho):** La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* no influirá en la presencia de coliformes fecales.

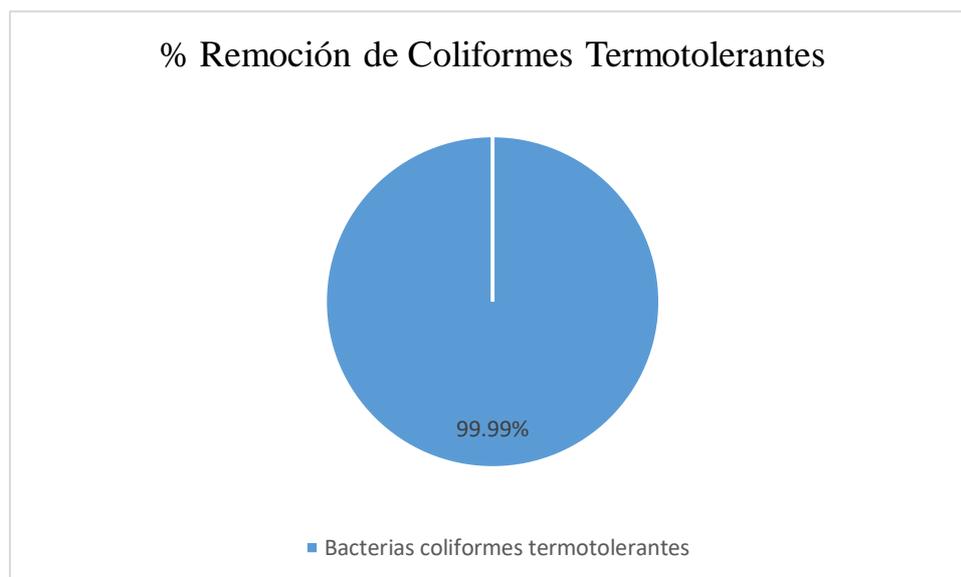
#### A. Resultados de laboratorio

**Tabla 11 Remoción de Coliformes termotolerantes**

Parámetro	Unidades	Muestra Inicial	Muestra Final	ECA'S Categoría 3: D1
Bacterias coliformes termotolerantes	(NMP/100mL)	2400000	20	2000

Fuente: Propia

**Gráfico 4 Porcentaje de Remoción de Coliformes Termotolerantes**



Fuente: Propia

En el gráfico se muestra la disminución de Bacterias Coliformes Termotolerantes en un 99.99 %, sin embargo es necesario mencionar que durante el tratamiento de agua residual para analizar este parámetro, las condiciones climáticas de la ciudad de Ica correspondían al mes de febrero, las temperaturas durante la estación de verano sobrepasaron los 25°C.

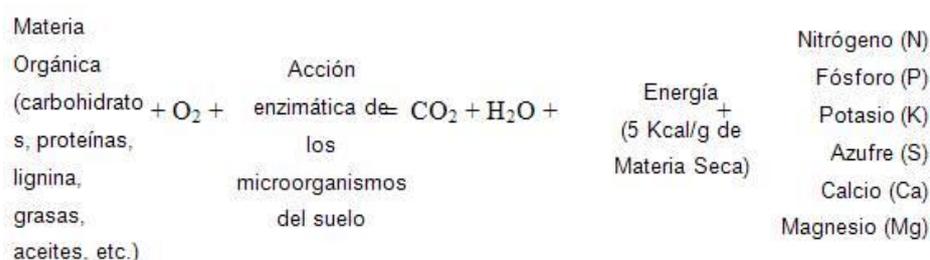
### 5.3.3 Tercera Hipótesis

**Hipótesis alterna (Ha):** La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia de materia orgánica en el suelo

**Hipótesis nula (Ho):** La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con *Chlorella vulgaris* influirá en la presencia de materia orgánica en el suelo

#### A. Obtención de abono orgánico

La descomposición o mineralización de los residuos orgánicos por los microorganismos del suelo es netamente un proceso oxidativo:



Una vez oxidada, lo que queda de la materia orgánica ha sido definida como humus, que es un material oscuro, heterogéneo y coloidal y responsable en gran parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos.

De la energía liberada, una parte es usada por los microorganismos y el resto se queda entre los residuos o es disipada como calor. Los nutrientes liberados son esenciales para el crecimiento de las plantas y absorbidos a través de su sistema radical.

Los microorganismos del suelo que descomponen la materia orgánica comprenden principalmente a las bacterias, hongos, actinomicetos y protozoos. La descomposición de la materia orgánica tiene lugar por distintas poblaciones de microorganismos. Los compuestos de bajo peso molecular son descompuestos principalmente por levaduras saprófitas que son los colonizadores primarios. Los colonizadores secundarios utilizan materiales más complejos, como los polisacáridos. Los colonizadores terciarios metabolizan los polímeros más complejos, como la lignina. Entre algunos de los microorganismos que descomponen la materia orgánica en el suelo tenemos: *Streptomyces* spp., *Methanomonas methanica*, *Clostridium disolvens*, *Clostridium weneri*, *Clostridium amylocliticum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus clavatus*, *Penicillium* sp., *Fusarium* sp.

Para la obtención de abono orgánico no se pudo usar lo resultante en el tratamiento de agua de residual, al ser una cantidad muy poca que no era suficiente como para emplearse para mejorar el suelo de los alrededores de la laguna de oxidación de Cachiche; por consiguiente, se optó por usar los lodos activados que ya se encontraban presentes dentro de la laguna.

El tratamiento fue mayor ya que se encontraba una gran carga de microorganismos patógenos, estos lodos emitían un olor desagradable, además había presencia de residuos que no fueron degradados como etiquetas plásticas, colillas de cigarro, etc.

#### **B. Toma de Muestra**

Como primera acción se tomó 1kg de muestra de los lodos activados dentro de una bolsa plástica triplemente cubierta con otras bolsas, Luego se tomó una muestra del suelo de 3kg perteneciente a un área cercana a la laguna de Cachiche.

**Ilustración 13 Toma de muestra de lodos activados**

FECHA	16-09-2016
HORA	12:17 pm

**Ilustración 14 Toma de muestra de suelo de los alrededores de la laguna de oxidación de Cachiche**

FECHA	16-09-2016
HORA	12:35 pm

### C. Procedimiento:

#### **Estabilización de los lodos**

El termino estabilización puede considerarse como el proceso o el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo con características tales que después del proceso puede ser usado sin que comprometa la salud pública o al medio ambiente.

El mal olor, la proliferación de patógenos y la putrefacción tienen lugar cuando los microorganismos se establecen en la fracción orgánica. De esta manera la estabilización de los lodos busca cumplir con 4 objetivos principales:

- Reducir la presencia de microorganismos patógenos
- Eliminar el mal olor
- Inhibir la putrefacción
- Reducir los efectos de compuestos orgánicos

Los lodos fueron colocados dentro de un envase de aluminio sin tapa y expuestos al ambiente por un periodo de 3 días adicionando 30% de cal (300gr) Inter diario, removiendo una vez diaria.

La adición de cal al lodo reduce olores y nivel de patógenos al crear un pH alto que es hostil a la actividad biológica. Los gases que se desprenden durante la descomposición anaerobia de la materia orgánica contienen nitrógeno y azufre y son la fuente principal de los malos olores del lodo. Cuando se añade la cal los microorganismos que intervienen en

la descomposición son fuertemente inhibidos o destruidos en ese medio fuertemente alcalino, una cosa similar le ocurre a los patógenos.<sup>16</sup>

Posterior a esto, se tomó una muestra de 400gr de los lodos tratados y se colocó dentro de una botella de capacidad de 1 litro, se agregó 20% de cultivo de microalgas porque debido a que en el tratamiento de las aguas residuales fue el porcentaje que se usó, adicionalmente se agregó 1L de agua estéril.

La finalidad era tratar de evaluar el resultado de los lodos durante el mismo tiempo que se usó para el tratamiento de las aguas residuales.

Culminado el periodo de tiempo, se dejó secar por 1 día.

- Se agregó 200gramos, a un 1kg de suelo a tratar y se mezcló adicionando 140ml de agua estéril debido a que con esa cantidad de agua quedó homogéneamente húmedo.

---

<sup>16</sup> Estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, de Anfacal  
Sitio web:  
[http://anfacal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Usos\\_Ecologicos/Tratamiento\\_de\\_Lodos/ESTABILIZACION\\_CON\\_CAL\\_DE\\_LODOS\\_PROVENIENTES\\_DE\\_PLANTAS\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES.pdf](http://anfacal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Lodos/ESTABILIZACION_CON_CAL_DE_LODOS_PROVENIENTES_DE_PLANTAS_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES.pdf)

### Ilustración 15 Suelo con Abono orgánico



#### D. Análisis de Laboratorio

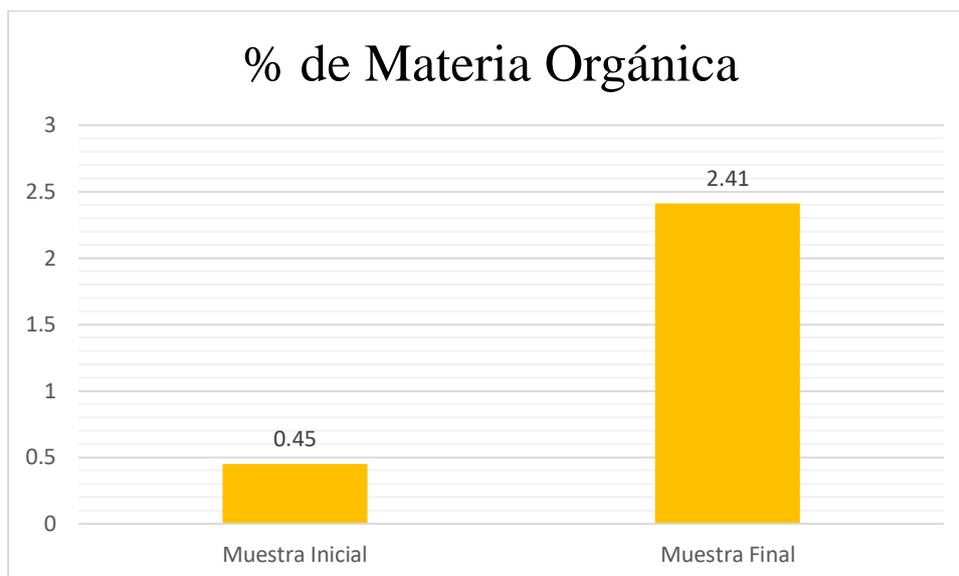
Se enviaron 02 muestras una con el abono y otra sin él en bolsas plásticas separadas con sello hermético.

#### E. Resultados de Laboratorio

**Tabla 12 Resultado de Materia Orgánica en suelos**

PARAMETRO	VALORES	
	MUESTRA INICIAL	MUESTRA FINAL
Materia Orgánica	0.45 %	2.41%

**Fuente: Propia**

**Gráfico 5 Aumento de Materia Orgánica en el Suelo**

Fuente: Propia

Los 200 gramos de suelos agregados representaron un aumento de materia orgánica en el suelo de 1.96 %.

La materia orgánica es la base de la fertilidad del suelo, influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo,

A mayor cantidad de materia orgánica, mayor es la amortiguación de contaminantes, mayor captación de nutrientes, mayor población microbiana benéfica.

Para la prueba del suelo y el agua tratada se sembró Marigold amarillo en 02 envases.

#### **A. Procedimiento**

Se estructuró de la siguiente manera:

- a) Envase 01
  - Colocar 1kg de suelo sin abono orgánico en un envase de plástico y sembrar una semilla de marigold amarillo
  - Se regará con agua de grifo 1 vez al día (cantidad de 100ml)

**b) Envase 02**

- Colocar 1kg de suelo con abono y sembrar una semilla de marigold amarillo
- Se regará con agua tratada 1 vez al día (cantidad de 100ml)

La cantidad de abono aplicada por kg de suelo fue el doble de la aplicada en la hipótesis anterior es decir un 40% de abono orgánico por kg de suelo.

**Ilustración 16 Envases con semillas de marigold amarillo****Ilustración 17 Brote de Marigold amarillo en el suelo con abono luego de 6 días**

**Ilustración 20 Marigold amarillo sembrado en suelo sin abono luego de 6 días****5.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Según varios autores, entre ellos, Edward Olarte y Mónica Valencia (2016) en su trabajo *Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (vinazas)* Usan el medio de Cultivo Bold Basal para el cultivo de la microalga, sin embargo se obtienen los mismos resultados reemplazándolo por el fertilizante foliar Bayfolan, además de proporcionar los nutrientes necesarios para el aumento de la biomasa algal, mantiene el pH en 7, lo que es un factor importante para el desarrollo de la microalga.

Habiendo realizado las pruebas y los análisis de laboratorio correspondientes, la microalga *Chlorella vulgaris* se adaptó favorablemente a las condiciones climáticas del Distrito de Ica, sin embargo, el aumento de la biomasa algal fue mayor en temperaturas de 20°C-30°C.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la microalga *Chlorella vulgaris* aprovechó como nutriente los Nitratos, asimilándolos en forma de amonio, aquellos que necesita para su desarrollo.

A diferencia del trabajo de Olarte y Valencia (2016) en esta investigación se obtuvo el 89.65% de remoción de nitratos, siendo 4.7% más efectivo. Así mismo

en el trabajo *Eficiencia en la Remoción De Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central*, de Herberth Lavagnino, Dentro de las conclusiones de su investigación menciona que la planta de tratamiento que cuenta con los siguientes componentes:

- Canal de rejillas, desarenador, medidor de caudal tipo vertedero y trampa de grasa
- Sedimentador primario
- Módulos de filtro percoladores con medio filtrante de piedra volcánica
- Sedimentador secundario
- Digestor de lodos
- Patio de secado de lodos y
- Caja de descarga final

No realiza una remoción eficiente de Nitrógeno y Fósforo y que la liberación de los mismos a un cuerpo de agua puede colaborar con su eutrofización, lo que otorga una ventaja a los tratamientos de aguas residuales que usan plantas y microalgas para aprovechar aquellas sustancias.

Según Lourenco (2006), las microalgas son bastante usadas en tratamiento de aguas residuales, actuando directamente en la biorremediación, por presentar un elevado crecimiento y ser tolerante a varias condiciones de cultivo. En el caso del género *Chlorella sp*, se destaca como un microorganismo que demanda una gran cantidad de elementos y nutrientes como fósforo y nitrógeno que auxilian en el crecimiento del cultivo, en cualquier ambiente acuático.

Las microalgas pueden producir péptidos capaces de unirse a los metales, formar complejos organometálicos, en particiones dentro de las vacuolas para facilitar el control adecuado de la concentración de iones de metales pesados en el citoplasma, y así prevenir o neutralizar los efectos tóxicos potenciales que éstos presentan

En el trabajo de Alex Dueñas, Ronald Huarachi, Usulo Yapó, Percy Afta, & Rosaura González titulado *Bioacumulación de Arsénico En Chlorella Vulgaris*

(*Chlorophyta: Chlorellaceae*) en *Efluente de Parque Industrial Río Seco (Pirs)* y *Toxicidad Aguda Sobre Daphnia Magna (Crustacea: Daphniidae)*, Arequipa, Perú. Tuvieron una disminución de arsénico de muestras de efluentes industriales de PIRS (Parque industrial río seco) en un sistema de flujo por gravedad con *Chlorella vulgaris* en un 68.44%, a diferencia de los resultados obtenidos en este trabajo que fue de un 40% en un Sistema de cerrado.

En la investigación *Sorción de Mercurio, cadmio y plomo por microalgas* de Duangrat Inthorna, Nalin Sidtitoona, Suthep Silapanuntakula y Aran Incharoensakdib de la Universidad de Mahidol, Tailandia; tuvieron resultados de remoción de 94% en Mercurio, 89% en Cadmio y 84% en Plomo por parte de la microalga *Chlorella vulgaris*, Comparados con los obtenidos en el presente trabajo de 37.5% , 70% y 56.25% respectivamente , el trabajo realizado en Tailandia tuvo mejores resultados.

En el trabajo titulado *Efecto adsorbente de Chlorella vulgaris y Scenedesmus sp. (Chlorophyta) para algunos de los metales pesados y nutrientes* publicado en la Revista Turca de Bioquímica en el año 2016 obtuvo 21.63% de remoción en Nitratos, 28.64% en Antimonio , 49.41% en Manganeso, 33.38% en Cobre y 29.96 en Níquel. En el presente trabajo se obtuvieron los siguientes resultados: 89.65% en nitratos, No hubo remoción de Antimonio , 2.83% para Manganeso, 33.82% para Cobre y 50% en Níquel. Teniendo mayor porcentaje de remoción en nitratos, cobre y Níquel.

De acuerdo con Silva (2011, p.31), las microalgas *chlorella sp* son las “más comunes y efectivas en la inmovilización para la remoción de coliformes, nutrientes y metales, son también tolerantes a amplias variaciones de pH y concentraciones de sales que se encuentran en ambiente acuático ”

Se eliminan los nutrientes (N y P) a través de su metabolismo y crecimiento celular y limitan la proliferación de coliformes termotolerantes y bacterias patogénicas, por el aumento de la concentración de oxígeno disuelto a través de la fotosíntesis, el cual es necesario para la fisiología de las bacterias aerobias

heterotróficas, consumiendo el dióxido de carbono producido por la oxidación bacteriana de la materia orgánica, elevando el pH del medio.

Moawad (1968) observó que los factores ambientales que eran favorables para el crecimiento de algas eran desfavorables para la supervivencia de los coliformes. Los organismos patógenos de preocupación en aguas residuales incluyen bacterias como *Salmonella* y *Shigella*, virus y protozoos. Las bacterias proporcionan el componente más grande de la comunidad microbiana en todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales y se encuentran con frecuencia cantidades en el rango de 10<sup>6</sup> bacterias / ml de aguas residuales (Horan, 1990).

La evidencia experimental indica que, las bacterias patógenas generalmente tienen tiempos de supervivencia más cortos en el medio ambiente que los coliformes, mientras que los virus tienden a sobrevivir más tiempo.

La eficacia de la desinfección de aguas residuales se estima generalmente por la extensión de la eliminación de organismos coliformes totales (Sebastian y Nair, 1984). Los informes en la literatura revelaron que se logra una remoción de coliformes considerable en los estanques de estabilización. Así, Malina y Yousef (1964) informaron una reducción del 88.8% en 11.4 días. Meron et al. (1965) reportaron una reducción de 99.6%. Otro estudio apoyado se realizó a este respecto (Oswald et al., 1967; Parhad y Rao, 1976).

En estanques de alta velocidad, Shelef et al. (1977) informaron una reducción del 99% en el recuento total de coliformes. Una observación similar sobre el porcentaje de reducción de coliformes y *Salmonella* también fue hecha por Cooke et al.

De esta forma, se puede afirmar que la microalga *chlorella sp* se presenta como una excelente alternativa en el tratamiento de inmovilización natural o artificial para la recuperación de aguas residuales, partiendo de una composición homogénea, su alto volumen de concentración, fácil cultivo y

efectiva actuación en la remoción de diversos contaminantes encontrados en el agua residual.

Para la comparación de datos obtenidos en la cantidad de materia orgánica que presenta el suelo con el abono obtenido a partir de los lodos activados tratados con *Chlorella vulgaris*, no se ha encontrado información disponible.

Sin embargo, un aumento de materia orgánica no implica mejorar la calidad de suelo, por lo que se deben considerar otros parámetros tales como la capacidad de campo, etc.

El Sulfato de Aluminio o Alumbre es muy usado en los tratamientos de agua residual en diversas partes del mundo, el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión como los sólidos suspendidos, reduciendo de esta manera la turbidez del agua residual y con ello precipitando la biomasa algal.

## 5.5 CONCLUSIONES

- A pesar que solo 02 parámetros inorgánicos (Hierro y Litio) de los parámetros considerados en los Estándares de Calidad Ambiental para la Categoría 3: Riego de vegetales fueron superados por las aguas residuales del distrito de Ica se obtuvo la remoción de: As, Ba, B, Cd, Cu, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, Se, Zn en un 40%, 52.87%, 33,33%, 70%, 33,82%, 40%, 92.60%, 33,33%, 36.57%, 2.83%, 37.50%, 50%, 56.26%, 45.45%, 63.78%, respectivamente, Mientras que no hubo remoción en Berilio. Asimismo, hubo un aumento de 0.001 mg/L en Cobalto (Co) y 1.556 mg/L en Aluminio(Al), sin embargo, debido a que se usó sulfato de aluminio para separar la biomasa algal del agua tratada, se descarta ese parámetro.
- Los parámetros no considerados en los Estándares de Calidad Ambiental para la Categoría 3: Riego de vegetales: Ca, Ce, K, Mo, Na, P, Si, Sr, Ti, V tuvieron una remoción de 49.20%, 50%, 38.5%, 28.57%, 62.89%, 41.05%, 49.99%, 37.14%, 96.83%, 75%, Mientras que no hubo remoción en Ag, Sb, Sn, Tl.

- Hubo una remoción de 89.65% en Nitratos, reduciendo de 116mg/L a 12.04 mg/L, colocándose por debajo del ECA 100 mg/L. Este parámetro fue aprovechado por parte de la microalga para su desarrollo.
- Para el parámetro de coliformes termotolerantes se tuvo una remoción de 99.99%, logrando llevar el parámetro a 20 (NMP/100ml) valor por debajo del Estándar de Calidad Ambiental que es de 1000 (NMP/100ml).
- Se tuvo un aumento de 0.45% a 2.41% en Materia Orgánica en el suelo con el abono obtenido a partir del tratamiento de los lodos activados.

## **5.6 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda seguir con la investigación profundizando en los parámetros que intervienen en la calidad del Agua.
- Se recomienda promover el uso de microalgas en el tratamiento de Aguas residuales Municipales.
- Para acelerar la producción de biomasa algal y por consiguiente la remoción de contaminantes se recomienda replicar el tratamiento en temperaturas entre 20°C y 30°C, Sin embargo, a temperaturas menores también se obtienen buenos resultados.
- Se necesitan grandes cantidades de agua residual que sean tratadas y así generar lodos suficientes para poder ser usados como abono orgánico.
- Se recomienda mejorar el procedimiento de obtención de lodos activados para la obtención de abono orgánico a manera de evitar una posible contaminación al suelo.
- Se recomienda no usar el sistema para grandes efluentes de agua, ya que se necesitaría adicionalmente un sistema de mayor capacidad teniendo en consideración la disponibilidad de luz y aireación.

## BIBLIOGRAFIA

Alex Dueñas; Ronald Huarachi; Ursulo Yapó; Percy Apfata & Rosaura Gonzalez. (2014). Bioacumulación de Arsenico en *Chlorella Vulgaris* (Chlorophyta: Chlorellaceae) en efluente de Parque Industrial Rio Seco (Pirs) y Toxicidad Aguda sobre *Daphnia Magna* (Crustacea: Daphniidae), Arequipa, Perú, de Dialnet plus Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4754665>

Anfacal, Estabilización con Cal de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Sitio web: [http://anfacal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Usos\\_Ecologicos/Tratamiento\\_de\\_Lodos/ESTABILIZACION\\_CON\\_CAL\\_DE\\_LODOS\\_PROVENIENTES\\_DE\\_PLANTAS\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES.pdf](http://anfacal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Lodos/ESTABILIZACION_CON_CAL_DE_LODOS_PROVENIENTES_DE_PLANTAS_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES.pdf)

Bach. Violeta del Aguila Valles y Bach. Percy I. Z. Saavedra (2016), Diseño de un Sistema Integrado de Tratamiento de las Aguas Residuales para Mitigar la Contaminación del Río Mayo, Sector Juan Antonio – Moyobamba, 2014. Sitio Web: [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2385/TP\\_ISA\\_00014\\_2016.pdf?sequence=1](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2385/TP_ISA_00014_2016.pdf?sequence=1)

Biblioteca Plan Ceibal, *Chlorella vulgaris*, Clasificación y características principales. Sitio Web: [http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas\\_educativas/\\_pdf/ciencias-naturales/reino-protista/002-chlorella-vulgaris.pdf](http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/_pdf/ciencias-naturales/reino-protista/002-chlorella-vulgaris.pdf)

Cañizarez-Villanueva, R.O. y Casas-Campillo, C. 1991. El papel de las microalgas en el tratamiento terciario de aguas residuales. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN (Instituto Politécnico Nacional). Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. México, Distrito Federal. 48 pp

Cortés Téllez, Alondra A.; Sánchez-Fortún Rodríguez, Sebastián; Bartolomé Camacho, Ma. Carmen Mecanismos de resistencia a Metales tóxicos (CD) bajo variaciones abióticas en Microalgas Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, vol.

21, núm. 1, 2018, pp. 4052 Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad de México, México

Cuidoelagua.org (2009), ¿Cuál es la importancia que tiene el tratamiento de Aguas Residuales? Sitio web: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/importanciatratamiento.html>

Cusi Laura Benjamin Felix. (2012), Informe de la planta de tratamiento de aguas residuales de Magolio, en Scribd Sitio web: <https://es.scribd.com/doc/137145360/PLANTA-DE-TRATAMIENTO-MAGOLLO-TACNA-PERU>

David Wells, Descripción de C.vulgaris en Microbe Wiki Sitio web: [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Chlorella\\_vulgaris](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Chlorella_vulgaris)

Diego Hernandez (2011), Tratamiento de aguas, en Everde Sitio web: <http://www.everde.cl/2011/12/tratamiento-de-aguas.html>

Duangrat Inthorna, Nalin Sidtitoona, Suthep Silapanuntakula and Aran Incharoensakdib. (2002). Sorption of mercury, cadmium and lead by microalgae, de SemanticScholar Sitio web: <https://pdfs.semanticscholar.org/1b7f/417e6853814607392200ae41add10156fda7.pdf>

Edward Olarte y Mónica Valencia. (2016). Evaluación del Uso de la Microalga Chlorella Vulgaris en el Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (Vinazas), de UNAD repositorio Sitio web: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/5882/3/91535665.pdf>

Fortunato Vidal Mendez Melgarejo & Osiris Feliciano Muñoz. (2010), Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas e sustitución de agua limpia para áreas verdes, en Docplayer Sitio web: <http://docplayer.es/8265965-Universidad-nacional-de-ingenieria.html>

Gabriela Avelinda Valle Ramírez de Arellano. (2007). Utilización de Microalgas para la Remoción de Cadmio y Zinc de Efluentes de Aguas Residuales Urbanas, de Centro de

Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Sitio web: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/747/1/177811.pdf>

Graham, L.E. y Wilcox, L.E. 2000. *Algae*. Prentice Hall International, London. 420 pp.

H. V. Perales-Vela, J. M. P.- Castro, and R. O. Cañizares-Villanueva, “Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae,” *Chemosphere*, vol. 64, pp. 1–10, 2006.

Herberth R.Lavagnino. (2016). Eficiencia en la Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la, de Recursos biblio Sitio web: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2016/06/15/Lavagnino-Herberth.pdf>

Ing. Juan Pablo Méndez Vega & Ing. Johnny Marchán Peña. (2008) Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución, en SUNASS, Sitio web: [http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro\\_ptar\\_gtz\\_sunass.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf)

Jeff Conant y Pam Fadem. (EEUU ,2008), Guía comunitaria para la salud ambiental, en Hesperian. Sitio Web: <https://ongcaps.files.wordpress.com/2012/04/guc3ada-comunitaria-para-la-salud-ambiental.pdf>

José Rosales Vargas. (2013), Ica: lagunas de oxidación superan seis veces los límites de contaminación, publicado en el diario “El Comercio” Sitio web: <http://elcomercio.pe/peru/lima/ica-lagunas-oxidacion-superan-seis-veces-limites-contamin>

Kaplan, D. 2005. Water pollution and bioremediation by microalgae. 439-447. En: Richmond, A. 2005 (Ed.). *Handbook of Microalgal Culture. Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Publishing, Oxford. 566 pp.

Maria Grazia Rossia Luna. (2010) Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú, en FONAM Sitio web: [http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)

N.Abdel, Raoufa; A.A.Al,Homaidanb y I.B.M.Ibraheembc. (Julio 2012). Microalgae and wastewater treatment. Saudi Journal of Biological Sciences, vol 19,pp. 257-275.

Quiroz, P. (2009), Planta de Tratamiento de aguas residuales para regadío, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (Tesis de titulación).

RWL WATER, (Estados Unidos, 2016), Tratamiento Secundario de Aguas Residuales Sitio web: <https://www.rwlwater.com/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales-estados-unidos/?lang=es>

Sedapal (2012), Planta de tratamiento de aguas residuales Taboada-Ptar Taboada. Sitio web: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a20f54e7-1ee7-43e0-be4c-4198585076e4&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=a20f54e7-1ee7-43e0-be4c-4198585076e4&groupId=10154)

Tereza Karolene. (2014). imobilizacao de microalgas chlorella sp em matriz de alginato de calcio para tratamento de aguas residuais., de UEPD Repositorio digital Sitio web: <http://dspace.bc.uepb.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3961/PDF%20-%20Tereza%20Karolene%20Nascimento%20Oliveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tuğba Şentürk y Şükran Yıldız. (2016). Adsorbent effect of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus* sp. (Chlorophyta) for the removal of some heavy metals and nutrients, de De Gruyter Sitio web: <https://www.degruyter.com/view/j/tjb.2016.41.issue-2/tjb-2016-0015/tjb-2016-0015.xml>

UNESCO (2017), Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Aguas Residuales el recurso desaprovechado Sitio Web: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>

Zeraatkar, A.K., Ahmadzadeh, H., Talebi, A.F., Moheimani, N.R. & McHenry, M.P. (2016). Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. J. Environ. Manage., 181, 817–831. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.06.059

**ANEXOS**

Tabla 13 Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES E INDICES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema Principal:</b></p> <p>¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento con chlorella vulgaris influenciará en la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica?</p> <p><b>Problemas Secundarios:</b></p> <p><b>P1.</b> ¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de nitratos y metales pesados?</p> <p><b>P2.</b> ¿De qué manera la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de coliformes fecales en el agua?</p> <p><b>P3.</b> ¿De qué manera la aplicación de un</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento con chlorella vulgaris influenciará en la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p><b>O1.-</b> Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de nitratos y metales pesados.</p> <p><b>O2.-</b> Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influenciará en la presencia de coliformes fecales en el agua.</p> <p><b>O3.-</b> Demostrar que la aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La aplicación de un sistema de tratamiento con chlorella vulgaris influenciará en la calidad de las aguas residuales del distrito de Ica.</p> <p><b>Hipótesis Específicas:</b></p> <p><b>H1.-</b> La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de nitratos y metales pesados.</p> <p><b>H2.-</b> La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de coliformes fecales.</p> <p><b>H3.-</b> La aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de materia orgánica en el suelo</p>	<p><b>Variables de la Investigación.</b></p> <p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Sistema de Tratamiento con chlorella vulgaris</p> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Aguas residuales del distrito de Ica</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>Indicadores</b></p> <p><math>X_1</math>: Parámetros de nitratos y metales pesados por debajo de los ECA</p> <p><math>X_2</math>: Parámetro de coliformes termo tolerantes por debajo de los ECA</p> <p><math>X_3</math>: Coloración marrón oscuro</p> <p><b>Índices</b></p> <p><math>x_1</math>: Niveles bajos de nitratos y metales pesados.</p> <p><math>x_2</math>: Niveles bajos de coliformes termo tolerantes</p> <p><math>x_3</math>: Suelo con porcentaje de M.O adecuados</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p><b>Indicadores</b></p> <p><math>Y_1</math>: Parámetros de nitratos y metales pesados por encima de los ECA.</p> <p><math>Y_2</math>: Parámetros de coliformes termo tolerantes por encima de los ECA</p> <p><math>Y_3</math>: Coloración clara de suelo</p> <p><b>Índices</b></p>	<p><b>Tipo y nivel de la Investigación:</b></p> <p><b>Tipo de la Investigación:</b></p> <p>. Aplicada o Tecnológica</p> <p><b>Nivel de la investigación:</b></p> <p>. Descriptiva y Aplicativo</p> <p><b>Método y diseño de la Investigación:</b></p> <p><b>Método:</b> Científico Experimental</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental-Cuasi experimental-De muestras separadas</p>

sistema de tratamiento de aguas residuales con chlorella vulgaris influirá en la presencia de materia orgánica en el suelo?	influenciará en la presencia de materia orgánica en el suelo.			y <sub>1</sub> : Niveles altos de nitratos y metales pesados y <sub>2</sub> : Niveles altos de coliformes termo tolerantes y <sub>3</sub> : Suelo con porcentaje bajo de M.O	
---	---	--	--	--	--

**Recursos Usados en el cultivo de Chlorella vulgaris**

**Ilustración 21 Fertilizante foliar (Polvo)**



Fuente: Propia

**Ilustración 24 Bayfolan**



Fuente: Propia

**Ilustración 27 Cultivo de *Chlorella vulgaris* con Aireador**



Fuente: Propia

**Ilustración 30 8L de *Chlorella vulgaris***



Fuente: Propia

### Pruebas al 5%,10% y 20% de cultivo de microalgas

#### **Materiales**

- 3 litros de agua residual del distrito de Ica provenientes de la laguna de oxidacion de cachiche
- 8 L de cultivo de microalgas
- 3 botellas de plastico de 1L ,2.5L,3L
- Vaso medidor de 20ml
- Tijeras
- Bomba de aire
- Cinta adhesiva
- Mangueras de 3metros de longitud
- Guantes
- Mascarilla

#### **Procedimiento**

#### **Ilustración 33 Botellas usadas para la prueba de concentración de *C.vulgaris* en Agua residual**



Fuente: Propia

1. Separar una cantidad de 400ml del envase de 8L de *Chlorella vulgaris*

**Ilustración 34 Extracción de *C. vulgaris* para realizar las pruebas**

Fuente: Propia

2. Con un vasito de plástico de 20ml agregar 200ml , 100ml y 50ml respectivamente en cada botella

**Ilustración 35 Vaso medidor**

Fuente: Propia

3. Agregar 1L de agua residual en cada botella

**Ilustración 36 Llenado de las botellas con 1L de Agua residual**

Fuente: Propia

4. Cortar pedazos de manguera de la altura de a botella +20cm, introducirlos dentro haciendo un agujero en el centro de la tapa de la botella.

**Ilustración 37 Colocación de la manguera a las botellas**



Fuente: Propia

5. Cubrir cada tapa de la botella con algodón ,gasas y cinta adhesiva

### Tratamiento de lodos activados

#### **Procedimiento:**

- Se colocaron en un envase de aluminio o metal y se sometieron al sol durante 3 días agregando el 30% de Cal de manera Inter diaria.

#### **Ilustración 38 Lodos Activados en envase de aluminio**



Fuente: Propia

#### **Ilustración 41 Lodos activados con 30% de Cal**



Fuente: Propia

**Ilustración 44 Lodos Activados al 3er día**



Fuente: Propia

**Ilustración 47 Lodos Activados con *C.vulgaris***



## Resultados de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA"**

Ciudad Universitaria – Panamericana Sur Km 305 Tel (056) 213351

**ICA – PERÚ**

**INFORME DE ANALISIS DE CALIDAD N°**

SOLICITANTE : Joana Lucia Espinoza Pacheco  
 DOMICILIO : Urb. San Miguel B-190  
 PRODUCTO DESCRITO : Agua Residual  
 TIPO DE MUESTRA : Líquida CANTIDAD 600 ml  
 FECHA DE MUESTREO : 29-10-17 LUGAR DE MUESTREO Distrito de Ica  
 FECHA DE ANALISIS : 30-10-17  
 TOMA DE MUESTRA POR : Joana Lucia Espinoza Pacheco

### RESULTADO

TIPO DE ANALISIS	LIMITES RECOMENDADOS
FISICO QUIMICOS	
COLOR (UC)	
OLOR	
SABOR	
Ph	
TEMPERATURA (°C)	
TURBIEDAD (UT)	
CONDUCTIVIDAD (micro S/cm)	
SOLIDOS TOTALES	
ALCALINIDAD (mg/L)	
CLORUROS (mg/L)	
DUREZA TOTAL (ppm CaCO <sub>3</sub> )	
ALCALINIDAD FENOL (ppm. CaCO <sub>3</sub> )	
ALCALINIDAD HIDROX (ppm. CaCO <sub>3</sub> )	
ALCALINIDAD TOTAL (ppm. CaCO <sub>3</sub> )	
CALCIO (ppm. CaCO <sub>3</sub> )	
CLORO LIBRE (ppm)	
ACIDEZ (ppm)	
HIERRO TOTAL (ppm)	
MAGNESIO (ppm. CaCO <sub>3</sub> )	
NITRATOS (ppm)	116.3
NITRITOS (ppm)	
SILICE (ppm)	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN (ppm)	
SULFATOS (ppm)	

Ica, 05 de Noviembre de 2017



*Armando Tataje Montalván*  
**ARMANDO TATAJE MONTALVÁN**  
 Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA"

Ciudad Universitaria – Panamericana Sur Km 305 Tel (056) 213351

ICA – PERÚ

INFORME DE ANALISIS DE CALIDAD N°

SOLICITANTE : Joana Lucia Espinoza Pacheco  
 DOMICILIO : Urb. San Miguel B-190  
 PRODUCTO DESCRITO : Agua Residual Tratada  
 TIPO DE MUESTRA : Líquida CANTIDAD 500 ml  
 FECHA DE MUESTREO : 04-11-17 LUGAR DE MUESTREO Distrito de Ica  
 FECHA DE ANALISIS : 04-11-17  
 TOMA DE MUESTRA POR : Joana Lucia Espinoza Pacheco

RESULTADO

TIPO DE ANALISIS		LIMITES RECOMENDADOS
<b>FISICO QUIMICOS</b>		
COLOR (UC)		
OLOR		
SABOR		
Ph		
TEMPERATURA (°C)		
TURBIEDAD (UT)		
CONDUCTIVIDAD (micro S/cm)		
SOLIDOS TOTALES		
ALCALINIDAD (mg/L)		
CLORUROS (mg/L)		
DUREZA TOTAL (ppm CaCO <sub>3</sub> )		
ALCALINIDAD FENOL (ppm. CaCO <sub>3</sub> )		
ALCALINIDAD HIDROX (ppm. CaCO <sub>3</sub> )		
ALCALINIDAD TOTAL (ppm. CaCO <sub>3</sub> )		
CALCIO (ppm. CaCO <sub>3</sub> )		
CLORO LIBRE (ppm)		
ACIDEZ (ppm)		
HIERRO TOTAL (ppm)		
MAGNESIO (ppm. CaCO <sub>3</sub> )		
NITRATOS (ppm)	86.8	
NITRITOS (ppm)		
SILICE (ppm)		
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN (ppm)		
SULFATOS (ppm)		



Ica, 05 de Noviembre de 2017

Armando Tataje Montalvan  
 Jefe de Laboratorio



**VALLE GRANDE**  
Laboratorio de Química Agrícola

**50 AÑOS**  
1965 - 2015

SOLICITANTE : JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO

ANÁLISIS N° : 1126-01A -2017

PREDIO : JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO

LUGAR : ICA

MATRIZ : AGUA EN INVESTIGACION

FECHA DE RECEP. : 07/11/2017

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA - NUTRICIONAL  
MUESTRA : M: AGUA DE INVESTIGACION

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.86	mEq / L	MEA - 001	Colorimétrico

DONDE:

MEA : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

**MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón**  
JEFE DEL LABORATORIO



**MSc. Agr. Julio Castro Lazo**  
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

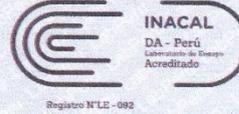
Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N°LE-092



INFORME DE ENSAYO N° MA2302180005

Resultados de ensayo

CODIGO DE LABORATORIO			W-84-18	W-85-18	
IDENTIFICACION DE MUESTRA			Laguna de oxidación de Cachiche ICA	Urb. San Miguel ICA	
ELEMENTOS	L.D.	L.C.	MATRIZ	Agua residual municipal	Agua residual doméstica
			UNIDADES		
Ag	0.0010	0.004	mg/L	< 0.001	< 0.001
Al	0.0030	0.009	mg/L	2.134	3.69
As	0.0030	0.01	mg/L	0.005	< 0.003
B	0.0020	0.005	mg/L	0.252	0.168
Ba	0.0020	0.007	mg/L	0.087	0.041
Be	0.0020	0.008	mg/L	< 0.002	< 0.002
Ca	0.0060	0.02	mg/L	112.4200	57.106
Cd	0.0003	0.001	mg/L	0.001	< 0.0003
Ce	0.0040	0.014	mg/L	0.008	< 0.004
Co	0.0020	0.006	mg/L	< 0.002	0.003
Cr	0.0010	0.004	mg/L	0.005	0.003
Cu	0.0010	0.004	mg/L	0.068	0.045
Fe	0.0050	0.015	mg/L	1.526	0.113
Hg	0.0010	0.011	mg/L	0.008	0.005
K	0.0060	0.02	mg/L	40.644	25.179
Li	0.0004	0.0013	mg/L	0.006	0.004
Mg	0.0020	0.005	mg/L	15.447	9.798
Mn	0.0010	0.002	mg/L	0.106	0.103
Mo	0.0020	0.006	mg/L	0.00	0.00
Na	0.0110	0.033	mg/L	131.1700	48.68
Ni	0.0020	0.006	mg/L	0.004	< 0.002
P	0.0120	0.038	mg/L	17.66	10.41
Pb	0.0020	0.005	mg/L	0.016	0.007
Sb	0.0030	0.009	mg/L	< 0.003	< 0.003
Se	0.0050	0.017	mg/L	0.011	0.006
Si	0.0090	0.028	mg/L	24.3650	12.1850
Sn	0.0030	0.008	mg/L	< 0.003	< 0.003
Sr	0.0003	0.001	mg/L	0.525	0.330
Ti	0.0004	0.001	mg/L	0.063	0.002
Tl	0.0030	0.009	mg/L	< 0.003	< 0.003
V	0.0010	0.002	mg/L	0.012	0.003
Zn	0.0020	0.007	mg/L	0.196	0.071

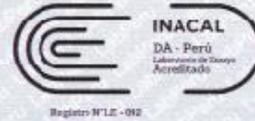
LP-FO-130 / VR02

Página 2 de 3

Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
Este informe de ensayo no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de LABPERU.



LABORATORIO DE ENSAYO AGREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N°LE-092



INFORME DE ENSAYO N° MA2302180005

REFERENCIA O NORMA	
METALES TOTALES Y DISUELTOS POR ICP-OES	EPA METHOD 200.7 Rev. 4.4, 1994/ Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry

**OBSERVACIONES:**

- No Acreditado en el ítem 5.7 Muestras: Toma de muestra realizado por el cliente.  
Coordenadas de punto de muestreo proporcionados por el cliente  
Laguna de oxidación de Cachiche ICA (UTM x: 421723.72 y: 8439085.98); Urb. San Miguel ICA (UTM x: 420722.66 y: 8445099.65)

**Nota:** Para una adecuada comparación e interpretación de los resultados analíticos se requiere que las muestras cumplan con los requerimientos de muestra, manipulación y almacenamiento establecidos en las normas aplicables.

LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación  
Valor = LD: Valor detectado por el método. **No repetible**  
Valor > LC: Valor detectado por el método. **Repetible**  
valor entre LD y LC: valor detectado por el método. **Con probabilidad de Repetir**  
(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Emitido en Maastricht, 03 de Marzo del 2016

  
Luis Anthony Zegarra Ruiz  
JEFE DE LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE  
LABPERU E.I.R.L.



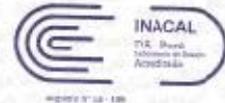
  
Samuel Patricio Zurate  
Químico  
CQP 002  
LABPERU E.I.R.L.

LP-FQ-130 / VR02

Página 3 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 103



## INFORME DE ENSAYO N° 3038 / 02 - 18

### 1. SOLICITANTE:

Nombre o razón social : Joana Lucía Espinoza Pacheco  
Domicilio legal : Urb. San Miguel B 199, Ica - Ica - Ica.

### 2. DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : Agua Residual Municipal.  
Identificación de la muestra : Procedencia: Laguna de Oxidación de Cachtiche, Ica.  
Punto de muestreo: Ingreso de las aguas residuales a la Laguna de Oxidación.  
Toma de muestra: 2018-02-26 Hora: 10:33 h  
Responsable de toma de muestra : Solicitante - Joana Espinoza Pacheco.  
Forma de presentación : 01 Frasco de vidrio (conservado en cadena de frío).

### 3. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA MUESTRA

Cantidad de muestra : 1000 mL  
Fecha de recepción : 2018-02-26  
Fecha de inicio del ensayo : 2018-02-26  
Fecha de término del ensayo : 2018-03-01

### 4. ENSAYOS Y RESULTADOS:

Ensayos Microbiológicos	Resultados
Bacterias coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	2 400 000

NMP/100 mL: Número más probable en 100 mililitros.

#### Método:

Coliformos termotolerantes (NMP) : SNEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E-1, 2nd Ed. 2017, Pág. 9-74. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).

### 5. OBSERVACIONES:

- Prohibida la reproducción total y parcial de este informe, sin la autorización de BioSLab S.R.L.
- Los resultados corresponden a las muestras analizadas y no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como verificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- La adulteración o uso indebido del presente informe constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia.

Fecha de emisión: Ica, 02 de marzo del 2018.



*Rosa S. Altamirano Díaz*  
Dña. Rosa S. Altamirano Díaz  
GERENTE TÉCNICO  
C.B.P. N° 5782



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 108



## INFORME DE ENSAYO N° 3039 / 02 - 18

### 1. SOLICITANTE:

Nombre o razón social : Joana Lucía Espinoza Pacheco  
Domicilio legal : Urb. San Miguel B-190. Ica - Ica - Ica.

### 2. DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : Agua Residual Municipal  
Identificación de la muestra : Procedencia: Sistema de tratamiento piloto, Urb. San Miguel B-190, Ica.  
Punto de muestreo: Efluente.  
Toma de muestra: 2018-02-26 Hora: 11:10 h  
Responsable de toma de muestra : Solicitante - Joana Espinoza Pacheco.  
Forma de presentación : 01 Frasco de vidrio (conservado en cadena de frío).

### 3. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA MUESTRA

Cantidad de muestra : 1000 mL  
Fecha de recepción : 2018-02-26  
Fecha de inicio del ensayo : 2018-02-26  
Fecha de término del ensayo : 2018-03-01

### 4. ENSAYOS Y RESULTADOS:

Ensayos Microbiológicos	Resultados
Bacterias coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	20

NMP/100 mL: Número más probable en 100 mililitros.

#### Método:

Coliformes termotolerantes (NMP) : [BNCWW-APHA-WWW-WEP, Part 921 E-1, 23rd Ed., 2017, Pag. 9-74, Multiple-Tube Fermentation Technique for members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure, Thermotolerant Coliform Test \(EC Medium\).](#)

### 5. OBSERVACIONES:

- Prohibida la reproducción total y parcial de este informe, sin la autorización de BioSLab E.I.R.L.
- Los resultados corresponden a las muestras analizadas y no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- La adulteración o uso indebido del presente informe constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia.

Fecha de emisión: Ica, 02 de marzo del 2018



*[Firma]*  
Dra. Ana B. Altamirano Diaz  
GERENTE TÉCNICO  
C.B.P. N° 5182



**VALLE GRANDE**  
Laboratorio de Química Agrícola

**50 AÑOS**  
1965 - 2015

SOLICITANTE : JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO

ANÁLISIS N° : 947-01S -2016

PREDIO : JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO

LUGAR : ICA

MATRIZ : SUELO INVESTIGACION

FECHA DE RECEP. : 28/09/2016

**INFORME DE ANÁLISIS SUELO - ESPECIAL**

**PARÁMETRO : MATERIA ORGÁNICA (M.O)**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
ALREDEDORES DE LA LAGUNA DE OXIDACION DE CACHICHE - ICA	0.45	%	MES - 007	Walkley y Black

**Donde :**

MES : Método Propio del Laboratorio.

**NOTA:**

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

**MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón**  
**JEFE DEL LABORATORIO**



**MSc. Agr. Julio Castro Lazo**  
**DIRECTOR DEL LABORATORIO**

**Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular**

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



**VALLE GRANDE**  
Laboratorio de Química Agrícola

**50 AÑOS**  
1965 - 2015

SOLICITANTE : JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO

ANÁLISIS N° : 947-02S -2016

PREDIO : JOANA LUCIA ESPINOZA PACHECO

LUGAR : ICA

MATRIZ : SUELO INVESTIGACION

FECHA DE RECEP. : 28/09/2016

**INFORME DE ANÁLISIS SUELO - ESPECIAL**

**PARÁMETRO : MATERIA ORGÁNICA (M.O)**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
ALREDEDORES DE LA LAGUNA DE OXIDACION DE CACHICHE CON MATERIA OGÁNICA DE LODOS ACTIVOS	2.41	%	MES - 007	Walkley y Black

**Donde :**

MES : Método Propio del Laboratorio.

**NOTA:**

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

**MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón**  
JEFE DEL LABORATORIO



**MSc. Agr. Julio Castro Lazo**  
DIRECTOR DEL LABORATORIO

**Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular**

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe