

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Facultad de Ciencias Farmacéuticas. Bioquímicas y
Biotecnológicas

Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica



BIOELECTROGENÉISIS A PARTIR DE AGUAS RESIDUALES DEL PARQUE INDUSTRIAL DE RÍO SECO UTILIZANDO ASOCIACIÓN SINTRÓFICA DE MICROALGAS Y BACTERIAS NATIVAS

Tesis presentada por la Bachiller:

Terán Galarza. Cynthia Juana

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Biotecnóloga

Asesor: Dr. Roque Rodríguez, Francisco Javier

Arequipa – Perú

2017



DEDICATORIA



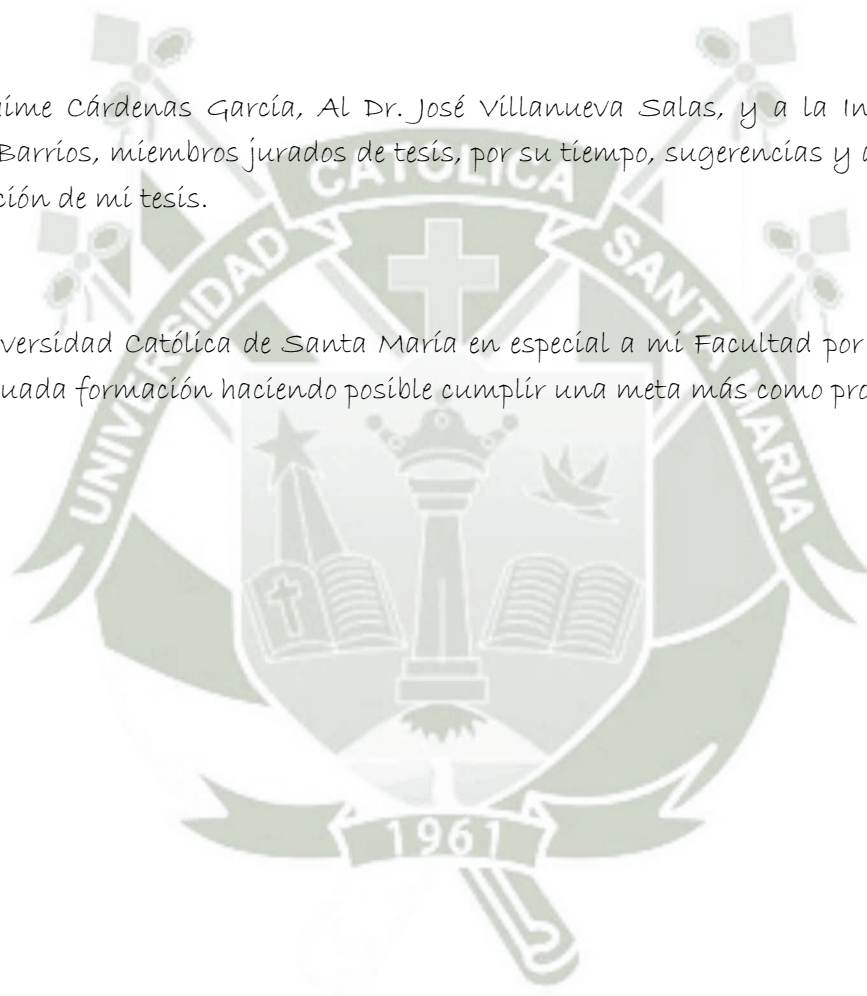
A Dios por darme la fortaleza y paciencia para poder lograr esta meta, el cual fue uno de mis objetivos. A mi Padres por seguir apoyándome de una forma incondicional, dándome fuerza y coraje para poder alcanzar cada una de mis metas y sueños. A mi familia en general, de los cuales siempre tome en cuenta cada uno de sus consejos y ánimos para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Javier Roque Rodríguez, asesor de tesis, el cual desde mi formación y hasta hoy como asesor, siempre pude recibir su apoyo y consejos gracias a sus conocimientos y experiencias propias como profesional.

Al Dr. Jaime Cárdenas García, Al Dr. José Villanueva Salas, y a la Ing. Cinthia Córdova Barrios, miembros jurados de tesis, por su tiempo, sugerencias y apoyo en la culminación de mi tesis.

A la Universidad Católica de Santa María en especial a mi Facultad por brindarme una adecuada formación haciendo posible cumplir una meta más como profesional.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	
HIPÓTESIS	
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Contaminación del agua	1
1.1.1. Nutrientes en la aguas residuales.....	2
1.2. Microalgas	5
1.2.1. La microalga <i>Scenedesmus obliquus</i>	5
1.2.2. La microalga <i>Chorella vulgaris</i>	9
1.3. Fotobiorreactores	13
1.3.1. Fotobiorreactores tipo panel	14
1.3.2. Diseño de un fotobiorreactor	15
1.4. Estructura básica de un sistema bioelectroquímico.....	17
1.5. Principio de un sistema bioelectroquímico.....	20
1.6. Mecanismo de transferencia de electrones	22
1.7. Consorcio microbianos y sintrofia.....	22
CAPÍTULO II.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN	25
2.3. MATERIALES.....	26
2.3.1. MATERIAL BIOLÓGICO	26
2.3.2. MATERIAL QUÍMICOS.....	26
2.3.3. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN	26
2.4. MÉTODOS.....	27
2.4.1. Obtención de agua residual y lodos procedente del PIRS	27
2.4.1.1. Preparación y activación de lodos del consorcio de bacterias anaerobias	27

2.4.2. Recolección de microalgas procedente de las aguas residuales del Parque Industrial de Rio Seco del PIRS	28
2.4.2.1. Aislamiento y cultivo de microalgas	28
2.4.2.2. Diluciones sucesivas para el aislamiento de microalgas	28
2.4.2.3. Plaqueo	28
2.4.2.4. Cultivo y propagación del crecimiento de microalgas aislada del PIRS en condiciones controladas de fotobiorreactor tipo panel	29
2.4.3. Diseño y construcción un sistema bioelectroquímico mixto aerobio- anaerobio, para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.....	29
2.4.4. Evaluación de la biomasa de microalgas empacadas en la celda aeróbica (cátodo) del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	31
2.4.5. Evaluación de los parámetros físicoquímicos de las aguas residuales remediadas del PIRS en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	32
2.4.6. Caracterización del desempeño en el sistema mixto bioelectroquímico aerobio – anaerobio, por método electroquímico, en términos de intensidad de corriente, densidad de corriente, voltaje y densidad de potencia generada	32
2.4.7. Análisis y procedimiento de datos.....	32
CAPÍTULO III	33
RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
3.1. Obtención de agua residual y lodos procedente del PIRS	33
3.1.1. Preparación y activación de lodos del consorcio de bacterias anaerobias.....	35
3.2. Recolección de microalgas procedente del PIRS	35
3.2.1. Aislamiento y cultivo de microalgas	36
3.2.2. Cultivo y propagación del crecimiento de microalgas aislada del PIRS en condiciones controladas de fotobiorreactor tipo panel	38
3.3. Diseño y construcción un sistema bioelectroquímico mixto aerobio- anaerobio, para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.....	40
3.4. Evaluación de la biomasa de microalgas empacadas en la celda aeróbica (cátodo) del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	41
3.5. Evaluación de los parámetros físicoquímicos (pH, STD, DBO, DQO, OD, temperatura) de las aguas residuales remediadas del PIRS en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	45

3.6. Caracterización del desempeño en el sistema mixto bioelectroquímico aerobio– anaerobio, por método electroquímico, en términos de intensidad de corriente, densidad de corriente, voltaje y potencia generada	59
CONCLUSIONES.....	64
SUGERENCIAS.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	66
ANEXOS.....	74



Índice de Figuras

Figura 1. Imagen de la microalga <i>Scenedesmus obliquus</i> visto al microscopio óptico a 100X ..	6
Figura 2 Imagen de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i>	11
Figura 3 Fotobiorreactores tipo pantalla delgada (flat panel).....	15
Figura 4 Esquema del sistema bioelectroquímico tipo H.....	17
Figura 5. Diseño del sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio., para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.	30
Figura 6. Representación esquemática del sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio., para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.	31
Figura 7. Galería fotográfica del muestreo de aguas residuales y lodos del PIRS	35
Figura 8. Galería fotográfica del muestreo de aguas residuales del PIRS.....	36
Figura 9. Fotografía del aislamiento de microalga, mediante diluciones sucesivas.....	37
Figura 10. Fotografía del aislamiento de microalga, mediante cultivo de las diluciones	37
Figura 11. Diagrama fotobiorreactor tipo panel.....	38
Figura 12. Fotografía del fotobiorreactor del cultivo y propagación del crecimiento de microalgas aisladas del PIRS.....	39
Figura 13. Fotografía microscópica del cultivo de microalgas mixto	39
Figura 14. Galería fotográfica de la preparación de la membrana del intercambio de protones	40
Figura 15. Sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	41
Figura 16. Recuento de cultivo mixto con <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus obliquus</i> en cámara de Newbauer a 10X.....	42
Figura 17. Gráficas de comparación del crecimiento de microalgas en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación	44
Figura 18. Gráficas de comparación del DBO en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	46
Figura 19. Gráficas de comparación del DQO en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación	48

Figura 20. Gráficas de comparación del OD en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	50
Figura 21. Gráficas de comparación de la demanda bioquímica de pH en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.	52
Figura 22. Gráficas de comparación de la conductividad en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.	54
Figura 23. Gráficas de comparación de la STD en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	56
Figura 24. Gráficas de comparación de la temperatura en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.	58
Figura 25. Gráfica de resistencia según el voltaje en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	59
Figura 26. Gráfica de densidad de corriente según su densidad de potencia en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación. ..	60
Figura 27. Gráfica de densidad de potencia según tiempo de evaluación en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	61
Figura 28. Gráfica de voltaje según tiempo de evaluación en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio.....	62
Figura 29. Fotografías del acondicionamiento de los lados.	74
Figura 30. Fotografías de la preparación y activación de los lodos.	75
Figura 31. Fotografía de la carga de agua residual.....	75

Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación del crecimiento de microalgas en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación	43
Tabla 2. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación del DBO en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	45
Tabla 3. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación del DQO en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	47
Tabla 4. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación de la concentración de OD en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	49
Tabla 5. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación del pH en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	51
Tabla 6. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación de la conductividad en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación	53
Tabla. 7. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación de la concentración de STD en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación.....	55
Tabla. 8. Análisis de varianza que muestra la evaluación y comparación de la temperatura en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, para diferentes tiempos de evaluación	57
Tabla. 9. Número AWG	74
Tabla. 10. Recuento de microalgas mixta	76
Tabla. 11. Evaluación de parámetros fisicoquímicos	76
Tabla. 12. Caracterización en el desempeño del sistema mixto bioelectroquímico aerobio-anaerobio	78
Tabla. 13. Promedio y desviación estandar del voltaje, intensidad de corriente, resistencia, densidad de corriente y densidad de potencia generada	79

Lista de Símbolos y abreviaturas

APHA	Asociación Americana de Salud Pública
AWWA	Asociación Americana del agua
ANOVA	Análisis de varianza
cm ²	Centímetros cuadrados
°C	Grados centígrados
CO ₂	Dióxido de carbono
C	Carbono
cel	Células
Cd	Cadmio
CH ₄	Metano
CaCl ₂	Cloruro de calcio
CoCl ₂	Cloruro de cobalto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DMRB	Bacterias reductoras desasimiladoras de metal
dH ₂ O	Agua destilada
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
Fe ²⁺	Ion de hierro (II)
Fe ³⁺	Ion de hierro (III)
FBR	Fotobiorreactor
FeCl ₃	Cloruro férrico
Fig	Figura.
F	Fisher
g	Gramos
h	Hora
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₂	Dihidrógeno

H ₂ O	Agua
Hg	Mercurio
HPO ₄ ⁻²	Fosfato monoácido
HPO ₄ ⁻	Fosfato ácido
HRAP	Estanques algal de alta tasa
NH ₃	Amoniaco
NH ₄ ⁺	Ión Amonio
K ₂ HPO ₄	Fosfato dipotásico
L	Litro
mL	Mililitros
mm	Milímetros
mm ²	Milímetros cuadrados
mV	Milivoltios
mA	Miliamperios
m ²	Metros cuadrados
mW	Miliwatts
mg	Miligramos
m ³	Metros cúbicos
MO	Materia orgánica
MOD	Materia orgánica disuelta
MIP	Membrana de intercambio de protones
MgSO ₄	Sulfato de magnesio
MnCl ₂	Cloruro de manganeso
M	Molar
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
NaNO ₃	Nitrato de sodio
NaCl	Cloruro de sodio
NaMoO ₄	Molibdato de sodio
NO ₃ ⁻	Nitrato
NH ₃	Amoniaco

NH_4^+	Ión Amonio
N	Nitrógeno
N°	Número
OD	Oxígeno Disuelto
O	Oxígeno
O_2	Oxígeno diatómico
PIRS	Parque Industrial Rio Seco
pH	Potencial de hidrógeno
P	Fósforo
PEM	Membrana conductora selectiva
psi	Libra por pulgada cuadrada.
pK	Constante de disociación
PO_4	Fosfato
Pb	Plomo
pag	Página
STD	Sólidos totales disueltos
%	Porcentaje
s	Segundos
TW	TeraWatts
TAG	Triacilglicerol
μS	Microsiemens
μm	Micrómetro
μm^3	Micrómetro cúbico
\bar{X}	Promedio
ZnCl_2	Cloruro de Zinc

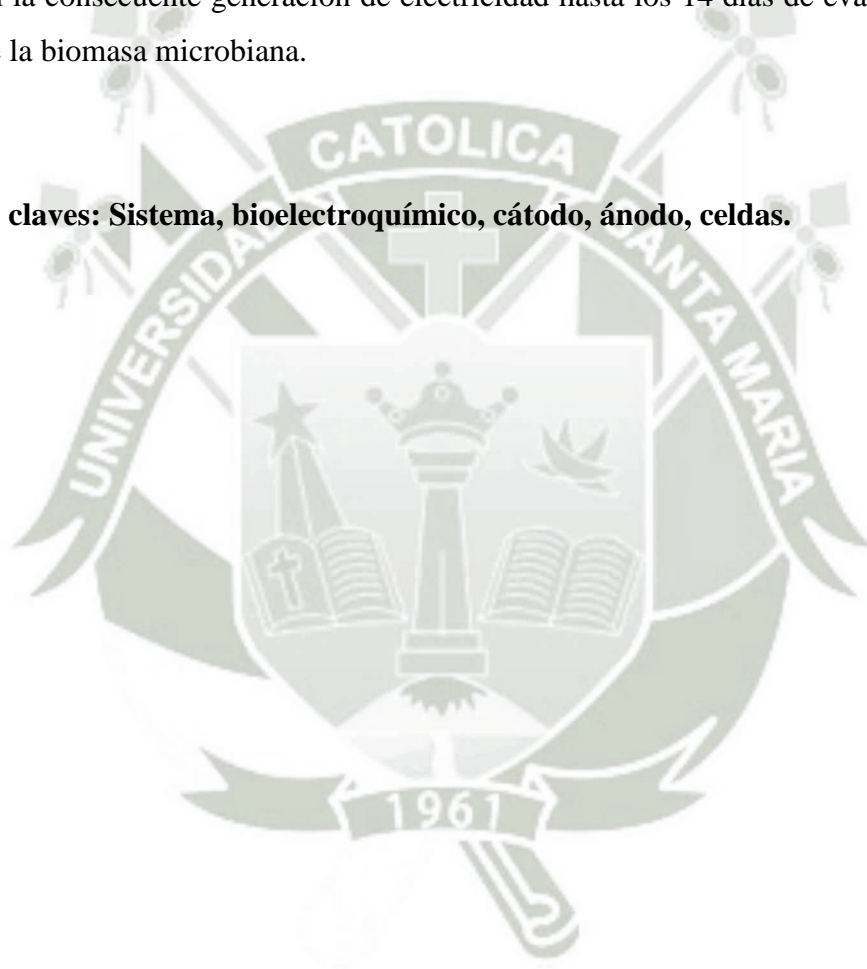


RESUMEN

En este estudio se evaluó la producción de energía eléctrica a partir de las aguas residuales del Parque Industrial de Rio Seco (PIRS). Esto se llevó a cabo con la asociación sintrófica de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* y un consorcio de bacterias anaerobias nativas de las aguas residuales del PIRS. Estas fueron empacadas en un sistema bioelectroquímico mixto aerobio- anaerobio con dos celdas de 1000mL de capacidad, y electrodos de grafito de 70cm² de área; donde en el sistema bioelectroquímico la celda del cátodo fue empacada con el cultivo mixto de microalgas, mientras que el ánodo fue empacado con lodos activados del consorcio de bacterias anaerobias. Ambas celdas fueron separadas por una membrana de intercambio de protones previamente activada. El sistema bioelectroquímico generó un voltaje promedio de 66.50 ± 1.70 mV, una densidad de corriente promedio de 0.02 ± 0.00 mA/mm² y una densidad de potencia promedio de 2.43 ± 0.33 mW/mm², a una temperatura promedio de 18.90 ± 0.00 °C en el cátodo y 18.70 °C ± 1.00 °C en el ánodo, hasta los 14 días de evaluación. También se evaluó los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del PIRS, los cuales presentaron una concentración residual promedio de la DBO de 4017.20 ± 78.80 mg/L, con una remoción de 73.21% en el cátodo y 78.08% en el ánodo; la DQO presentó una concentración residual promedio de 10424.00 ± 279.00

mg/L, con una remoción de 62.49% en el cátodo y 56.12% en el ánodo; la concentración residual hasta los 14 días de evaluación de los STD fue de 5680.00 ± 789.00 mg/L con una remoción 65.8% en el cátodo y 69.01% en el ánodo, mientras que también se presentó un aumento gradual del OD hasta 3.10 ± 0.00 mg/L en el cátodo. Los valores de pH evaluados fueron 6.90 ± 0.20 en el cátodo y 7.00 ± 0.40 en el ánodo, mientras que la conductividad presento valores promedio de 1354.00 ± 500.00 μ S en el cátodo y 1326.00 ± 328.00 μ S en el ánodo. Las concentraciones residuales de los parámetros fisicoquímicos evidenciaron una remediación de las aguas residuales del PIRS con la consecuente generación de electricidad hasta los 14 días de evaluación por acción de la biomasa microbiana.

Palabras claves: Sistema, bioelectroquímico, cátodo, ánodo, celdas.



ABSTRACT

In this study, the production of electrical energy from the wastewater of the Rio Seco Industrial Park (PIRS) was evaluated. This was carried out with the synergic association of the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* and a consortium of anaerobic bacteria native to the PIRS wastewater. These were packed in a mixed aerobic-anaerobic bioelectrochemical system with two cells of 1000mL capacity, and graphite electrodes of 70cm² in area; where in the bioelectrochemical system the cathode cell was packed with the mixed culture of microalgae, while the anode was packed with activated sludge from the anaerobic bacteria consortium. Both cells were separated by a previously activated proton exchange membrane. The bioelectrochemical system generated an average voltage of 66.50 ± 1.70 mV, an average current density of 0.02 ± 0.00 mA /mm² and an average power density of 2.43 ± 0.33 mW /mm², at an average temperature of 18.90 ± 0.00 °C in the cathode and 18.70 °C ± 1.00 °C at the anode, up to 14 days of evaluation. The physicochemical parameters of PIRS wastewater were also evaluated, which showed an average residual concentration of BOD of 4017.20 ± 78.80 mg / L, with a removal of 73.21% in the cathode and 78.08% in the anode; the COD showed an average residual concentration of 10424.00 ± 279.00 mg / L, with a removal of 62.49% at the cathode and 56.12% at the anode; the residual concentration up to 14 days of evaluation of the STD was 5680.00 ± 789.00 mg / L with a 65.8% removal at the cathode and 69.01% at the anode, while a gradual increase of the OD also occurred up to 3.10 ± 0.00 mg / L on the cathode. The pH values evaluated were 6.90 ± 0.20 at the cathode and 7.00 ± 0.40 at the anode, while the conductivity showed average values of 1354.00 ± 500.00 μ S at the cathode and 1326.00 ± 328.00 μ S at the anode. The residual concentrations of the physicochemical parameters evidenced a remediation of the PIRS wastewater with the consequent generation of electricity until 14 days of evaluation by action of the microbial biomass.

Key words: System, bioelectrochemical, cathode, anode, cel

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía en el mundo y el uso excesivo de combustibles fósiles han provocado serios problemas de contaminación ambiental y el calentamiento global de la tierra. Por lo que en la actualidad, la investigación a nivel mundial se ha enfocado en la búsqueda de fuentes alternas de energía que contribuyan de manera sustentable a mitigar dicha demanda. Sin embargo, aún no se cuenta con la infraestructura ni la tecnología necesaria para dejar de depender del petróleo como fuente principal de energía. Una de las consideraciones importantes, en la búsqueda de fuentes alternativas, es la liberación de CO₂ a la atmósfera, ya que algunas de ellas, como el proceso de combustión de los hidrocarburos contenidos en el petróleo libera grandes cantidades de CO₂, favoreciendo problemas como el calentamiento global.

La explotación de combustibles fósiles ha afectado significativamente el crecimiento económico mundial en los últimos 20 años. El consumo de energía en el mundo para el 2001 fue proyectado de 13.5 TW a 27 TW y para el 2100 será de 43 TW (7). El consumo de combustibles líquidos como el petróleo crudo, gas natural y biocombustibles se verá incrementado en los años siguientes debido al rápido crecimiento económico y poblacional; el Perú no es ajeno a esta realidad. El alto consumo de energía eléctrica que se genera en las plantas de tratamiento de aguas residuales invita a desarrollar tecnologías alternativas de tratamiento, tal es así que la planta de tratamiento de aguas residuales operativa en la ciudad de Arequipa situada en Chilpina, construida en 1960, trata un volumen de 4 328 027 m³/año, correspondiente a un caudal promedio de 137.15 L/s que representa un 10.66 % del total de aguas recolectadas de la ciudad de Arequipa, además de presentar un sistema de tratamiento de aguas de tecnología convencional, que consta de control de caudal, rejas, desarenadores, sedimentación primaria, tratamiento secundario en biofiltros, sedimentación y la desinfección con cloro (8), representa un alto consumo de energía para un volumen muy bajo del total de aguas residuales generado por la ciudad, es por tanto que surge la necesidad del uso de tecnologías que puedan requerir menor consumo de energía y un menor costo-efectivo para su operación eficiente y generar menos lodos

residuales, además de hacer posible que los sistemas de tratamiento puedan recuperar energía o generar energía para hacer una operación global sostenible en el tratamiento de aguas residuales.

En los últimos años se han desarrollado diversas tecnologías alternativas, que se enfocan en la utilización de la energía acumulada en la biomasa de desechos, para ser redirigida a otras formas de energía, como la bioelectricidad, representando una opción prometedora para la generación de energía renovable que se pueda emplear como electricidad, a partir de sistemas bioelectroquímicos donde gracias al metabolismo microbiano usando como sustrato aguas residuales, es posible la generación de energía.

La generación de bioelectricidad y la remoción de contaminantes de aguas residuales por acción microbiana en sistemas bioelectroquímicos, permitirá la producción de energía eléctrica, además atenuar los efectos tóxicos de contaminantes presentes en las aguas residuales, permitiendo la reutilización de aguas residuales para ciertas operaciones industriales, el riego y la recuperación de zonas impactadas para la recreación o cultivo agrícola.

El uso de microorganismos para la producción de energía representa un medio renovable y sostenible completamente viable, a la vez sistemas bioelectroquímicos con microorganismos que usan como sustrato aguas residuales, hacen posible una bioremediación de estas aguas residuales, que presenta ciertas ventajas frente a otras alternativas tradicionales, por ser mucho más selectivas, de mayor eficacia para grandes volúmenes, generando pocos o ningún subproducto contaminante en su proceso, resultando un mínimo impacto ambiental.

Es por ello que la presente investigación mediante la implementación de sistemas bioelectroquímicos mixto aerobio-anaerobio a escala de laboratorio que utiliza aguas residuales como sustrato para el metabolismo microbiano, pretende disminuir los costos de generación de energía y del tratamiento de las aguas residuales, puesto que no implica monitoreo permanente ni el uso desmesurado de reactivos químicos para lograr su eficiencia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar energía eléctrica de carácter biológico a partir de aguas residuales del Parque Industrial de Río Seco (PIRS) utilizando asociación sintrófica de microalgas y bacterias nativas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aislar e identificar un consorcio de bacterias anaeróbicas y microalgas, a partir de aguas residuales del Parque Industrial de Río Seco (PIRS).
2. Diseñar y construir un sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio, para la producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.
3. Generar bioelectricidad y evaluar el desempeño del sistema mixto bioelectroquímico aerobio – anaerobio. por método electroquímico, en términos de voltaje, intensidad de corriente, densidad de corriente y densidad de potencia generada.
4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del PIRS del sistema bioeletroquímico mixto aerobio- anaerobio.

HIPÓTESIS

La asociación sinérgica entre la fermentación bacteriana en el ánodo y la fotosíntesis productora de oxígeno por la asociación sintrófica de microalgas en el cátodo, en un sistema bioelectroquímico mixto anaerobio – aerobio, podría ser muy efectiva en la bioelectricidad a partir de aguas residuales del PIRS.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Contaminación del agua

La contaminación del agua es una consecuencia inherente de la operación y desarrollo de las sociedades y/o comunidades actuales. Los residuos líquidos de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, mineros y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas son llamadas aguas residuales.

Ya que cualquier comunidad humana debe finalmente regresar sus desechos líquidos a un cuerpo de agua receptor, la contaminación de los cuerpos de agua (subterráneos y superficiales) se produce cuando, las descargas de aguas residuales alcanzan los cuerpos naturales de agua mediante el drenaje o a través del alcantarillado. De esta manera el termino contaminación del agua puede ser definido como “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía en el agua, que implica una alteración perjudicial de su calidad, impidiendo su capacidad de asimilación por la naturaleza (9).

1.1.1. Nutrientes en las aguas residuales

Los nutrientes forman parte de la composición química de cualquier agua residual. Los nutrientes son elementos indispensables que pueden ser asimilados y metabolizados para el crecimiento de los organismos vivos. Los principales nutrientes o llamados macronutrientes son C, N, O y P y se requieren en grandes cantidades. Estos nutrientes se encuentran en forma de compuestos. Los compuestos que contienen cadenas de 2 o más átomos de carbono son llamados compuestos orgánicos y constituyen la llamada materia orgánica (MO). Los compuestos orgánicos asimilables por los organismos son los llamados nutrientes orgánicos y forman parte de la materia orgánica disuelta (MOD). No todos los compuestos orgánicos pueden ser llamados nutrientes, puesto que no todos son asimilables por los organismos. Los compuestos que no contienen carbono como los formados por moléculas con nitrógeno y fósforo que son asimilables por los organismos son llamados nutrientes inorgánicos (10).

Carbono

El efecto de la MO proveniente de aguas residuales, producen en el cuerpo receptor los siguientes impactos (9), (11), (12):

- a) Sobrecarga de la fase sólida.
- b) Condiciones sépticas con la presencia de gérmenes, parásitos y patógenos.
- c) Disminución del oxígeno disuelto, a causa de que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio.
- d) El agua se torna oscura, de olor desagradable, se reduce la entrada de luz.
- e) Impactos negativos atascando los órganos respiratorios de animales acuáticos y filtradores.
- f) Los tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos que eliminan los organismos depuradores inhiben el desarrollo de microorganismos y animales superiores, impidiendo las reacciones enzimáticas.

- g) Alteración del pH.
- h) Alteración del equilibrio salino (balance en sodio. calcio. etc.).

Debido a la complejidad en la composición de la materia orgánica en el agua residual, esta es medida indirectamente por los siguientes parámetros: sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, materia flotante, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Las concentraciones permisibles de estos parámetros en descargas de agua residual a cuerpos receptores naturales, quedan establecidas en la Normas Oficiales que “Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas”.

Nitrógeno

El nitrógeno se puede encontrar de nueve formas en el ambiente, debido a 7 estados de oxidación. En promedio la concentración de nitrógeno total encontrado en las aguas residuales domésticas es de 35mg/L (12). En las aguas residuales domésticas, el nitrógeno es encontrado en la forma de nitrógeno orgánico, nitrito, nitrato y amonio. A pH neutro, el 99% del amoniaco (NH_3) se encuentra protonado formando el ión amonio (NH_4^+). La concentración de amoniaco aumenta cuando se incrementa el pH a valores mayores de 8.5 debido a la desprotonización del amonio por su constante de disociación (pK). El agua residual puede introducir altas cantidades de amonio y nitratos al ambiente de los cuerpos de agua receptores. Esto puede generar problemas ambientales, los cuales son (13):

- a) Toxicidad en animales acuáticos. El amoniaco es tóxico para organismos como los peces.
- b) Agotamiento del oxígeno disuelto. El agotamiento del oxígeno afecta adversamente a la vida acuática. El amonio aumenta la demanda de oxígeno del cuerpo de agua receptor se presume que 1mg de amoniaco puede ejercer una demanda de oxígeno de 4.6 mg de O_2 .
- c) Eutrofización de aguas superficiales. La descarga de nitrógeno a los cuerpos de agua receptores puede estimular el crecimiento masivo de algas y plantas por asimilación

autotrófica. Este impacto será ampliado en el siguiente apartado que habla sobre el fósforo en agua residual.

- d) Efecto negativo del amonio sobre la eficiencia de la desinfección por cloración. El cloro se combina con el amonio para formar la sal cloruro de amonio y cloroaminas las cuales reducen el efecto germicida del cloro libre.
- e) Efecto corrosivo. Las concentraciones mayores a 1mg/L de amonio tienen un efecto corrosivo en las tuberías de cobre.
- f) Metemoglobinemia en humanos. La methemoglobinemia se presenta por la conversión de nitrato a nitrito por bacterias reductoras de nitrato en el tracto gastrointestinal, que al ser absorbido al torrente circulatorio, oxida el grupo Fe^{2+} de la hemoglobina a Fe^{3+} transformándola en metemoglobina un pigmento café incapaz de acarrear oxígeno molecular, con la consecuencia final de sofocación.
- g) Efecto mutagénico y carcinogénico. El Nitrito también puede combinarse con las aminas secundarias de la dieta formando nitrosaminas, las cuales se sabe, son compuestos mutagénicos y carcinogénicos. La norma oficial peruana establece el valor máximo de 60mg/L de nitrógeno total en las descargas de agua residual a ríos y embalses naturales.

La norma oficial peruana, que establece los “límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, estipula que las aguas potables deben de tener valores máximos de 0.50mg /L de $N-NH_4^+$. 0.05mg/L de $N-NO_2$ - y 10mg/L de $N-NO_3$.

Fósforo

Al igual que el carbono y el nitrógeno, el fósforo se puede encontrar en el ambiente de manera orgánica e inorgánica. Debido a su reactividad, el fósforo no se encuentra libre en la naturaleza, por lo que principalmente se encuentra como fosfato, específicamente como ortofosfato PO_4 .

Las mayores aportaciones de fosfato a las aguas receptoras provienen de los escurrimientos de las tierras agrícolas y de los efluentes de agua residual domestica e industrial (14), estima que se han aplicado 600g de fósforo como fertilizante a la superficie terrestre. La concentración promedio de fósforo total (orgánico e inorgánico)

en agua residual es de 10-20 mg/L, el cual proviene generalmente de los detergentes convencionales de uso doméstico (12).

Casi el 90% del fósforo del agua residual tratada se encuentra en forma de ortofosfato (15).

1.2. Microalgas

Las microalgas son organismos fotosintéticos microscópicos que se encuentran en ambos ambientes marinos y de agua dulce, y posee un mecanismo fotosintético que es bastante similar a las plantas terrestres. En términos de biomasa, forman el mayor grupo mundial de los productores primarios, responsable de al menos el 32% de la fotosíntesis mundial (16). La biomasa de algas en cultivo necesita nutrientes mínimos y de condiciones ambientales, mientras que la biomasa muerta no requiere nutrientes específicos u oxígeno. Además, son adecuados para sistemas aeróbicos y anaeróbicos, y no se requiere la inmovilización en comparación con otros microbios (17).

1.2.1. La microalga *Scenedesmus obliquus*

La microalga *Scenedesmus obliquus* presenta un cenobio curvado, compuesto de 4 células lineales o ligeramente alternadas, las cuales son rectas, anchas, fusiformes, con ápices agudos. Presentan dimensiones celulares de 13.6 - 18.9 x 4.7 - 7.3 μm . El género *Scenedesmus* fue descrito por primera vez por Teodoresco en 1905, y su nombre fue otorgado por M. F. Dunal, que fue el primero en reconocer que el color rojo de ciertos reservorios hipersalinos era producido por ésta alga. Este género posee 29 especies y una gran cantidad de variedades aún no muy bien definidas. Todas las algas de este género son unicelulares pero se diferencian enormemente en tamaño y forma. Sus dimensiones varían entre 8 y 25 μm de largo y 5-15 μm de ancho. Pueden ser ovoides, periformes, alargadas o esféricas con una papila apical bien definida cuando se trata de individuos pequeños, y ovoides o elípticas con un estrechamiento en la parte central y una papila apical muy pequeña o ausente cuando las células son grandes. (18).

El volumen celular del ejemplar más grande de este género, mayor que el de las demás estirpes de *Scenedesmus*, es del orden de 300-1000 μm^3 . En condiciones ambientales

desfavorables se transforma en una esfera rojiza de $2000 \mu\text{m}^3$. *Scenedesmus* tiene los orgánulos celulares típicos: núcleo rodeado de membrana, mitocondrias, pequeñas vacuolas, Golgi y una mancha ocular. Además, presenta un cloroplasto de gran tamaño en forma de copa con un pirenoide simple embebido en la parte basal. Este pirenoide está rodeado de gránulos de polisacárido que son el producto de reserva. Su principal característica morfológica es la ausencia de una pared celular rígida de polisacárido. La célula está incluida en una delgada y elástica membrana plasmática y envuelta mucídica. Esto le permite responder rápidamente a cambios osmóticos, alterando su forma y volumen celular. Por otro lado, ésta falta de pared celular rígida aumenta su sensibilidad a fuerzas de tensión externa e impone algunas limitaciones a la manipulación de los cultivos (19).

Clasificación sistemática de *Scenedesmus obliquus*

Según Hoek. Mann y Jahns (19), la microalga *Scenedesmu obliquus* puede clasificarse de la siguiente forma:

Clasificación científica:

Dominio: *Eukaryota*

Reino: *Plantae*

División: *Chlorophyta*

Clase: *Chlorophyceae*

Orden: *Chlorococcales*

Familia: *Scenedesmaceae*

Especie: *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing 1833

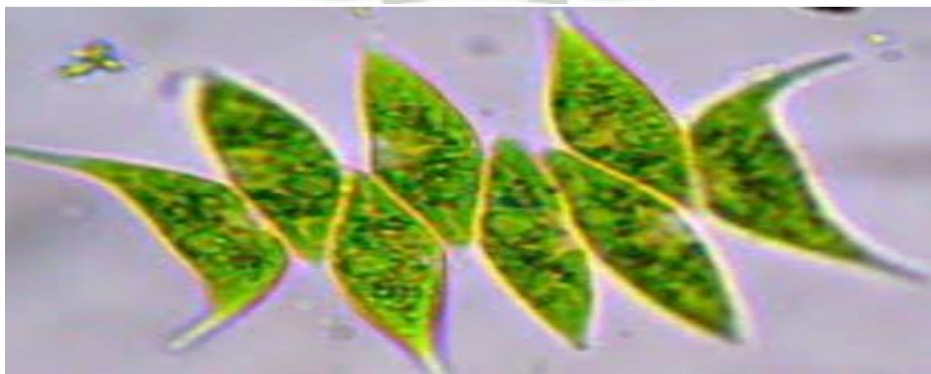


Figura N°1. Imagen de la microalga *Scenedesmus obliquus* visto al microscopio óptico a 100X (20).

Parámetros del cultivo *Scenedesmus obliquus*

Las microalgas en un cultivo para biorremediación deben cumplir con 3 condiciones: alta tasa de crecimiento; alta tolerancia a la variación estacional y diurna si es un sistema abierto; y buena capacidad para formar agregados para una cosecha por simple gravedad (21). Además, altos niveles de componentes celulares valiosos (por ejemplo lípidos para generación de biodiesel).

Algunas especies presentes en aguas contaminadas son utilizadas en tratamientos de aguas residuales por su elevada tolerancia. Además, varias de éstas también son utilizadas para fines comerciales específicos (21).

- a) **Luz:** La intensidad lumínica es uno de los principales parámetros a considerar en un cultivo (22). En ausencia de limitación por nutrientes la fotosíntesis se incrementa con el aumento de la intensidad lumínica, hasta alcanzar la máxima tasa de crecimiento específica para cada especie en el punto de saturación por luz (21). Pasado este punto, se alcanza el punto de fotoinhibición, con resultados perjudiciales para la misma célula e incluso la muerte, implicando pérdida de eficiencia fotosintética y productividad del cultivo.

Los cultivos microalgales exteriores suelen sufrir fotoinhibición en las principales horas del día debido a la alta intensidad lumínica (23). Bajo ciertas condiciones, los cultivos con mayor densidad celular (> 3 g/L) son capaces de utilizar la luz incidente con mayor eficiencia en comparación con cultivos convencionales diluidos (22). Esto se debe al auto sombreado, donde las células más cercanas a la superficie dan sombra a las capas inferiores, con células más alejadas de la superficie (24).

Un sistema de mezcla eficiente permitirá un acceso periódico de todas las células a la luz, de lo contrario, será perjudicial puesto que la intensidad lumínica decrece con el aumento de la turbidez (24). En sistemas HRAP (High Rate Algal Ponds), el mecanismo de paletas provee una eficiente mezcla vertical permitiendo una exposición intermitente de las células a la luz (21).

- b) **Temperatura:** La producción algal aumenta proporcionalmente con la temperatura hasta alcanzar la temperatura óptima de cada especie. Por encima de esta, aumenta la

respiración y la fotorrespiración reduce la productividad global. La temperatura óptima varía entre las especies, pero en general está entre 28°C y 35°C (21). En un sistema de cultivo cerrado, la temperatura se puede controlar por varios mecanismos, tales como rociadores de agua, inmersión del colector solar en piscinas. reactor dentro de un invernadero, etc. (23). Por el contrario, en un sistema de cultivo abierto es muy difícil de controlar, aunque se pueden realizar ciertas acciones simples para disminuir el efecto, como cubrir los estanques con plásticos transparentes (25), (23), (21).

- c) **pH y CO₂:** El pH del cultivo está influenciado por varios factores como la productividad algal, la respiración, la alcalinidad y composición iónica del medio de cultivo, la actividad microbiana autotrófica y heterotrófica y la eficiencia del sistema de adición de CO₂ (23), (21). Como en los otros parámetros, cada especie necesita un rango determinado de pH que permita un crecimiento óptimo (23), siendo pH 8 el más indicado para especies dulceacuícolas (21). Por encima o debajo de éste, presentan un descenso en la productividad, que no solo afecta el crecimiento algal, sino también la capacidad de remover el nitrógeno en sistemas de tratamientos de aguas (21). El pH puede controlarse con un sistema automatizado de inyección de CO₂, o incluso, con adicción de ácido o base permitiendo además, suministrar CO₂ necesario para cultivos de alta productividad (26),(23), (27). Las necesidades de CO₂ pueden ser considerables, por lo que los costos asociados pueden ser también elevados para un cultivo comercial (27), de ahí la importancia de buscar una forma económica de mitigar estos costos. Así, se han realizado variados estudios sobre las capacidades de diferentes microalgas para la fijación de CO₂ desde diversas fuentes gaseosas (28), (29), considerándose altamente eficientes en este proceso. De esta manera, se ha sugerido la creación de cultivos comerciales para trabajar en conjunto con fuentes generadoras de CO₂, como cogeneradores. También han sido utilizadas en la depuración de biogás a partir de digestión anaerobia, limpiando el gas resultante de CO₂ y H₂S y elevando su capacidad calorífica (28), (27), (21), aunque la literatura sobre la técnica aún es escasa. La adición de CO₂ ha demostrado mejorar la productividad a escala experimental en tratamiento de aguas residuales, aumentando la productividad incluso a más del doble (28), (21). Se trata de hecho de una práctica estándar en todos los sistemas para producción de algas comerciales (23), (21).

d) **Nutrientes:** El nitrógeno es el nutriente más importante para las microalgas (después del carbono) y se incorpora como nitrato (NO_3^-) o como amonio (NH_4^+) (30). Es también un factor crítico para regular el contenido de lípidos de las microalgas (21). Típicamente, las microalgas tienen un contenido lipídico aproximadamente del 20%, pero cuando el nitrógeno se convierte en el factor limitante del crecimiento, la acumulación de los niveles de lípidos aumenta en más de 40% (21). Sin embargo, usando la limitación de nitrógeno para estimular la acumulación de lípidos en las células de algas, a menudo reduce la producción de algas, lo que sugiere que las 2 condiciones, alto contenido en lípidos y alta productividad, pueden ser mutuamente excluyentes (21). El fósforo es fundamental en muchos procesos celulares, tales como la formación de ácidos nucleicos y transferencia de energía (30). Aunque el contenido en fósforo de las microalgas es menor al 1%, su deficiencia en el medio de cultivo es una de las mayores limitaciones al crecimiento. En los medios de cultivo suele incorporarse en forma de HPO_4^{2-} o HPO_4^- (30), (23).

1.2.2. La microalga *Chlorella vulgaris*

Chlorella apareció en la Tierra hace aproximadamente 1.5 o 2 mil millones de años. El nombre *Chlorella* proviene del griego *Chloros*, que significa verde, y del latín *ella*, que significa cosa pequeña, y fue descubierta y nombrada por un holandés. Posteriormente, se aisló y caracterizó un gran número de especies de *Chlorella*. Las células de *Chlorella* son esféricas o elipsoidales con un tamaño que oscila entre 2 y $10\mu\text{m}$ de diámetro. Se distribuyen en diversos hábitats como agua dulce, agua de mar, suelo, siendo de vida libre o simbiótica con líquenes y protozoos. *Chlorella* se reproduce asexualmente mediante autosporas. El proceso consiste en tres fases: crecimiento (aumento del tamaño celular), maduración (cantidades crecientes de sustancias nucleares para la mitosis) y división (división de la célula madre en células hijas). La ruptura de la pared celular madre libera simultáneamente 2-16 autosporas. 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 (31). Debido a su ciclo de vida simple, alto potencial de crecimiento a su maquinaria fotosintética y vías metabólicas similares a las plantas superiores. *Chlorella* se ha, utilizado durante mucho tiempo como un organismo modelo para entender la fotosíntesis y asimilación de carbono en plantas superiores. Posee un alto contenido de proteínas (hasta el 70% del peso seco de las células) es rica en minerales, vitaminas y carotenoides, también *Chlorella* es un sustituto nutricional ideal para los seres humanos y animales. Hasta la fecha. *Chlorella* se produce como alimento saludable en humanos en Alemania. Japón. China y varios otros países asiáticos. *Chlorella* también posee la capacidad para sintetizar grandes cantidades (hasta el 50% del peso seco) de lípidos almacenados neutros principalmente en forma de triacilglicerol (TAG) bajo condiciones de estrés (por ejemplo. luz alta o deficiencia en nitrógeno), convirtiéndolo en un organismo candidato prometedor para biocombustibles a base de lípidos. El acoplamiento potencial de la producción de biocombustibles con biorremediación de aguas residuales puede compensar el costo de la producción de biocombustibles y proporcionar beneficios ambientales significativos. Las células de *Chlorella* están emergiendo como una fábrica para producir químicos, tales como carotenoides y proteínas recombinantes (31).

Clasificación sistemática de *Chlorella vulgaris*

La microalga *Chlorella vulgaris* taxonómicamente se encuentra clasificada de la siguiente manera (32):

Reino: Protista

División: *Chlorophyta*

Clase: *Chlorophyceae*

Orden: *Chlorococcales*

Familia: *Oocystaceae*

Género: *Chlorella*

Especie: *Chlorella vulgaris*

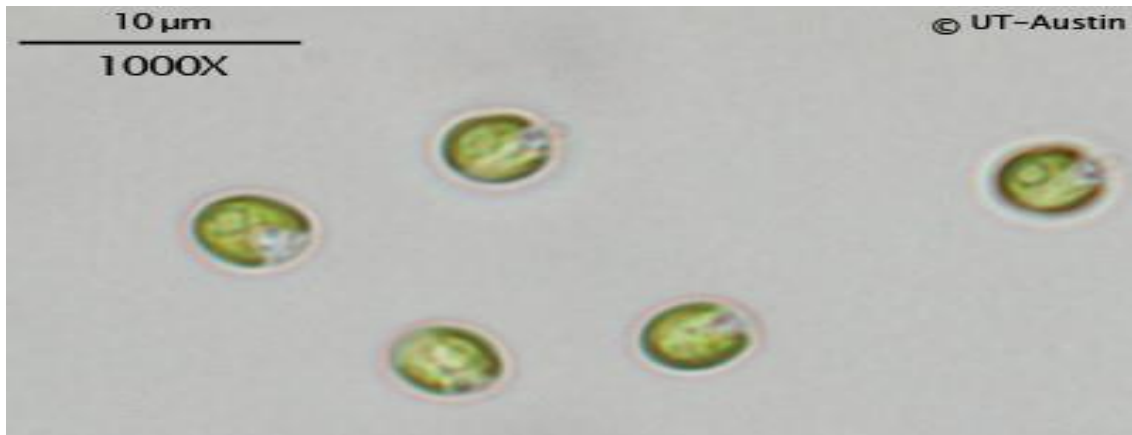


Figura N°2. Imagen de la microalga *Chlorella vulgaris*. (33).

Usos potenciales de *Chlorella vulgaris*.

Comparada con otras plantas, la microalga *Chlorella* tiene una alta concentración de clorofila, así que su capacidad de fotosíntesis es muchas veces mayor que la de otras plantas. *Chlorella vulgaris* puede dividirse en cuatro células cada 20 horas.

En el curso del tiempo, el uso continuo del alga bajo condiciones controladas ha sido importante, con diversas posibilidades económicas. La investigación con la microalga ha demostrado que la biomasa puede ser usada para aplicaciones, como son: alimento para animales, biofertilizantes, condicionador del suelo, alimento de los acuarios o puede ayudar a resolver problemas de salud pública, por medio de la purificación biológica de las aguas negras de las ciudades.

Chlorella está siendo investigada como un nuevo recurso alimenticio (ya que una célula de *Chlorella* contiene cerca de 50% de proteínas, 5% de clorofila y un gran número de vitaminas y carotenos) para utilizarse en las poblaciones humanas pobres de todo el mundo y para proveer comida y oxígeno en viajes al espacio y en submarinos (34).

Según se ha documentado, posee beneficios terapéuticos, como la capacidad de desintoxicar al organismo de metales pesados como el Hg, el Cd y el Pb entre otros químicos, que son contaminantes agregados a insecticidas o plásticos. Las investigaciones sobre el cultivo de microalgas revisten gran importancia dada su amplia aplicación biotecnológica y comercial. En tal sentido, se han utilizado los cultivos

discontinuos por su relativo fácil manejo, para determinar la cinética de crecimiento y los parámetros que influyen en el desarrollo poblacional de las microalgas. Sin embargo, el uso de los medios de cultivo sintéticos ha incrementado sustancialmente el valor económico para la producción de la biomasa de estos microorganismos (35).

Parámetros del cultivo *Chlorella vulgaris*.

Un cultivo tiene tres diferentes componentes: un medio de cultivo contenido en un recipiente adecuado; las algas creciendo en el medio y aire, para permitir el intercambio de dióxido de carbono entre el medio y la atmósfera. Los parámetros más importantes que regulan el crecimiento de las algas son principalmente: luz, pH, turbulencia, salinidad y temperatura. (35).

a) Temperatura

La mayoría de la especies de microalgas toleran temperaturas entre 16 y 27°C, aunque esto puede variar de acuerdo a la composición del medio de cultivo o la especie cultivada. Un valor intermedio de 18-20°C es frecuentemente empleado. Temperaturas por debajo de los 16°C pueden retardar el crecimiento, mientras que aquellas por arriba de los 35°C son letales para especies de *Chlorella sp.*

b) Luz

Como en las plantas, la luz es la fuente de energía que promueve las reacciones fotosintéticas en las algas. Aquí, la intensidad, la calidad espectral y el fotoperiodo deben ser considerados.

c) pH

El rango del pH para la mayoría de las especies de algas cultivadas es entre 7 y 9, siendo el rango óptimo 8.2-8.7. Para mantener un pH aceptable es necesario airear el medio de cultivo.

d) Aireación

La aireación es necesaria para prevenir la sedimentación de las algas, para asegurar que todas las células de la población están igualmente expuestas a la luz y los nutrientes, y para mejorar el intercambio de gases entre el medio de cultivo y el aire.

Sistemas de Cultivo

El cultivo en masa de microalgas se ha desarrollado en diversos tipos de sistemas de cultivo que incluyen grandes estanques abiertos, estanques circulares, estanques de rodadura, estanques en cascada, grandes bolsas, tanques, fermentadores heterótrofos y varios tipos de fotobiorreactores cerrados ((36), (37) .

Las propiedades intrínsecas de las algas son uno de los factores más importantes a considerar para la selección de un sistema de cultivo práctico. *Dunaliella* al igual que otras dos microalga usados comercialmente. *Chlorella* y *Spirulina*. pueden crecer bien en un medio altamente selectivo y por lo tanto puede ser fácilmente cultivado a altas concentraciones de sal en los estanques al aire libre (38).

Cultivos superintensivos de *Dunaliella* se han desarrollado en diversos tipos de fotobiorreactores (39),(40). En comparación con estanques abiertos, tales sistemas son mucho más asépticos y producen una mayor biomasa y mayor concentración de carotenoides.

1.3. Fotobiorreactores

Un fotobiorreactor es un dispositivo técnico cerrado diseñado para producir microorganismos fotosintéticos en colaboración con los requerimientos óptimos de luz, mezclado, transferencia de momento, masa y calor (37). Se refiere a un sistema cerrado, ya que este se encuentra asilado del medio ambiente sin intercambio de gases y fuentes de contaminación externas.

Los FBR presentan mayores ventajas que los sistemas cerrados siendo el control de las condiciones de cultivo la de mayor importancia. Considerando también los factores económicos, los FBR son hoy en día reconocidos por su alta producción de biomasa y bajo costo comparados a los sistemas abiertos (41).

El crecimiento de las algas en un fotobiorreactor reduce el riesgo de contaminación, mejora la reproducibilidad de las condiciones de cultivo, brinda un mayor control de las condiciones hidrodinámicas y temperatura, además de permitir un diseño técnico apropiado (42).

Este diseño puede ser plano o tubular y adoptar una gran variedad de configuraciones y modos de operación, además de ofrecer una mayor productividad y calidad de la biomasa generada. Sin embargo, a pesar de la viabilidad de los FBR, los cuales han estado bajo condiciones de desarrollo durante la década pasada, solo algunos pueden ser utilizados para la producción de biomasa y metabolitos de interés. Los fotobiorreactores industriales son excelentes sistemas para controlar múltiples parámetros del cultivo y por lo tanto para el cultivo de microorganismos fotosintéticos, como las células de microalgas, cianobacterias y vegetales. La biomasa de microalgas obtenida de esta manera se puede procesar para producir productos valiosos de tipo nutracéuticos tales como ácidos grasos poliinsaturados y carotenoides, así como productos químicos especiales tales como los compuestos radiomarcados o alternativamente como alimento en las industrias acuícolas. Generalmente, se utilizan tres diseños básicos de estos sistemas cerrados desarrollados para el cultivo comercial de microalga: biorreactores de tipo panel delgado, fotobiorreactores tubulares y configuraciones inmovilizados ultrafinos (37),(43).

Todos estos reactores tienen como fin distribuir la cantidad de luz y nutrientes de manera uniforme a cada célula y mejora el intercambio de gases con una mezcla óptima del medio y la reducción de la trayectoria de la luz. Otras consideraciones importantes son el control de los parámetros de crecimiento. Por lo tanto, la optimización de este proceso es una necesidad para optimizar la productividad de *Dunaliella*. En fotobiorreactores cerrados el pH, oxígeno disuelto, temperatura e intensidad de luz son controlados (37), (44). Recientemente, diseñó y optimizó un fotobiorreactor helicoidal tubular con un volumen de 10L para el cultivo de *Dunaliella salina* (45).

1.3.1. Fotobiorreactor tipo Panel

Son fotobiorreactores tipo pantalla delgada (flat panel) que tienen la gran ventaja de permitir un mayor paso de luz (Fig. 3), sus características son:

- a) El paso óptico se puede hacer tan delgado como se quiera.
- b) Es posible escalar el FBR incrementando su longitud, sin modificar la altura de líquido ni el paso óptico.
- c) Pueden construirse de manera muy sencilla y económica: es suficiente un bastidor y un recubrimiento plástico.
- d) Se pueden construir inclinados y es posible orientarlos hacia el sol, para maximizar así la captación de luz y con ello la productividad.
- e) En la práctica no es fácil construir fotobiorreactores planos demasiado largos por la dificultad que tiene esta geometría para soportar la presión hidrostática. Además, pese a que pueden inclinarse, siguen siendo dispositivos verticales (dependen del burbujeo).



Figura N°3. Fotobiorreactores tipo pantalla delgada (flat panel).

1.3.2. Diseño de un fotobiorreactor

Existen diversos factores que influyen ampliamente en el cultivo de microalgas y determinan el diseño del reactor a emplear. La baja densidad celular origina varios inconvenientes, incluyendo baja productividad, fácil contaminación, costosa recuperación del producto de medios diluidos y dificultad para el control de la temperatura en los sistemas de cultivo cerrados. Estos inconvenientes estimularon el desarrollo de fotobiorreactores construidos con materiales transparentes como vidrio y

poli carbonato, entre otros materiales. Los primeros FBR fueron propuestos por (46), (47), (48). En la última década los fotobiorreactores tubulares y de placas planas han recibido mucha atención ya que permiten establecer cultivos de alta densidad celular, tres o más veces en comparación con los sistemas convencionales.

En seguida se enlistan las principales ventajas que ofrecen este tipo de cultivo de microalgas:

- Facilidad para cosechar la biomasa.
- Mantenimiento del cultivo sin contaminación.
- Mejor control de las condiciones de cultivo.
- Menor inversión de capital en el fotobiorreactor.

Este último factor es un elemento importante en el costo de producción de productos derivados de microalgas. Actualmente existen diversos tipos de fotobiorreactores disponibles, entre los cuales se encuentran las columnas de burbujeo, los reactores airlift y los tanques agitados, así como los de tipo tubular y cónico. Los FBR son generalmente categorizados de acuerdo a su estructura y su producción de biomasa, de los cuales los tubulares, los de superficie plana (panel) y las columnas verticales son los más comunes. Los fotobiorreactores de tipo tubular son el diseño más sustentable para cultivos en sistemas cerrados tienen un gran área de iluminación con una buena tasa de producción de biomasa y son relativamente económicos puesto que son construidos en vidrio o plástico (37), (49).

El diseño de tipo panel, son generalmente construidos con materiales transparentes con la finalidad de maximizar el empleo de la luz solar. Este diseño permite una mejor trayectoria incidente de la luz en el cultivo facilitando los ciclos de luz-oscuridad, aumentando la producción de biomasa y otros compuestos en las microalgas. También permite una buena inmovilización de las microalgas y una sustentable utilización de la energía, además de un fácil mantenimiento y limpieza (50).

Los diseños de tipo tubular vertical son compactos, económicos y fáciles de operar, lo que los hace factibles al escalamiento (49). Otro diseño de fotobiorreactores que cuenta

con una amplia superficie de iluminación es el denominado flat-panel o fotobiorreactor de superficie plana.

1.4. Estructura básica de un sistema bioelectroquímico

El sistema bioelectroquímico, resultan ser una opción prometedora para la generación de energía renovable que se pueda emplear como electricidad (51). La estructura básica del sistema bioelectroquímico para la producción de electricidad se puede observar en la Fig. 4; consta de dos cámaras una catódica y una anódica separadas por una membrana de intercambio de protones (MIP) (52).

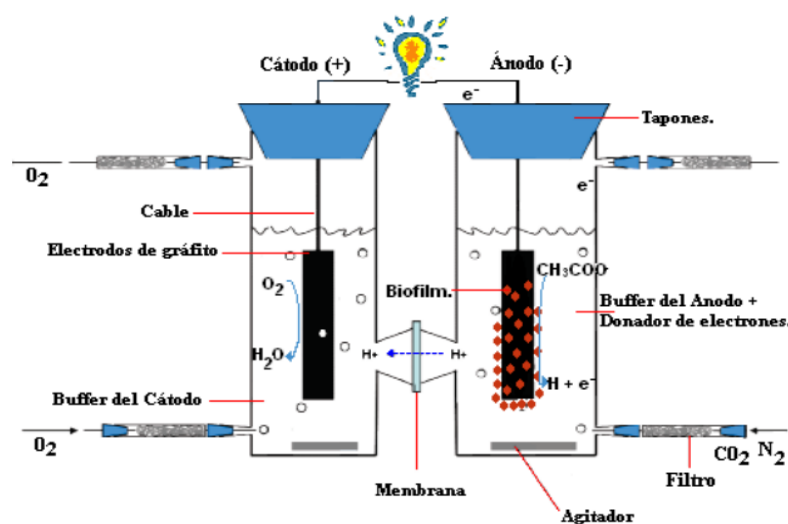


Figura N°4. Esquema del sistema bioelectroquímico tipo H.

Los microorganismos en la cámara anódica oxidan los compuestos orgánicos como parte de su metabolismo y durante este proceso generan electrones y protones. Los electrones son transferidos al ánodo y son transportados a hacia el cátodo a través de un circuito externo. Para mantener el balance de cargas, los protones generados en la reacción atraviesan una membrana permeable a protones o un puente salino y una vez en la cámara catódica se unen con el oxígeno, para formar agua (51), (53).

El mecanismo por el cual son liberados los electrones al electrodo en el sistema bioelectroquímico es uno de los principales objetivos de estudio para llegar a entender el funcionamiento de este tipo de dispositivos y mejorar su eficiencia. El factor más

importante para que un sistema bioelectroquímico genere una corriente de electrones que pueda ser utilizada es, sin duda alguna, el microorganismo o microorganismos utilizados para llevar a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica a compuestos como CO_2 y H_2O y la liberación de electrones al sistema. Otro factor es el tipo de inóculo, se pueden emplear diferentes tipos de inóculos en el sistema bioelectroquímico. El inóculo puede provenir de lodos activados (54), lodos anaeróbicos (55), aguas residuales domésticas (56), aguas residuales industriales (57) sedimentos marinos (58) o sedimentos acuáticos (59).

Aunque los mejores resultados se han obtenido empleando lodos activados o anaeróbicos (60).

Ánodo

Los materiales con los que se deben construir los ánodos deben ser conductivos biocompatibles y químicamente estables en la solución del reactor. Ánodos metálicos consistentes de malla de acero inoxidable no corrosivo pueden ser utilizados. El material de electrodo más versátil es el carbón, disponible como placas de grafito compacto, barras o gránulos. Los materiales utilizados más simples son las placas y las barras de grafito ya que son relativamente baratos, fáciles de manejar y tienen un área de contacto definida. Diversos tipos de productos de carbón como son papel, fibra, entre otros han sido utilizados extensivamente como electrodos. Mayores áreas superficiales pueden ser alcanzadas usando materiales compactos como carbón vítreo reticulado, el cual se encuentra disponible con diferentes tamaños de poro o usando capas de gránulos de carbón o esferas (61).

El efecto a largo plazo del crecimiento de la biopelícula o de las partículas en el flujo en cualquiera de las superficies no ha sido debidamente examinado todavía. Para incrementar el desempeño del ánodo, diferentes estrategias químicas y físicas han sido utilizadas. Materiales electrocatalíticos como son compuestos de polianilinas han mostrado que mejoran la generación de corriente ayudando a la oxidación directa de metabolitos microbianos. Dirigir el flujo de agua a través del material del ánodo puede utilizarse para incrementar la potencia. El flujo hacia el ánodo ha sido también usado en reactores utilizando mediadores exógenos. (61).

Cátodo

Debido a su buen desempeño, ferrocianuro es muy popular como un aceptor experimental de electrones en sistema bioelectroquímico. La ventaja del ferrocianuro es el bajo sobrepotencial, y la desventaja de su empleo es la oxidación insuficiente por oxígeno, el cual requiere el cátodo para ser regularmente reemplazado. El desempeño a largo plazo del sistema puede ser afectado por difusión del ferrocianuro a través de la MIP y en la cámara anódica. El oxígeno es el aceptor más adecuado de electrones para un sistema bioelectroquímico debido a su alto potencial de oxidación, disponibilidad, bajo costo, sustentabilidad, y la carencia de residuos químicos. La elección del material del cátodo afecta de manera importante el desempeño, y su variedad de aplicaciones (62). Para incrementar la velocidad de reducción de oxígeno, los catalizadores de platino son usualmente usados para oxígeno disuelto o cátodos de difusión de gas. Para bajar el costo de la MFC, la cantidad de platino puede mantenerse a 0.1 mg/cm^2 . La estabilidad a largo plazo del platino necesita ser investigada todavía. Recientemente, metales nobles han sido propuestos como cátodos para el sistema bioelectroquímico (51). Membrana de intercambio de protones (MIP) La mayoría de los diseños de los sistemas bioelectroquímicos requieren la separación de la cámara anódica y la cámara catódica por una membrana de intercambio de protones. La MIP más comúnmente utilizada es Nafion (66) aunque existen otras opciones como Ultrex CMI-7000 que también son adecuadas para el sistema bioelectroquímico. El mercado para las MIP's está en constante crecimiento, y más estudios se requieren para evaluar los efectos de la membrana en el desempeño y la estabilidad a largo plazo (51), (63).

pH y electrolito

Sin una solución amortiguadora en un sistema bioelectroquímico, obviamente existirá una diferencia de pH entre la cámara anódica y la cámara catódica, aunque teóricamente no habría cambio de pH cuando la velocidad de reacción de protones, electrones y oxígeno en el cátodo es igual a la velocidad de producción de protones en el ánodo. La membrana de intercambio de protones causa una barrera en el transporte a través de la membrana de difusión de protones, y el transporte de protones a través de la membrana es más lenta que su velocidad de producción en el ánodo y su velocidad de consumo en la cámara catódica en la etapa inicial de la operación de la sistema bioelectroquímico,

así trae una diferencia de pH. Sin embargo, la diferencia de pH incrementa la fuerza motriz de la difusión de protones de la cámara anódica a la cámara catódica y finalmente forma un equilibrio dinámico. Algunos de los protones generados con la biodegradación sustratos orgánicos transferidos a la cámara catódica pueden reaccionar con el oxígeno disuelto mientras algunos protones son acumulados en la cámara anódica cuando ellos no se transfieren a través de la membrana de intercambio de protones o de puentes salinos rápidamente a la cámara catódica (64).

Hay diferencia de pH de 4.1 después de 5 horas de operación con un pH inicial de 7 sin utilizar amortiguadores. Con la adición de un amortiguador de fosfatos (pH 7), el cambio de pH en el ánodo y cátodo fue de menor de 0.5 unidades y la salida de corriente se incrementó alrededor de 1 a 2 veces. Sin embargo, el proceso microbiano anódico prefiere un pH neutral y las actividades microbianas disminuyen en un pH más alto o más bajo, por lo que el empleo de amortiguadores es fundamental (65).

1.5. Principio de un sistema bioelectroquímico

Por convención, si a un sistema bioelectroquímico un par celda electroquímica cuya finalidad es la generación de electricidad a razón de la alimentación de combustible. En otros casos, cuando no hay alimentación continua, sino que el consumo de una especie electroactiva acumulada, se habla de pilas (baterías. para un arreglo en serio o paralelo) primarias o secundarias (recargables). El sistema bioelectroquímico consiste básicamente en dos electrodos que entran en contacto mediante conducción iónica, en un electrolito, y eléctrica. El sistema bioelectroquímico es alimentando al compartimento anódico, oxidándose (catalíticamente) sobre la superficie anódica y transfiriendo electrones al ánodo. Los electrones se mueven hacia el cátodo debido a una diferencia de potencial. Sobre la superficie catódica son transferidos al comburente reduciéndolo (catalíticamente). El desplazamiento de los electrones por el circuito externo genera una corriente eléctrica que puede ser aprovechada. De acuerdo al tipo de combustible (dador de electrones), comburente (aceptor de electrones) y electrolito se clasifican al sistema en distintos tipos. Entre estos, la tecnología PEM (Membrana conductora selectiva) es probablemente la más avanzada en su desarrollo. Este sistema consume H_2 y O_2 gaseoso como combustible y comburente respectivamente. El H_2 es la fuente de electrones que al oxidarse sobre la superficie anódica libera protones, los

cuales migran a través de una membrana selectiva hasta alcanzar la superficie catódica, donde reaccionan con el oxígeno y los electrones provenientes del ánodo, dando lugar a la generación de electricidad y vapor de agua como productos finales. Al día de hoy, existen ya automóviles, buses e inclusive un prototipo de aeroplano cuyos motores eléctricos se alimenta con electricidad de un sistema de este tipo (66).

La introducción de estos elementos permite utilizar nuevos tipos de combustibles y/o comburentes, lo cual abre la posibilidad de explorar diseños de celdas que aprovechen especies consideradas residuales para generar electricidad. Dentro de esta última línea de investigación, el uso de materia orgánica residual es una alternativa tecnológica que presenta mayor grado de avance, siendo una celda piloto de 1 m³ de volumen de reacción, construido en la Universidad de Queensland, Australia, el exponente de mayor capacidad (67).

La idea básica es usar microorganismos en condiciones anaeróbicas capaces de oxidar la materia orgánica y transferir, directa o indirectamente, los electrones de la oxidación al ánodo. En la mayoría de los casos, los electrones que llegan al cátodo se combinan con protones que difunden del compartimento anódico, a través de una membrana conductora selectiva (PEM), y oxígeno disuelto, resultando agua como producto final (51).

Desarrollos de un sistema bioelectroquímico alimentadas con materia inorgánica no han sido hallados con la misma ocurrencia que la alternativa orgánica. Algunos diseños hacen uso de bacterias sulfato reductoras alimentadas con sulfato, para producir ácido sulfhídrico como combustible de la celda (68), (69).

Otros utilizan iones metálicos para mejorar la cinética de la reacción catódica, al actuar como mediadores de la reducción del oxígeno disuelto (70). Una revisión más detallada de este tipo de celdas se realiza más adelante.

Numerosas investigaciones se han llevado a cabo en todo el mundo sobre la producción de bioelectricidad con una gama de productos de fermentación y residuo orgánicos (63). Los estudios de sistema bioelectroquímico se han centrado en la adherencia y crecimiento del biofilm de bacterias con respiración anódica y los medios de transferir electrones a la superficie del ánodo.

1.6. Mecanismos de transferencia de electrones

La transferencia extracelular de electrones se puede definir como el proceso en el cual los electrones derivados de la oxidación de compuestos orgánicos son transferidos a la superficie externa de la célula para reducir un aceptor terminal de electrones extracelular (71). Se han planteado diferentes mecanismos para explicar cómo los microorganismos liberan los electrones al electrodo: a) transferencia directa con la participación de citocromos. b) transferencia con ayuda de mediadores externos o producidos por el mismo organismo y c) transferencia por medio de los nanocables bacterianos o *pili*.

1.7. Consorcios microbianos y syntrofia

La syntrofia se puede definir como la asociación o dependencia de 2 o más tipos diferentes de organismos que combinan sus capacidades metabólicas para catabolizar un sustrato que no puede ser catabolizado por alguno de estos organismos de manera independiente (72). Este concepto es aplicable para las MFC ya que para dar el siguiente paso y diseñarlas para la producción a escala industrial, se debe pensar en utilizar sustratos complejos, los cuales poseen diversos nutrientes, y los microorganismos utilizados deben ser capaces de procesarlos o por lo menos no verse afectados por su presencia. Un buen ejemplo de esto es la producción de metano e hidrógeno o electricidad por syntrofia en sistemas de bioenergía microbianos. La materia orgánica compleja debe ser hidrolizada y fermentada a productos simples que pueden ser convertidos directamente a los productos finales deseados. Para producir CH_4 , los metanogénicos usan solo acetato o H_2 y CO_2 y todos los electrones deben ser transportados hacia H_2 y acetato. Para generación de biohidrógeno, el producto final de la fermentación debe ser H_2 , lo cual significa que otros productos de la fermentación como acetato, Propionato, etanol y butirato, son consumidores indeseables de electrones. La síntesis de estos productos reduce la producción global de H_2 . Así mismo, la oxidación de H_2 para formar CH_4 debe ser suprimida cuando el objetivo principal es la producción de hidrógeno. En un proceso de este tipo, la acumulación excesiva de hidrógeno puede detener termodinámicamente el proceso de fermentación que lo produce, y por lo tanto una syntrofia balanceada entre bacterias que producen por fermentación hidrógeno y microorganismos metanogénicos que oxidan el hidrógeno, es

la clave para llevar a cabo la metanogénesis de manera efectiva. En procesos de producción de biohidrógeno, los metanogénicos deben ser suprimidos, lo cual significa que el H_2 debe ser recolectado rápidamente para evitar su acumulación. En un sistema bioelectroquímico, la acumulación de hidrógeno puede llevar a dos resultados indeseables: Disminución de la velocidad de fermentación o desviación del flujo de electrones hacia CH_4 (73).

Microorganismos con capacidad de respiración electródica

Se ha intentado identificar y aislar las bacterias que tienen la capacidad de transferir los electrones a un electrodo. Varios estudios indican que la actividad metabólica más similar a la transferencia de electrones en una MFC es la reducción desasimilatoria de metales (74), (75), (76), (77). En ausencia de oxígeno, las bacterias reductoras desasimilatorias de metal (DMRB por sus siglas en inglés) transfieren sus electrones a un metal como el hierro o el manganeso, que actúa como receptor terminal de electrones (77). En un sistema bioelectroquímico, el hierro o el manganeso son sustituidos por el ánodo, al cual las bacterias entregan electrones generados debido a la oxidación de compuestos orgánicos. Sin embargo, no todas las membranas son capaces de transferir electrones hacia el ánodo de un sistema bioelectroquímico (78).

Electrodos del sistema bioelectroquímico

Varios materiales han sido utilizados en el sistema bioelectroquímico a nivel laboratorio pero se está poniendo atención a electrodos que contienen colectores de corriente. Una pieza de tela de carbón o papel carbón aún si es altamente optimizada para la adhesión de micro-organismos todavía requiere de metales para transferir los electrones sobre largas distancias. Así, muchos electrodos nuevos incorporan metales con colectores de corriente. Los tratamientos químicos o metales preciosos pueden mejorar la producción de energía en el laboratorio, sin embargo, estas modificaciones no pueden ser prácticas debido a su costo. Los materiales fabricados a base de carbono, como la tela de carbón, papel carbón, grafito y acero inoxidable, son utilizados como electrodos en la mayoría de los sistemas bioelectroquímicos debido a su buena estabilidad en el inoculo microbiano, a su alta conductividad eléctrica, a su baja toxicidad en el medio ambiente y a su facilidad relativa de síntesis. No obstante, éstos

materiales poseen poca actividad electrocatalítica durante las reacciones microbianas sobre el electrodo, por lo que la modificación de los materiales a base de carbono ha sido una de las principales estrategias para mejorar el rendimiento de las celdas de combustible microbianas. Además, se ha empezado a utilizar nanotubos de carbón para incrementar las densidades de potencia de los sistemas bioelectroquímicos (79).





CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación corresponde a una investigación de tipo experimental (causa – efecto) y longitudinal ya que se realizó evaluaciones periódicas.

2.2. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de tesis se realizó en la Universidad Nacional de San Agustín. Los cultivos de la microalgas y lodos activados se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de Biología Acuática de la escuela profesional de Biología.

2.3. MATERIALES

2.3.1. MATERIALES BIOLÓGICOS

- Cultivo mixto de microalgas del PIRS se realizó en el laboratorio de Biología Acuática de la Escuela de Biología de la Universidad Nacional de San Agustín.
- Lodos activados de bacterias anaeróbicas aislados del Parque Industrial de Río Seco (PIRS).

2.3.2. MATERIALES QUÍMICOS

- H_2SO_4 : p.a. Merck.
- dH_2O : p.a. Merck.
- Agua desionizada (pH 7): p.a. Merck.
- K_2HPO_4 : p.a. Merck.
- $MgSO_4$: p.a. Merck.
- $CaCl_2$: p.a. Merck.
- $NaNO_3$: p.a. sigma.
- $NaCl$: q.p. Merck.
- $FeCl_3$: p.a. Merck.
- EDTA: p.a. Merck.
- $MnCl_2$: p.a. Merck.
- $ZnCl_2$: p.a. Merck.
- $CoCl_2$: p.a. sigma.
- $NaMoO_4$: p.a. sigma.

2.3.3. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN

- Botellas de vidrio para cultivo: Pirex, N° 1395, 1000mL.
- Placa Petri: Normax (EU lab Germany), 90 mm.
- Pubo de ensayo: Pirex, 15 x 150 mm.
- Grafito en barras de 3 mm de diámetro: Duracell, Duracell D-2.

- Adhesivo epóxico de endurecimiento rápido: Soldimix, 30g.
- Silicona griss: Grey 999 Gasket Maker, 99939. Verssachem.
- Membrana de intercambio de cationes: Sigma-Aldrich, Nafion117.
- Multiparámetro: Hanna, HI9819.
- Bomba de aire de 5 W: Venot Aqua, AP608A.
- Bomba peristáltica: Kamoer, KSP16 12V.
- Mangueras: Codisa.
- Cable de cobre: Indeco, NTC359 (ASTM B3) N ° 14.
- Equipo de medición DBO: Louibond, BD600.
- Equipo de medición DQO: Louibond, MD100 COD.
- Cámara de flujo laminar: Biobase, BBS-H1300.
- Cámara de Neubauer: Boeco, 1/10 mm.
- Microscopio Óptico: Nikon Aclipse, E100.

2.4. MÉTODOS

2.4.1. Obtención de agua residual y lodos procedente del parque industrial de Rio Seco (PIRS).

La toma de muestra se realizó en el Parque Industrial de Rio Seco (PIRS). Se tomó de las lagunas de oxidación 6 L de agua residual y lodos con ayuda de palas y recipientes de plástico con dicha capacidad. Estas muestras se trasladaron inmediatamente al laboratorio.

2.4.1.1. Preparación y activación de lodos del consorcio de bacterias anaerobias

Se tomó 6 L de agua residual provenientes del PIRS, por las características de su origen esta presentó un consorcio de microorganismos adaptados a las condiciones de las aguas residuales industriales. Este volumen de agua residual se dejó 2 días en un recipiente acondicionado. Al 3er día se agregó 500 mL de lodos anaerobios provenientes del PIRS para fortalecer al consorcio. Al 8vo día se agregó 50 g de extracto de levadura y 30 g de glucosa (80). A partir de este punto se agregó semanalmente 5 g/L de extracto de levadura y 3 g/L de glucosa por semana para favorecer la formación de biomasa. (80).

2.4.2. Recolección de microalgas procedente de las aguas residuales del parque industrial de Río Seco (PIRS).

La toma de muestra se realizó en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS). Se obtuvo de las lagunas de oxidación 1 L de agua residual, con ayuda recipientes de plástico con dicha capacidad. Estas muestras se trasladaron inmediatamente al laboratorio.

2.4.2.1. Aislamiento y cultivo de microalgas

Las diferentes especies nativas de microalgas obtenidas del agua residual provenientes del PIRS de la provincia de Arequipa, fueron aisladas y cultivadas. El medio de cultivo a usar para este proceso fue: BBM-Medium (Bold's Basal Medium) (81). El aislamiento celular se realizó mediante los métodos de diluciones sucesivas y plaqueo.

2.4.2.2. Diluciones sucesivas para el aislamiento de microalgas

Este método consistió en realizar diluciones de 10^{-1} hasta 10^{-4} , es decir, a cada tubo se colocó 5mL de agua destilada, al tubo N°1 se colocó 1mL de microalgas, de este tubo se toma 1mL que se deposita en el tubo N°2 y así sucesivamente hasta obtener las diluciones de 1:10, 1:100, 1:1000 y 1:10000; finalmente se tomó 0.1mL que fue colocado en la placa cuidadosamente (82).

Para evitar el crecimiento de otros microorganismos en el aislamiento de las microalgas, se aplicó ampicilina 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y cloranfenicol 35 $\mu\text{g}/\text{mL}$, evitando además en el mismo la contaminación (83).

2.4.2.3. Plaqueo

Para aislar y mantener las especies de microalgas se usó placas Petri con medio sólido. Se utilizó agar bacteriológico, 14.5 g por cada L de agua destilada, después se disolvió el agar y se añadió los nutrientes en proporción a la cantidad de medio que se desee preparar. Posteriormente se llevó a autoclave a 15 psi y 121°C por 15 minutos, luego se dejó enfriar por aproximadamente 15 a 20 minutos hasta lograr una temperatura que

permitió su manejo y se procedió al llenado de las placas Petri dentro de cámara de flujo laminar. Cuando el agar se encontró completamente frío se procedió a la siembra. (84).

2.4.2.4. Cultivo y propagación del crecimiento de microalgas aisladas del PIRS en condiciones controladas de fotobioreactor tipo panel.

Para la obtención de biomasa del cultivo de microalgas, se tomaron 2 L del inóculo de cultivo puro que fue transferido a un fotobioreactor de 15 L de capacidad para su crecimiento utilizando el medio de cultivo BBM (Medio Basal Bold) que contiene en g/L: NaNO_3 . 0.75 g; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. 0.02 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. 0.07 g; $\text{K}_2 \text{HPO}_4$, 0.07 g; De NaCl . 0.02 g; KH_2PO_4 . 0.17 g; 6 mL de solución traza: ($\text{Na}_2 \text{EDTA } 2\text{H}_2\text{O}$. 0.75 g; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. 0.097 g; de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. 0.041 g; de ZnCl_2 0.005 g; de $\text{CoCl}_2 6\text{H}_2\text{O}$. 0.002 g y $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. 0.004 g), cultivo mantenido a pH 7.2, temperatura promedio de 25°C, con aireación continua mediante bombas de aire de 5W de potencia y fotoperiodo de 12 horas de luz /12 horas de oscuridad mediante 2 fluorescentes de 30W. El crecimiento de microalgas se determinó por recuento en cámara de Newbauer bajo un microscopio óptico (85).

2.4.3. Diseño y construcción un sistema bioelectroquímico mixto aerobio–anaerobio. para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.

Se diseñó y construyó un sistema bioelectroquímico mixto aerobio–anaeróbico (Fig. 5), que consistió en dos celdas, separadas por la membrana de intercambio de protones (NAFION 117. Sigma- Aldrich), la que se preparó de la siguiente manera: se colocó la membrana en H_2O_2 al 30 % en ebullición, luego la membrana fue colocada en agua desionizada (pH 7.0) en ebullición, seguido en H_2SO_4 0.5 M en ebullición y finalmente la membrana se colocó nuevamente en agua destilada en ebullición, cada proceso duro 1 hora para activar y aumentar la porosidad de la membrana antes de emplearla. La membrana de intercambio de protones fue fijada entre arandelas y sujeta con abrazaderas en un tubo hueco de 40 mm de diámetro que unió las celdas aeróbica y anaeróbica.

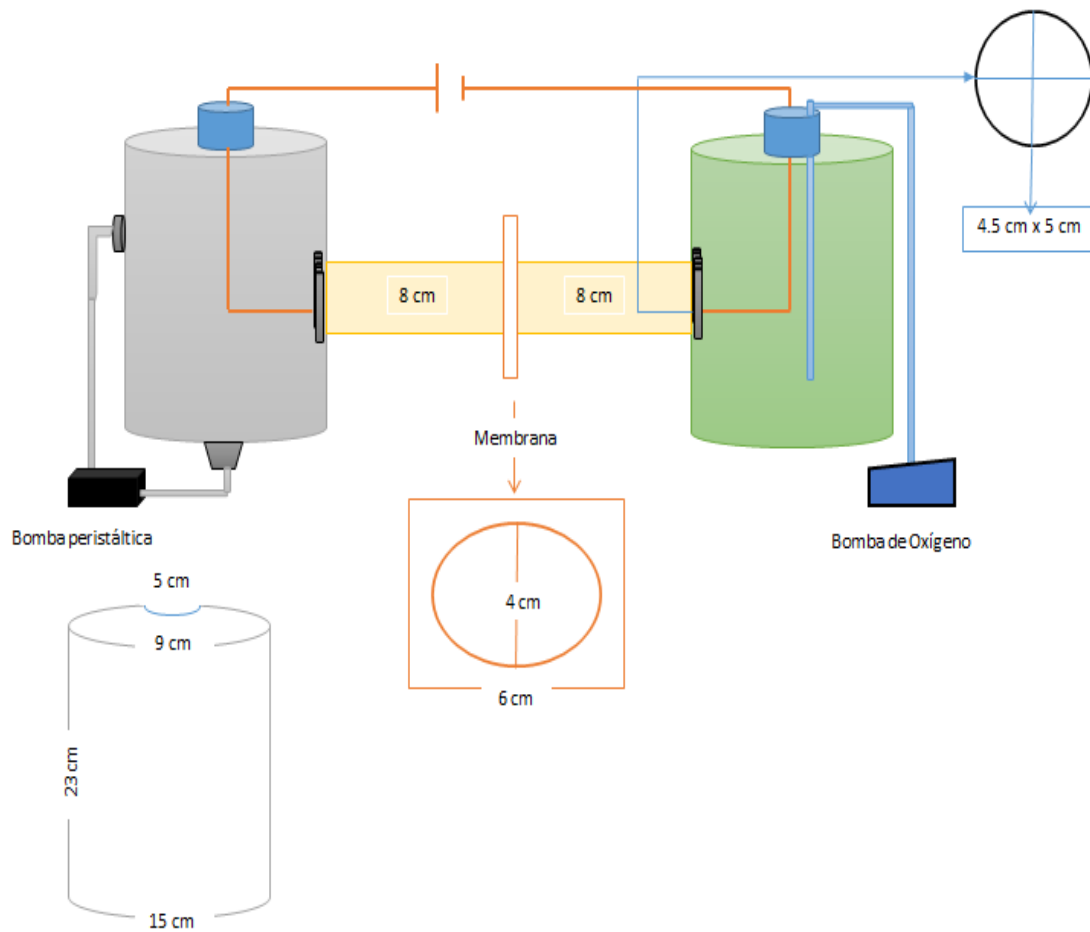


Figura N°5: Diseño del sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio, para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.

- a) **Celda de aerobiosis (cátodo):** La celda de aerobiosis fue de vidrio de 1000 mL de volumen conteniendo un electrodo de grafito de 70 cm^2 de área, el electrodo presentó un cable de cobre que sirvió de contacto con el electrodo del ánodo, el electrodo se encontró a 8 cm de distancia de la membrana de intercambio de protones, presentó 350 mL de cultivo mixto de microalgas en medio de cultivo BBM (85), su capacidad total se completó con 650 mL de agua residual del PIRS para su remediación, la aireación de la celda se realizó por una bomba de aire de 5W de potencia.
- b) **Celda de anaerobiosis (ánodo):** La celda de anaerobiosis fue de vidrio de 1000 mL de volumen conteniendo un electrodo de grafito de 70 cm^2 de área, el electrodo presentó un cable de cobre que sirvió de contacto con el electrodo del cátodo, el electrodo se encontró a 8 cm de distancia de la membrana de intercambio de protones, conteniendo

350 mL de lodos activados de bacterias anaerobias que fueron colectados de la laguna de oxidación del PIRS, la celda contó con un electrodo de pH permanente, para conservar las condiciones de anaerobiosis, además esta celda estuvo conectada a una bomba peristáltica con una entrada y salida de 650 mL de agua residual para su remediación, las entradas y salidas de estas celdas fueron selladas herméticamente para su conservar una total condición anaeróbica, como se muestra en el esquema (Fig. 6).

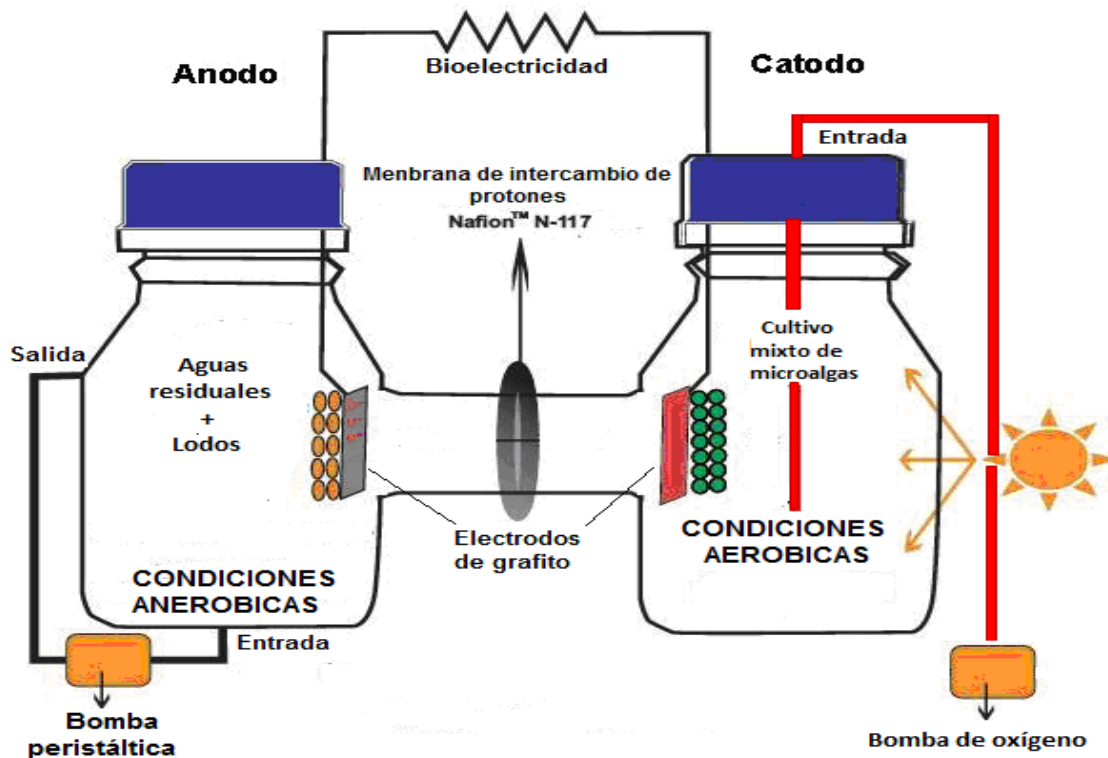


Figura N°6: Representación esquemática del sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio, para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.

2.4.4. Evaluación de la biomasa de microalgas empacadas en la celda aeróbica (cátodo) del sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio.

Para medir la biomasa se realizaron recuentos en cámara de Newbauer y microscopio óptico a 10X. Tomándose 1 mL de cada unidad experimental, para el recuento de cada muestra se contaron en 4 campos en una cámara de Newbauer, a la sumatoria de los campos se multiplicó por 16 (total de campos) y por 10000 por ser el factor de conversión.

2.4.5. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos (pH, STD, DBO, DQO, OD, temperatura) de las aguas residuales remediadas del PIRS en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio.

La remediación de aguas residuales industriales se realizó en la celda anaeróbica y aeróbica (ánodo y cátodo) del sistema bioelectroquímico a partir de una muestra de 2000 mL de aguas residuales que se colectaron de la laguna de oxidación del PIRS, para cuantificar la remediación de las aguas residuales se evaluó los parámetros fisicoquímicos como el pH, STD, DBO, DQO, OD, temperatura, que fueron determinados según los métodos y procedimientos estándar (86)

2.4.6. Caracterización del desempeño en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio, por método electroquímico, en términos de intensidad de corriente, densidad de corriente, voltaje y densidad de potencia generada.

Se evaluó la actividad electrogénica del sistema mixto bioelectroquímico aerobio – anaerobio en términos de voltaje, intensidad de corriente, densidad de corriente, densidad de potencia; estas parámetros fueron evaluados mediante multímetro digital cada dos días durante todo el periodo experimental.

$$\text{Densidad de corriente} = \frac{\text{Intensidad de corriente (mA)}}{\text{Sección de conducción (mm}^2\text{)}} \longrightarrow \text{Ecuación N}^\circ 1$$

$$\text{Densidad de potencia} = \text{Intensidad de corriente (mA)} \times \text{Voltaje (mV)} \qquad \text{Ecuación N}^\circ 2$$

3.4.7. Análisis y procesamiento de datos

El análisis y procesamiento de datos se realizó mediante el cálculo de promedios y desviaciones estándar, para observar las diferencias entre evaluaciones se aplicó la prueba estadística de comparación de ANOVA y la prueba de especificidad múltiple de Tukey para determinar las diferencias entre las evaluaciones, también se efectuó gráficos de barras y de tendencia según el tiempo para las variables evaluadas.



CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Obtención de agua residual y lodos procedente del parque industrial de Rio Seco (PIRS).

El muestreo para este estudio se realizó en el Parque Industrial de Rio Seco (PIRS), localizado al Noreste del centro de la Ciudad de Arequipa; políticamente pertenece a la jurisdicción del distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa. Tiene una altitud promedio de 2 250 msnm, el cual consta de dos etapas; la primera etapa del parque industrial se encontró entre las coordenadas geográficas $16^{\circ}20,955''$ y $16^{\circ}21,372''$ de latitud sur y entre los $71^{\circ}35,288''$ y $71^{\circ}35,977''$ de longitud oeste; la segunda etapa, donde se realizó el muestreo, está ubicado entre los $16^{\circ}21,372''$ y $16^{\circ}21,742''$ de latitud sur y entre $71^{\circ}35,977$ y $71^{\circ}36,265''$ de longitud oeste. Este muestreo se efectuó en tres fechas distintas (15/05/17; 03/06/17; 22/06/17), debido a la realización de tres repeticiones; una vez en el lugar se procedió a la preparación previa

de seguridad personal evitando posible contaminación. Debido a que se requirió asegurar obtener muestras anaerobias se acondicionó una pala de madera de aproximadamente 2 m de longitud, con ayuda de un recipiente de plástico en su extremo distal para facilitar dicha colección de lodos como de agua residual, los cuales fueron recolectados en un recipiente de plástico que cumpla las condiciones herméticas requeridas para su adecuado traslado hacia el centro de estudio, con previa extracción de una pequeña cantidad de este para su estudio inicial requerido, como se muestra en la Fig. 7. Este método de recolección realizado presentó similar al encontrado en otro estudio, en el cual sugirió obtenerlo a una profundidad aproximada de 2 m y así asegurar la anaerobiosis del muestreo, como lo reportado por Zavala R y Huarachi (87).

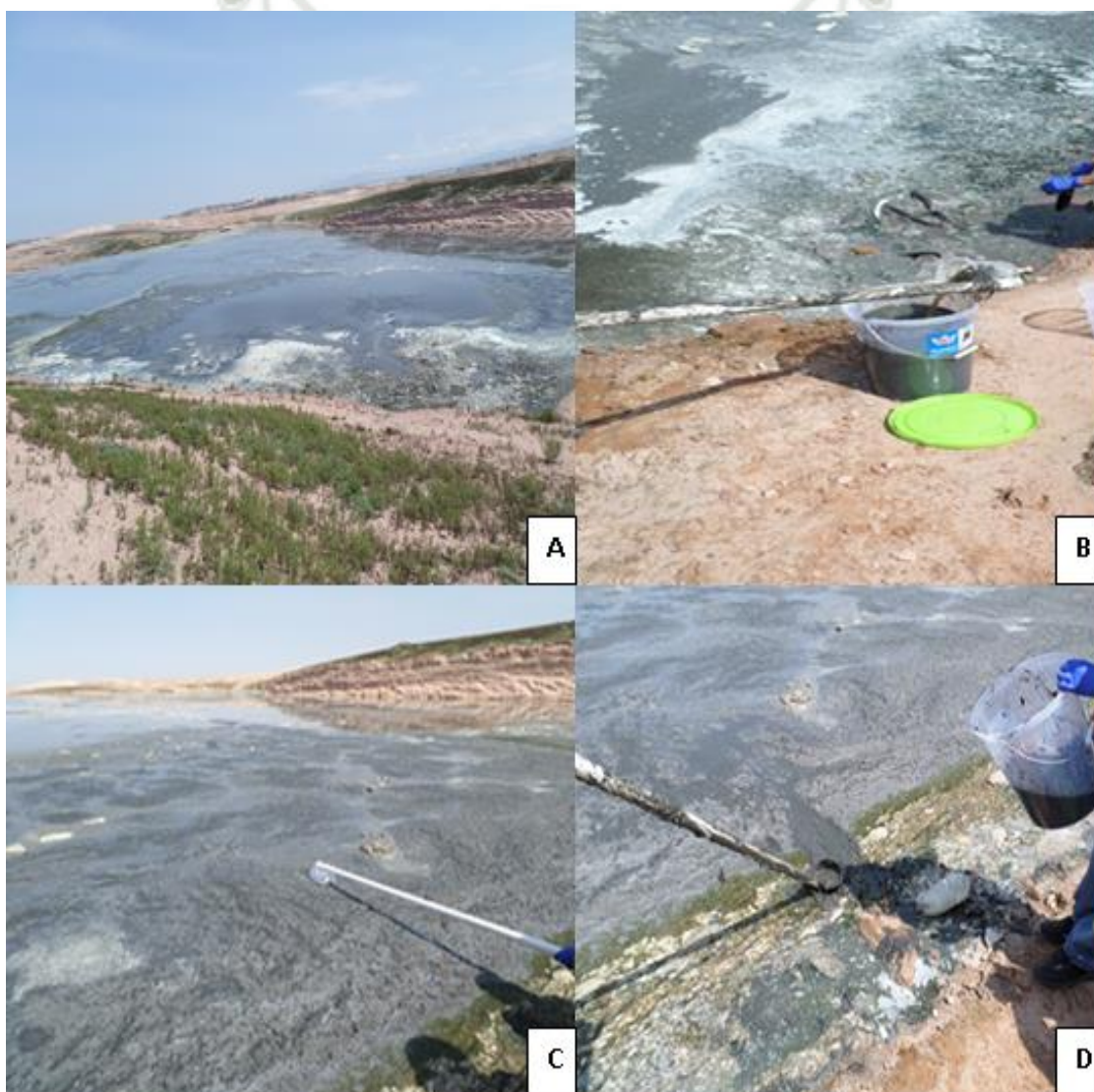


Figura N° 7. Galería fotográfica del muestreo de aguas residuales y lodos del PIRS. A) Vista panorámica de las lagunas de oxidación del PIRS. B) Muestreo de aguas residuales. C) Colecta de lodos anaerobios de la laguna del PIRS. D) Lodos residuales colectados para su traslado al laboratorio.

3.1.1. Preparación y activación de lodos del consorcio de bacterias anaerobias

Una vez obtenidas las muestras del PIRS (agua residual y lodos), se procedió a la preparación y activación de los lodos anaerobios, previamente acondicionados Fig. 29 (Anexos); lo cual consistió en añadir glucosa y extracto de levadura. Al momento de inocular la glucosa se pudo observar que este a diferencia de la levadura, se disolvió de forma rápida; perdiéndose fácilmente al ser mezclado; cuya glucosa tuvo como objetivo el de incrementar las fuentes de carbono, incrementar la biomasa y activación de los lodos anaerobios, finalmente el extracto de levadura proporcionó fuentes de nitrógeno; el cual ayudo a su vez a la activación Fig. 30 (Anexos).

Cuyo procedimiento se tomó como referencia el realizado por Zabala Rivera (87), el cual presentó resultados satisfactorios siendo esto no ajeno al realizado.

3.2. Recolección de microalgas procedente del parque industrial de Rio Seco (PIRS).

Este muestreo también se realizó en el PIRS, pero a diferencia del lugar de obtención de los lodos; este fue obtenido de la primera etapa, el cual se encontró entre las coordenadas geográficas $16^{\circ}20,955''$ y $16^{\circ}21,372''$ de latitud sur y entre los $71^{\circ}35,288''$ y $71^{\circ}35,977''$ de longitud oeste, donde se pudo observar la laguna de oxidación con las características evidentes de la presencia de microalgas, en el lugar se procedió a la preparación previa de seguridad personal, y mediante frascos estériles, se procedió hacer el muestreo obteniendo finalmente un volumen de 1 L cumpliendo con los parámetros requeridos como la temperatura 4°C para su conservación y adecuado traslado al laboratorio, como se muestra en la Fig. 8.

El método de muestreo y conservación se realizó tomando en consideración un estudio realizado por Gonzales L y Escamilla E (88), los que estipularon la importancia de la temperatura desde el momento de la obtención y manejo de la misma, como de la radiación solar y aireación que favorece el crecimiento de las microalgas.

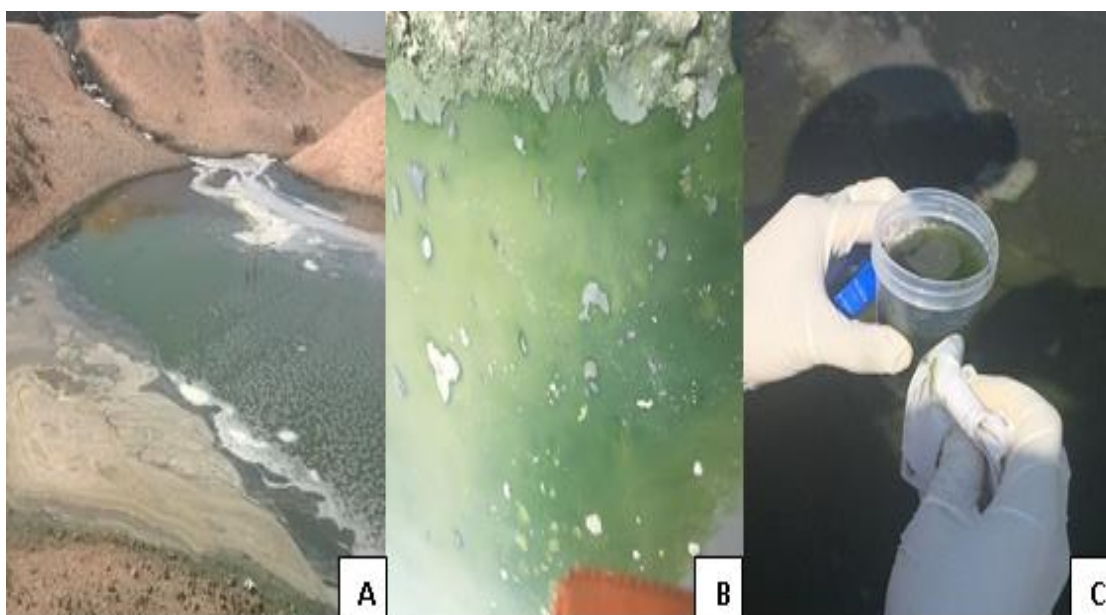


Figura N°8. Galería fotográfica del muestreo de aguas residuales del PIRS. A) Vista panorámica de la laguna de oxidación del PIRS para el muestreo de microalgas. B) Microalgas presentes en las lagunas de oxidación. C) Recolección de microalgas en frascos estériles para su aislamiento.

3.2.1. Aislamiento y cultivo de microalgas

Las microalgas obtenidas de aguas residuales de las lagunas del PIRS, fueron aisladas y cultivadas mediante diluciones sucesivas en medio de cultivo BMM, como se muestra en la Fig. 9, las diluciones sucesivas utilizadas fueron de 1:10, 1:100, 1:1000 y 1:10000; para lo que se utilizó agua destilada estéril, posteriormente estas diluciones fueron cultivadas en placas Petri con cultivo sólido, además se aplicó ampicilina 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y cloranfenicol 35 $\mu\text{g}/\text{mL}$ para evitar contaminación en el aislamiento por otros microorganismos, similar a lo estipulado por Abdul R y Farah R (89). Todos estos procedimientos fueron realizados bajo una cámara de flujo laminar para asegurar las condiciones completas de esterilidad.

Finalmente en la Fig. 10 se muestran las microalgas que fueron cultivadas en cultivo sólido BBM para su aislamiento a las diferentes diluciones requeridas, la siembra se realizó por estrías para facilitar la obtención de colonias más separadas, similar a Prescott G (90).

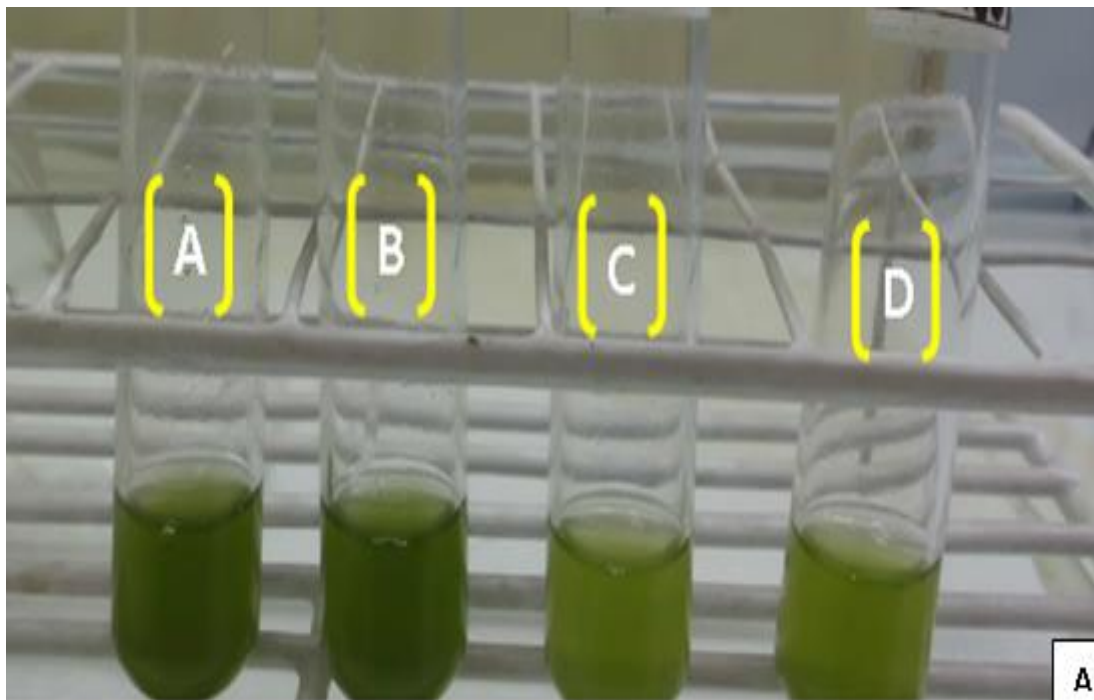


Figura N° 9. Fotografía del aislamiento de microalgas. A. Preparación de Diluciones sucesivas 1:10 [A], 1:100 [B], 1:1000 [C] y 1:10000 [D].

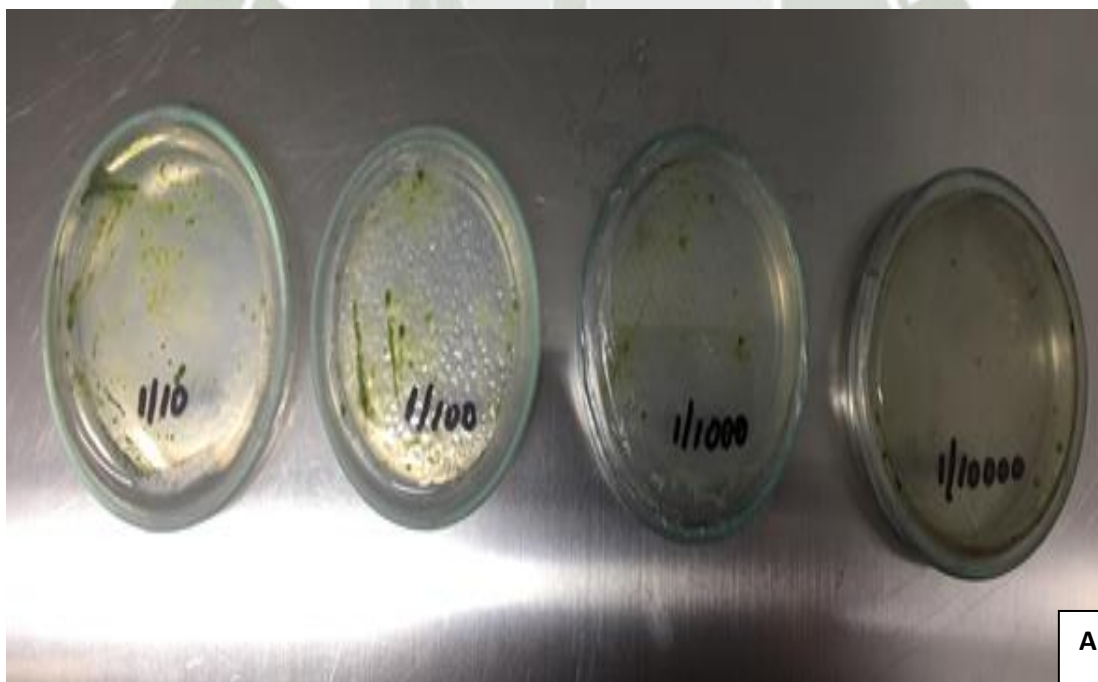


Figura N° 10. Fotografía del aislamiento de microalgas. A) Cultivo de las diluciones de microalgas en medio de cultivo sólido BBM 1:10, 1:100, 1:1000 y 1:10000.

3.2.2. Cultivo y propagación del crecimiento de microalgas aisladas del PIRS en condiciones controladas de fotobioreactor tipo panel.

Una vez cultivadas y aisladas en el medio de cultivo sólido BBM, se procedió a la propagación, es decir, para la obtención de la biomasa se tomaron 2L del cultivo puro que fue obtenido a partir del aislamiento en placas Petri, los cuales fueron transferidos a un fotobioreactor tipo panel que tuvo la característica de ser plana y delgada con una capacidad de 15L, previamente se realizó un diseño del fotobioreactor, como se observa en la Fig. 11, considerando todos los requerimientos necesarios para la propagación de las microalgas, ya sea de temperatura, aireación, iluminación, etc, donde se obtuvo el crecimiento (85).

Obteniendo finalmente un fotobioreactor tipo panel el cual funcionó adecuadamente favoreciendo el crecimiento de las microalgas obtenidas del PIRS, En la Fig. 12, se puede observar una vista real de la propagación del crecimiento de microalgas aisladas.

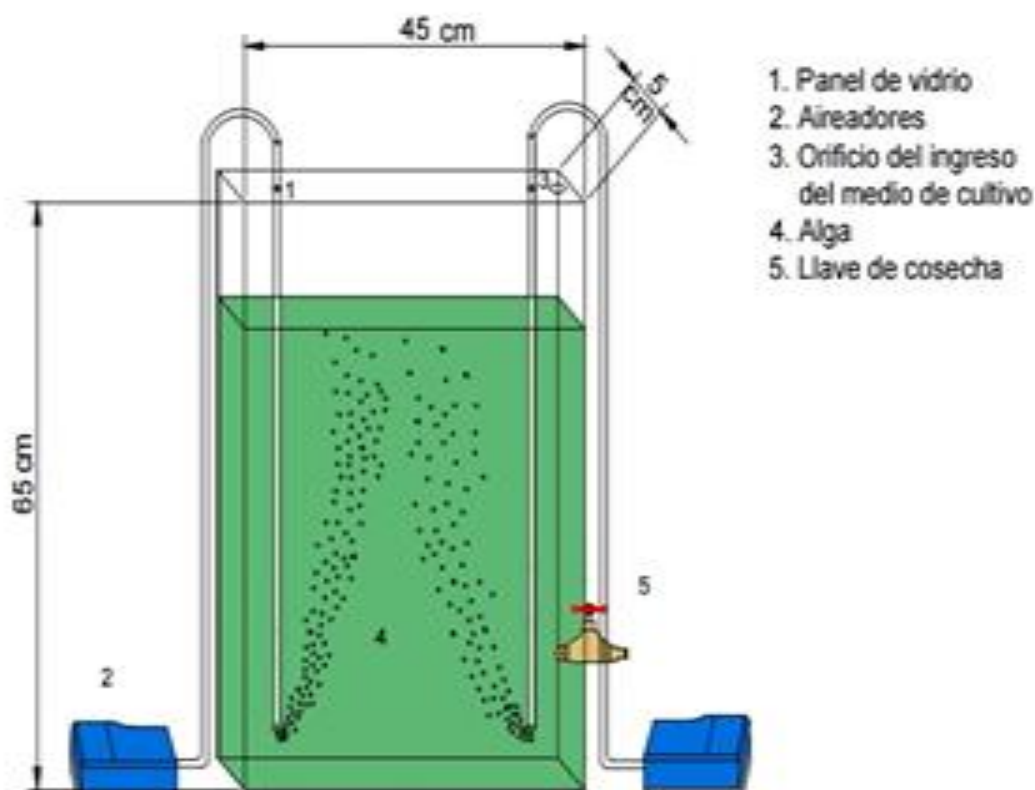


Figura N° 11. Diagrama fotobioreactor tipo panel.



Figura N° 12. Fotografía del fotobioreactor del cultivo y propagación del crecimiento de microalgas aisladas del PIRS.

El crecimiento de microalgas se determinó por recuento en cámara de Newbauer bajo un microscopio óptico. En la figura N° 12, se muestra el crecimiento mixto de las microalgas tanto de la *Chlorella vulgaris* como de la *Scenedesmus obliquus*, los que se evidenciaron mediante una cámara de Newbauer, bajo la vista de un microscopio óptico, los cuales fueron confirmados en el laboratorio de botánica (ver anexos).

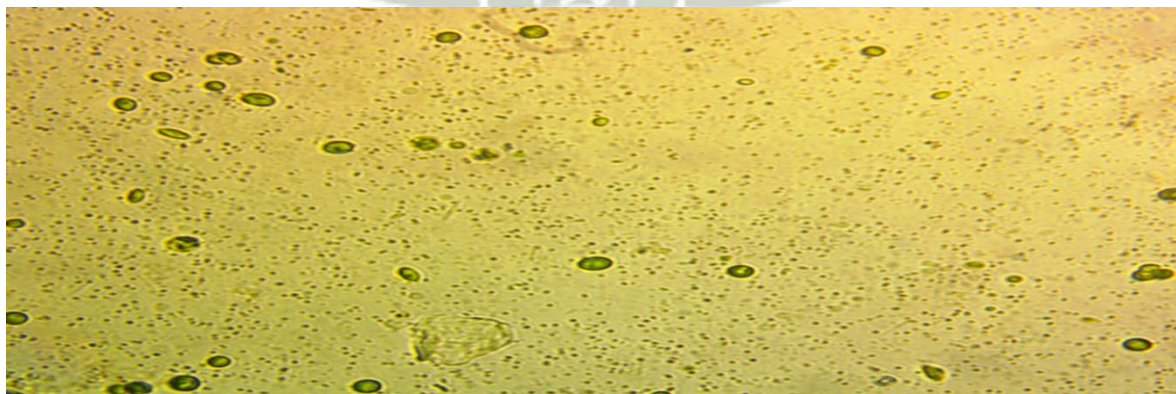


Figura N° 13. Fotografía microscópica del cultivo de microalgas mixto. A) Evidencia la presencia de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* en el cultivo mixto de microalgas.

3.3. Diseño y construcción del sistema bioelectroquímico mixto aerobio– anaerobio, para la bioremediación y producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales.

Una vez realizado el diseño de sistema bioelectroquímico mixto aerobio–anaeróbico, como se muestra en la Fig. 5, se procedió a su construcción, que consistió en dos celdas divididas por la membrana de intercambio de protones, que fue preparada previamente a su utilización, mostrando en la Fig. 14, los pasos necesarios que se realizó en su preparación; la cual finalmente fue fijada entre arandelas y sujeta con abrazaderas en un tubo hueco de 40 mm de diámetro que unió las celdas aeróbica y anaeróbica.

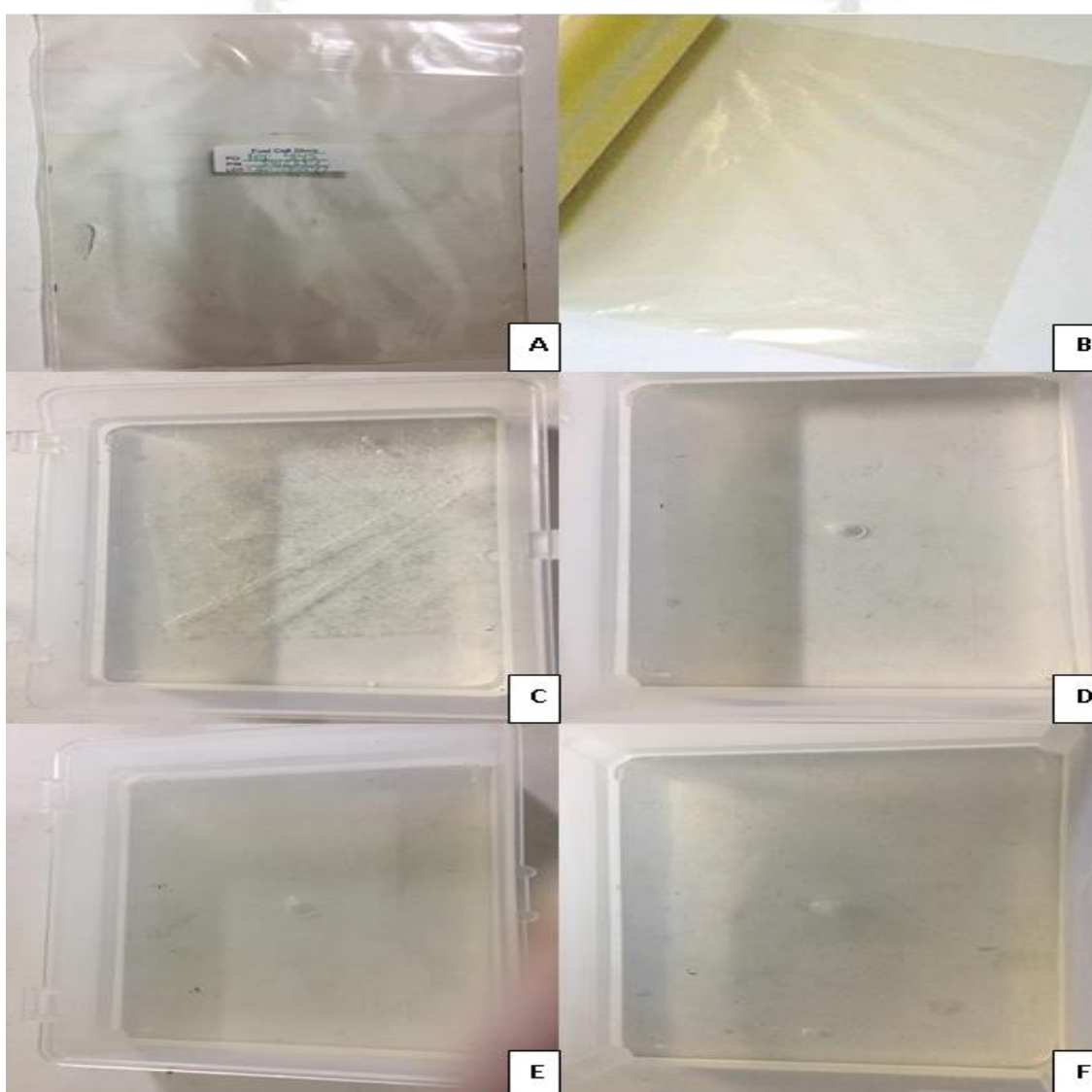


Figura N°14. Galería fotográfica de la preparación de la membrana de intercambio de protones. A) Se identificó la membrana. B) se cortó la membrana en 9cm x 6cm. C) Colocación de la membrana en peróxido. D) Membrana en agua destilada. E) Membrana en ácido sulfúrico. F) Membrana en agua destilada.

Una vez construido y colocada la membrana de intercambio de protones preparado, como se observa en la Fig. 15, ya se encontró listo para ser cargado e iniciar el funcionamiento del sistema, como se puede observar en la Fig. 31 (Anexos).

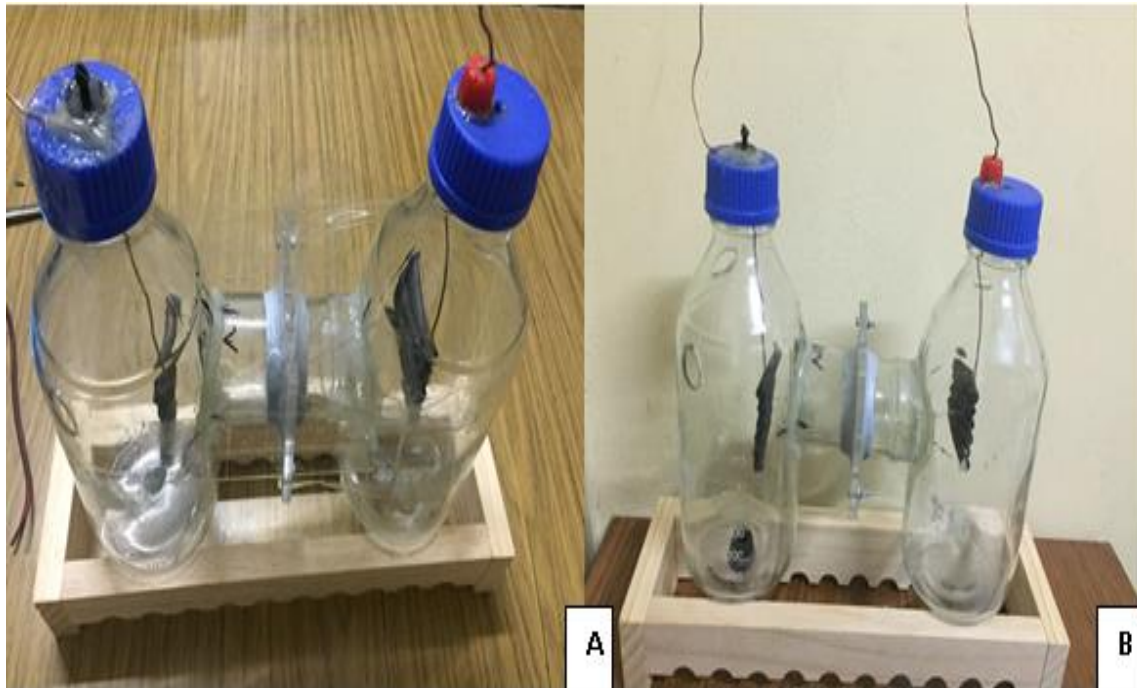


Figura N°15. Sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, A) Vista frontal del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio. B) Acondicionamiento del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, mostrando el cátodo y el ánodo.

3.3. Evaluación de la biomasa de microalgas empacadas en la celda aeróbica (cátodo) del sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio.

Para la evaluación de la biomasa se realizó el recuento de las microalgas con ayuda de una cámara de Neubauer visualizado bajo un microscopio óptico, cuyo conteo se hizo en los 4 campos de la cámara de Neubauer, en donde el resultado obtenido de este conteo se multiplicó por 16 (total de campos) y por 10000 por ser el factor de conversión. En la Fig. 16, se muestra el crecimiento del cultivo de microalgas mixtas bajo el microscopio óptico a 10X, realizando el recuento con ayuda de la cámara de Neubauer. En la figura N° 17, mediante la prueba de Tukey, se realizó la comparación del crecimiento a los diferentes tiempos; Además en la tabla N°1, se muestra los promedios, desviaciones del crecimiento del cultivo mixto de microalgas.

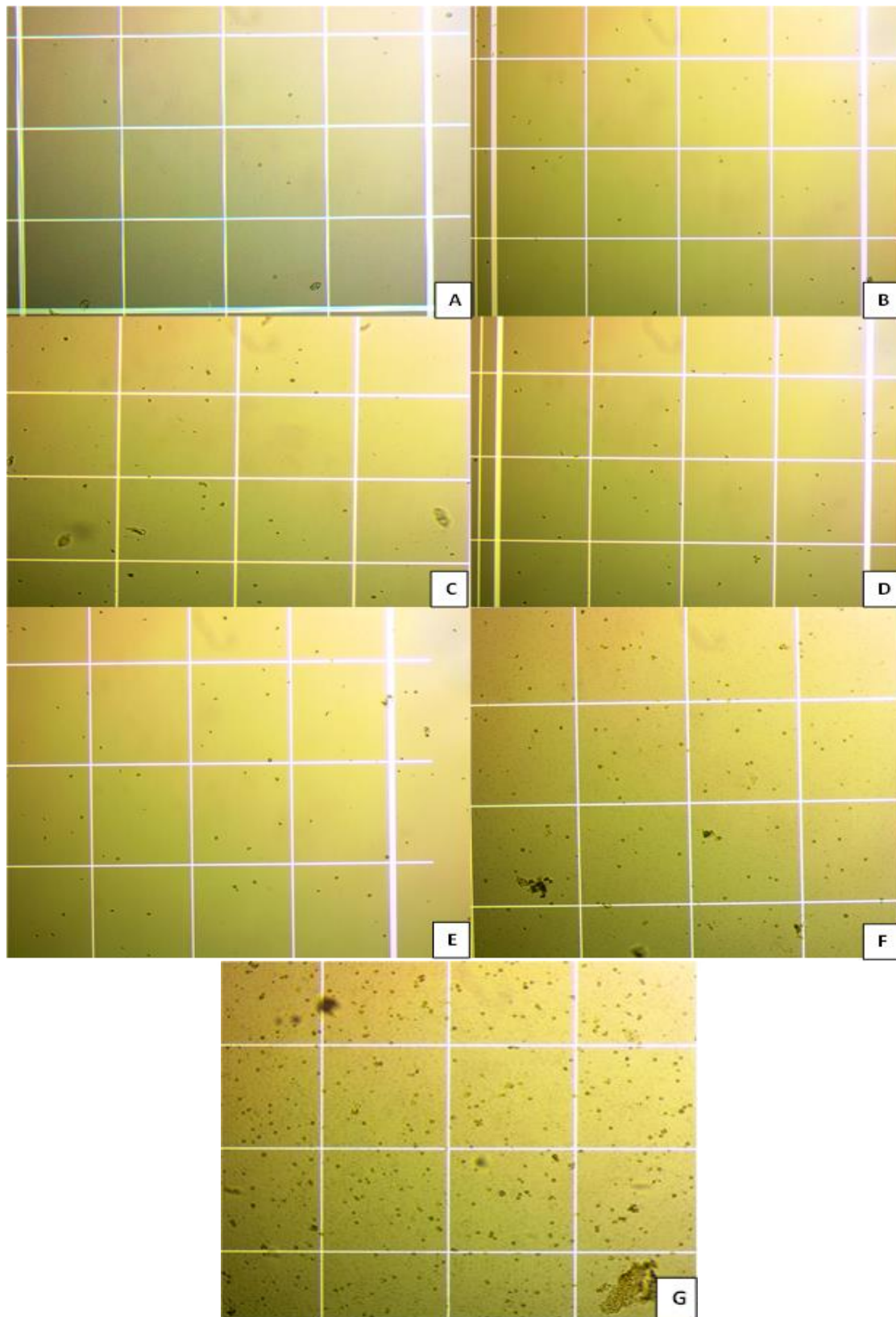


Figura N°16. Recuento de cultivo mixto con *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* en cámara de Newbauer a 10X. A) Recuento del cultivo mixto a los 2 días. B) Recuento del cultivo mixto a los 4 días. C) Recuento del cultivo mixto a los 6 días. D) Recuento del cultivo mixto a los 8 días. E) Recuento del cultivo mixto a los 10 días. F) Recuento del cultivo mixto a los 12 días. G) Recuento del cultivo mixto a los 14 días.

TABLA N°1

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE MICROALGAS EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

TIEMPO DE EVALUACIÓN	CRECIMIENTO	F	P
	(Cel./mL)		
2 DÍAS	1460000 ± 60000		
4 DÍAS	1500000 ± 100000		
6 DÍAS	1866666 ± 305505	137.237	0.000... (P<0.01)
8 DÍAS	2933333 ± 230940		
10 DÍAS	3346666 ± 305505		
12 DÍAS	5906666 ± 704651		
14 DÍAS	7540000 ± 314324		

La Tabla N°1 muestra los promedios y desviaciones estándar del crecimiento del cultivo mixto de microalgas aisladas de efluentes industriales del PIRS, desde los 2 a 14 días de evaluación en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, la que presentó un valor de estadístico de Fisher $F=137.237$ que indica que existe diferencias altamente significativas ($P<0.01$) en el crecimiento de microalgas desde los 2 a los 14 días de evaluación.

El crecimiento de microalgas en el cátodo se controló cada dos días en periodos similares a lo reportado por Venkata (2) quien realizó las mediciones a intervalos regulares. En el cátodo inicialmente se presentó un recuento inicial de 1460000 cel./mL y un recuento final de 7540000 cel./mL según la equivalencia establecida por Ruiz (91) los recuentos corresponden a 1.87 $\mu\text{g}/\text{mg}$ y 10.08 $\mu\text{g}/\text{mg}$ de concentración de clorofila a, mayor en comparación a los reportados por Venkata (2), en donde el contenido inicial de clorofila a, fue 2.34 $\mu\text{g}/\text{mg}$, que varió en función de la condición de funcionamiento, el contenido de clorofila a aumentó con el tiempo de operación y alcanzó un máximo 3.97 $\mu\text{g}/\text{mg}$, durante la primavera, mientras que se redujo durante verano a 2.18 $\mu\text{g}/\text{mg}$.

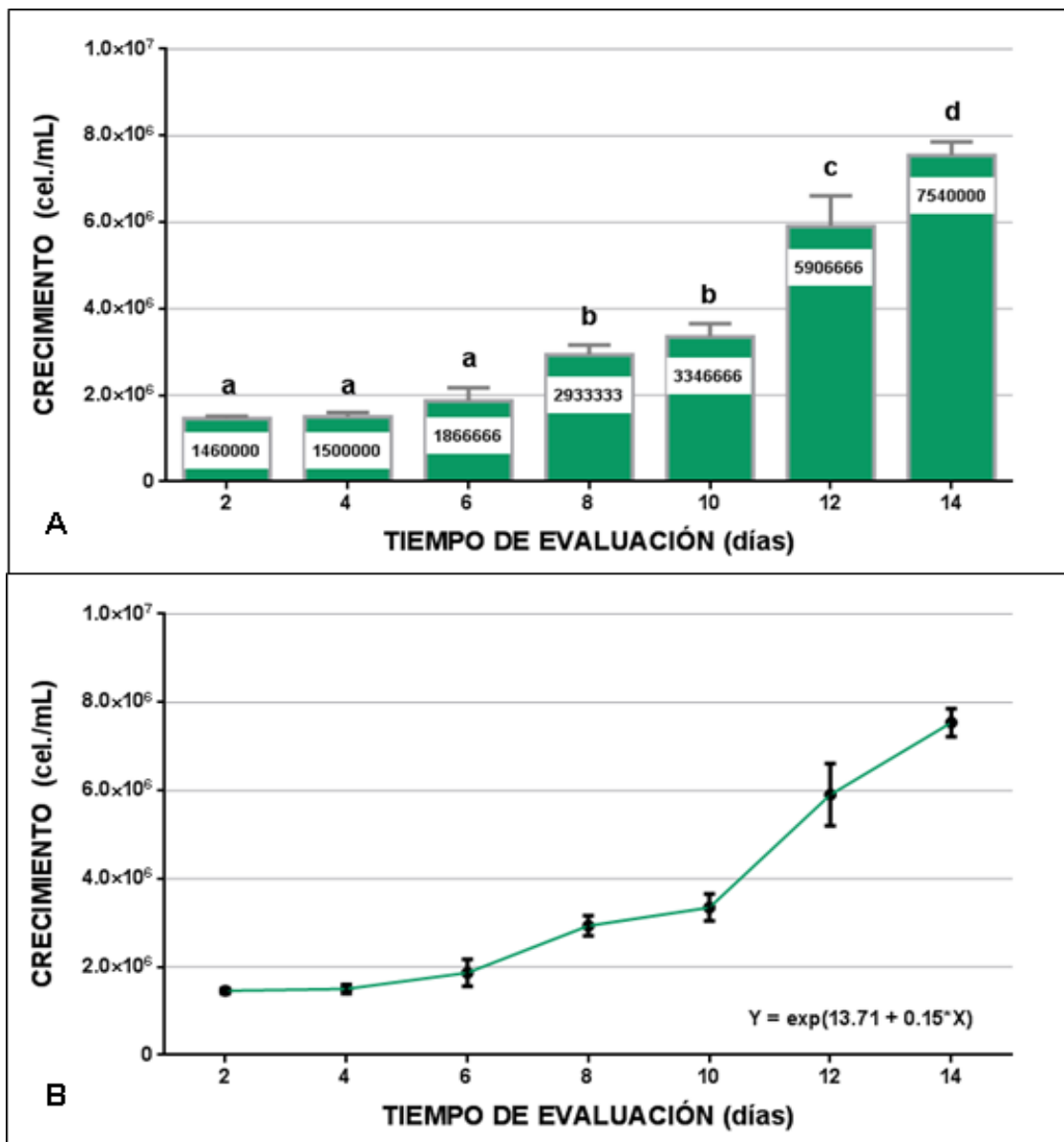


FIGURA N°17. COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE MICROALGAS EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°17 muestra el crecimiento del cultivo de microalgas en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de cuatro grupos estadísticamente similares (a, b, c, d), presentándose máximo crecimiento a los 14 días con un crecimiento promedio de 7540000. **B)** Muestra el crecimiento exponencial donde se muestra la fase exponencial a partir de los 8 días.

El máximo crecimiento obtenido a los 14 días de evaluación, presentó un contenido de clorofila que refleja la actividad fotosintética para la fotólisis de agua, la cual libera oxígeno con suministro simultáneo de energía para la utilización de CO₂. Un crecimiento inicial resultó en un rendimiento fotosintético eficiente del sistema, evidenciando la separación de agua y posterior liberación de oxígeno que puede actuar como aceptor de electrones en el cátodo.

3.5. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos (pH, STD, DBO, DQO, OD, temperatura) de las aguas residuales remediadas del PIRS en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio – anaerobio.

La remediación de aguas residuales que fueron obtenidas del PIRS, se realizó en la celda anaeróbica y aeróbica (ánodo y cátodo) del sistema bioelectroquímico a partir de un muestreo efectuado en dicho lugar en las fechas iniciadas en la Tabla 11 (anexos), evaluando los parámetros fisicoquímicos como el pH, STD, DBO, DQO, OD, temperatura; lo cual permitió cuantificar la remediación de las aguas residuales, como se muestra a continuación:

TABLA N° 2

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL DBO EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

MUESTRA	EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE DBO (mg/L)		
	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	4107.20 ± 78.80	4107.20 ± 78.80	4107.20 ± 78.80
CATODO	3520.00 ± 111.00	2310.00 ± 476.00	1100.00 ± 23.00
ANODO	3490.00 ± 140.00	2195.00 ± 850.00	900.00 ± 334.00
ANOVA (F)	28.585	10.834	245.608
SIGNIFICANCIA (P)	0.001 (P<0.01)	0.010 (P<0.01)	0.000...(P<0.01)

La Tabla N°2 muestra los promedios y desviaciones estándar de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, a los 4, 8 y 12 días de evaluación. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, también se presentan los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de ANOVA, los que indican diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en la demanda bioquímica de oxígeno en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación.

La producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales, muestra una relación y estabilidad proporcional a la cantidad de concentración suministrada; indicando su actividad como biosensor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, como lo reportado por Logroño W (92) y Chang I (93).

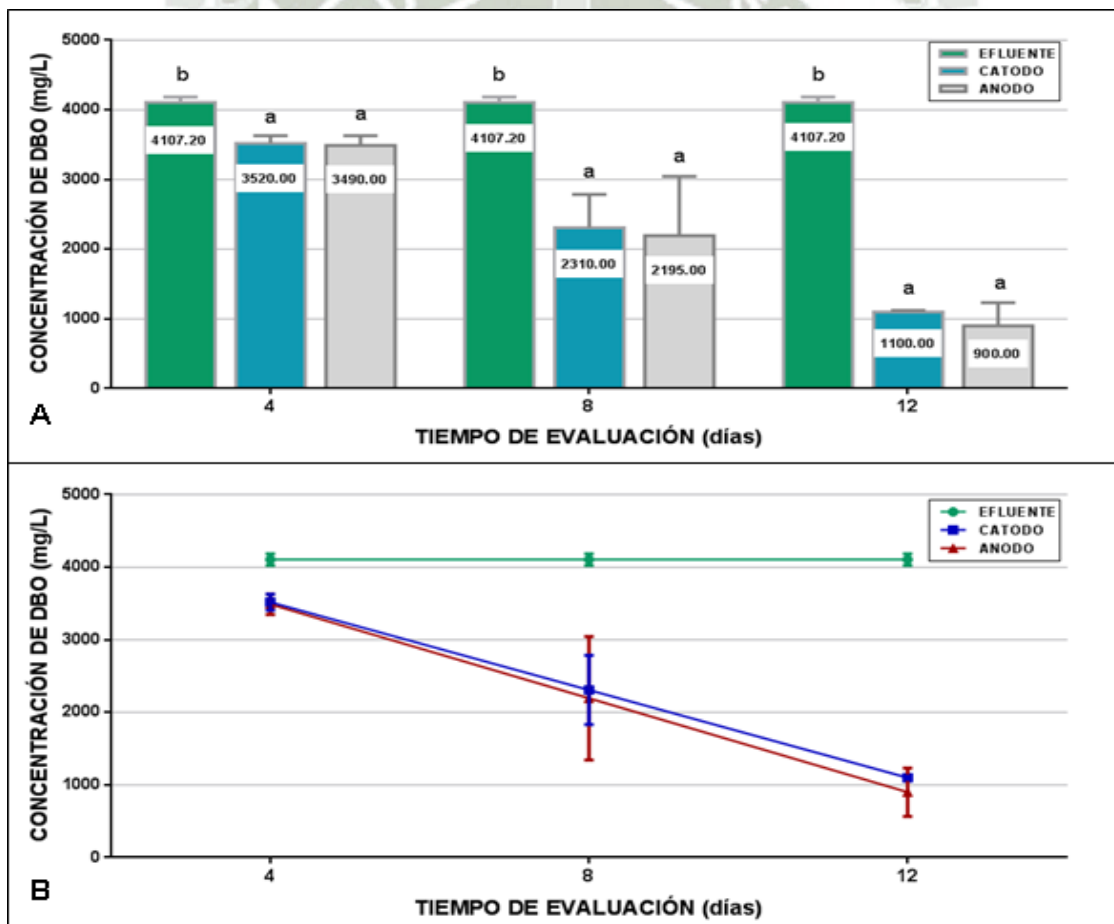


FIGURA N°18. COMPARACIÓN DEL DBO EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N° 18 muestra la concentración de la DBO en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de dos grupos estadísticamente similares (a, b), presentándose menor concentración de DBO en el cátodo y en ánodo (a) en comparación del agua residual del PIRS, a los 4, 8 y 12 días de evaluación. **B)** Muestra la reducción de la DBO, desde 4107.20 mg/L. del agua residual hasta 1100.00 mg/L en el cátodo representando un 73.21% de remoción y 900.00 mg/L en el ánodo representando un 78.08% de remoción hasta los 12 días.

Los resultados muestran una disminución gradual en la DBO, sin embargo se muestra un aumento gradual del voltaje en función al tiempo de evaluación (Fig. 25), por lo tanto esta sugerido que la concentración de DBO tenía incidencia en el voltaje de las celdas (92).

TABLA N°3

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL DQO EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

MUESTRA	EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE DQO (mg/L)		
	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	10424.00 ± 279.00	10424.00 ± 279.00	10424.00 ± 279.00
CATODO	10336.00 ± 869.00	6092.00 ± 2042.00	4574.00 ± 3006.09
ANODO	6650.00 ± 2039.00	6088.00 ± 1786.00	3909.33 ± 2568.50
ANOVA (F)	8.367	7.577	7.361
SIGNIFICANCIA (P)	0.018 (P<0.05)	0.023 (P<0.05)	0.024 (P<0.05)

La Tabla N°3 muestra los promedios y desviaciones estándar de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, a los 4, 8 y 12 días de evaluación. También

se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, también se presentan los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de ANOVA, los que indican diferencias significativas ($P < 0.05$) en la demanda química de oxígeno en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación.

La degradación del sustrato se analizó en términos de eficiencia de reducción de DQO, que fue de una concentración del agua residual 10424.00 mg/L hasta una concentración final de 3909.33 mg/L para el ánodo y 4574.00 mg/L para el cátodo, representando un 62.49% y 56.12 % respectivamente, en comparación con el reportado por Venkata S, et al (2) los que reportaron 58,9% en el ánodo, y 27,8% en el cátodo.

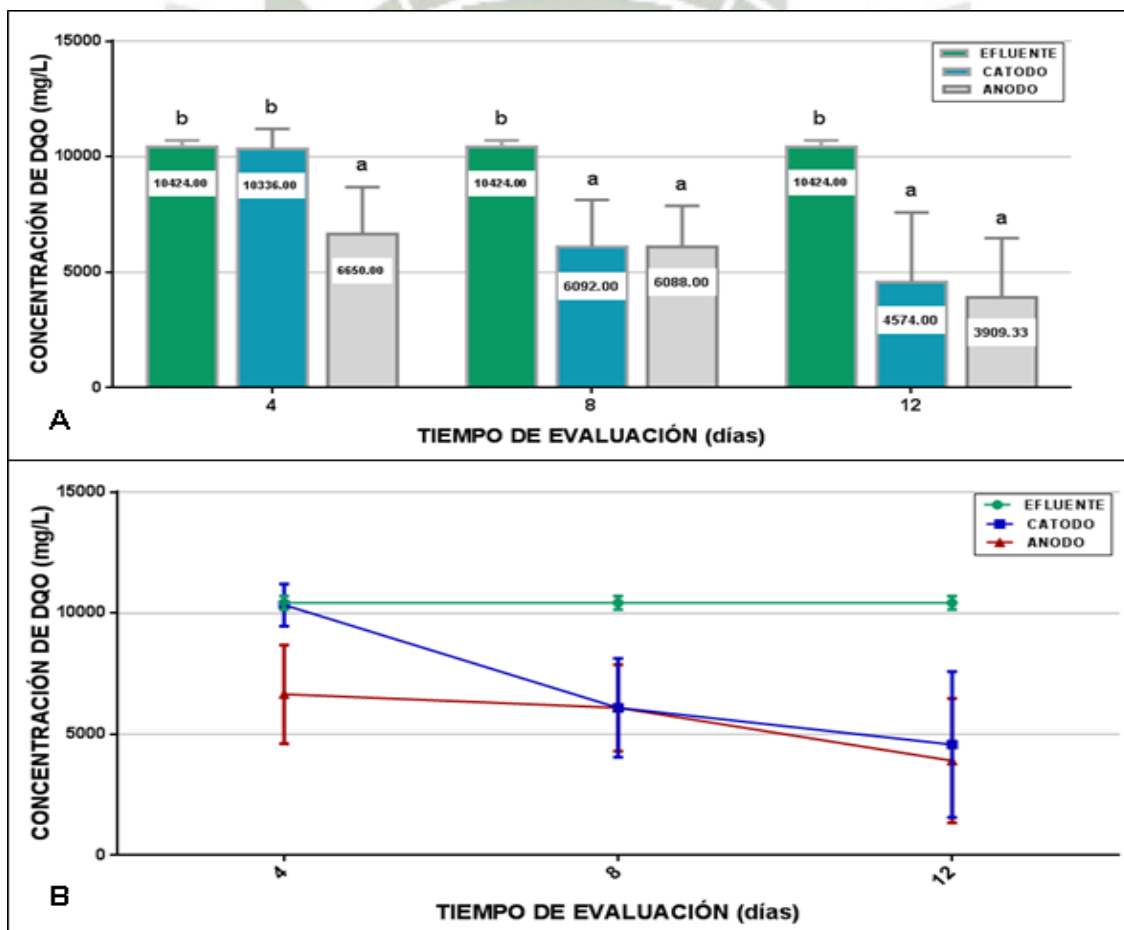


FIGURA N°19. COMPARACIÓN DEL DQO EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

Las Figura N°19 muestra la concentración de la DQO en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de dos grupos estadísticamente similares (a, b), presentándose menor concentración de DQO en el cátodo y en ánodo a los 8 y 12 días de evaluación (a) en comparación del agua residual del PIRS. **B)** Muestra la reducción de la DQO, desde 10424.00 mg/L del agua residual hasta 4574.00 mg/L en el cátodo y 3909.33 mg/L en el ánodo hasta los 12 días.

Un aumento de la biomasa de algas en el cátodo durante la estación de primavera resultó en la utilización efectiva de equivalentes reductores generados en la oxidación anódica que mejoró aún más el flujo de electrones en el circuito, dando como resultado una mayor degradación del sustrato en el ánodo. Sin embargo, en el cátodo, la biomasa de algas consumió menos debido a la posibilidad de utilizar tanto CO₂ (autotrófico) y residuos orgánicos de aguas residuales domésticas (heterotróficas), reportado por Devi M y Venkata S (94).

TABLA N°4

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OD EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OD (mg/L)			
MUESTRA	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	0.27 ± 0.23	0.27 ± 0.23	0.27 ± 0.23
CATODO	2.70 ± 0.20	2.93 ± 0.16	3.10 ± 0.00
ANODO	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.07 ± 0.01
ANOVA (F)	209.477	298.481	485.384
SIGNIFICANCIA (P)	0.000...(P<0.01)	0.000...(P<0.01)	0.000...(P<0.01)

La Tabla N°4 muestra los promedios y desviaciones estándar de la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto

aerobio-anaerobio, a los 4, 8 y 12 días de evaluación. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, también se presentan los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de ANOVA, los que indican diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en la concentración de oxígeno disuelto en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación.

Los incrementos en la concentración de biomasa del cátodo dieron lugar a un aumento concomitante de la disolución de oxígeno que contribuye a la reducción de la velocidad de reacción en el cátodo, que se manifiestan en mayor actividad bioelectrogénica reportado por Venkata S, et al (2).

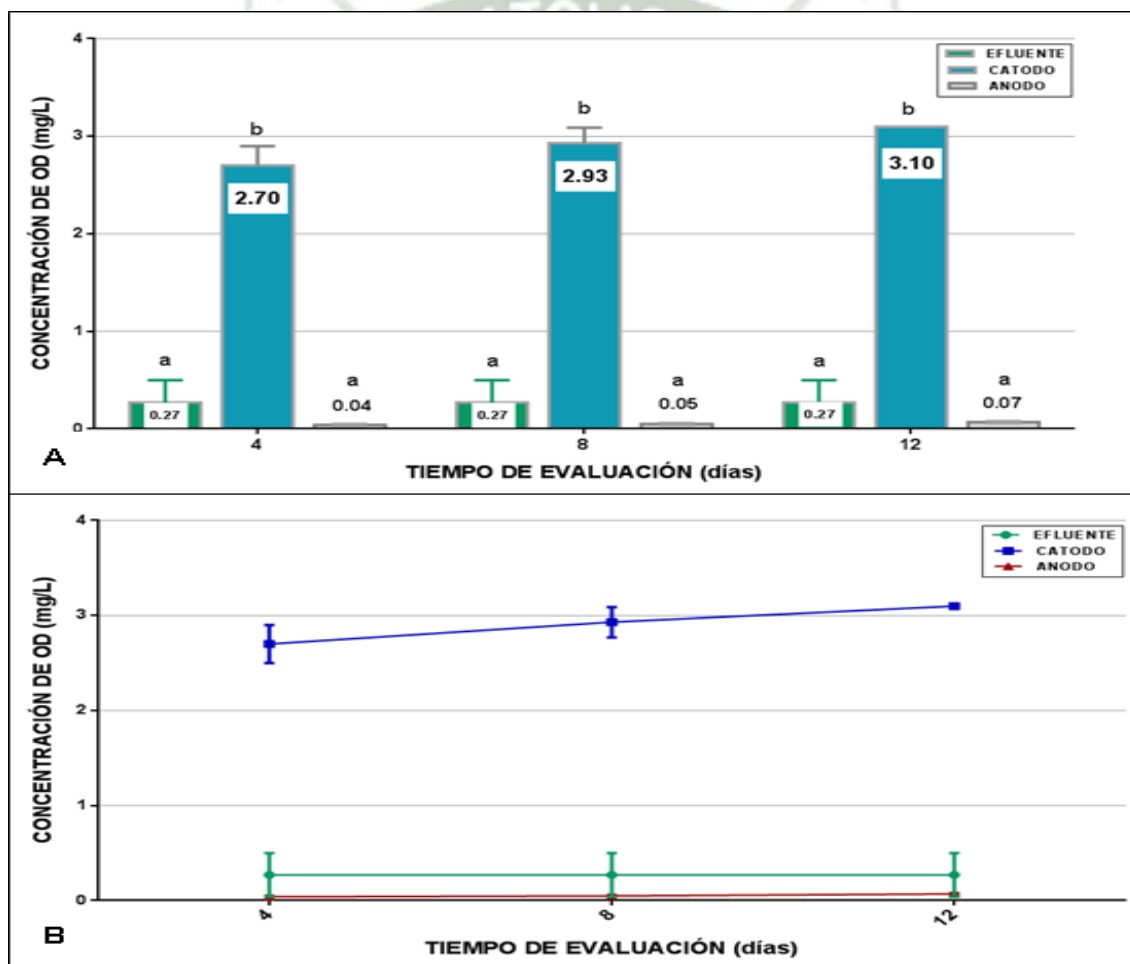


FIGURA N°20. COMPARACIÓN DEL OD EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°20 muestra la concentración en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de dos grupos estadísticamente similares (a, b), presentándose mayor concentración de OD en el cátodo a los 4, 8 y 12 días de evaluación (b) en comparación del ánodo y el agua residual del PIRS. **B)** Muestra el aumento de la OD, desde 0.27 mg/L, del agua residual hasta 3.10 mg/L en el cátodo hasta los 12 días.

El cátodo presentó OD y varió entre 0.27 mg/L a 3.10 mg/L en el cátodo menor al registrado por 4 mg/L y 5,5 mg/L durante la temporada de primavera, mientras que fue significativamente mayor a los valores reportados para el verano en la misma investigación 0,6 y 1,5 mg/L debido al incremento en la temperatura del cátodo. Los incrementos del OD a las posibles actividades fotosintéticas impulsadas por la luz, por el contrario, los niveles de OD bajaron durante la noche debido al consumo del OD, por la respiración e inhibición de microalgas de la fotosíntesis oxigenada como lo reportado por Venkata S, et al (2).

TABLA N°5

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL pH EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

MUESTRA	EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE pH		
	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	8.50 ± 0.60	8.50 ± 0.60	8.50 ± 0.60
CATODO	7.00 ± 0.50	6.95 ± 0.02	6.90 ± 0.20
ANODO	7.30 ± 0.30	6.80 ± 0.19	7.00 ± 0.40
ANOVA (F)	8.100	20.107	12.911
SIGNIFICANCIA (P)	0.020 (P<0.05) (P	0.002 (P<0.01)	0.007 (P<0.01)

La Tabla N°5 muestra los promedios y desviaciones estándar del pH en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, a los 4, 8 y 12

días de evaluación. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, también se presentan los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de ANOVA, los que indican diferencias significativas ($P < 0.05$) a los 4 días de evaluación y diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el pH en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 8 y 12 días de evaluación.

El cambio en el pH refleja la conversión del sustrato en ambas cámaras. En el ánodo el pH mostró un incremento gradual hasta neutro 7.00 ± 0.40 similar al reportado por Venkata S, et al (2) que fue de 6.88 ± 0.11 , lo cual es característico de una fermentación típica.

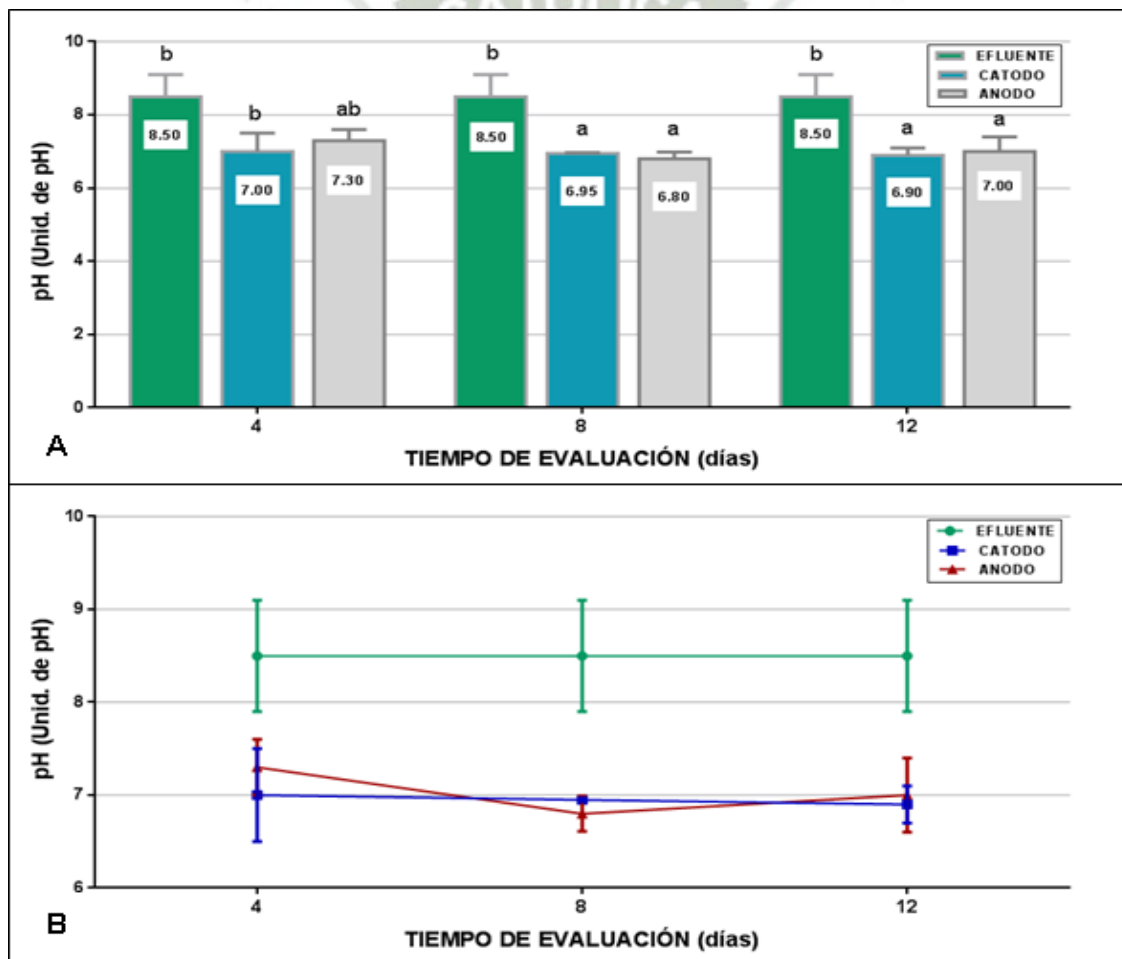


FIGURA N°21. COMPARACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE pH EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO. PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°21 muestra el pH en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de dos grupos estadísticamente similares (a, b), presentándose menor pH en el cátodo y en ánodo a los 4, 8 y 12 días de evaluación (a) en comparación del efluente del PIRS. **B)** Muestra una reducción del pH, desde 8.50, del agua residual hasta 6.90 en el cátodo y 7.00 en el ánodo hasta los 12 días.

El resultado indica una función eficaz del biocatalizador durante la temporada de primavera. Hay pocos incrementos y decrementos observado durante la operación de primavera debido al mayor tiempo de retención, que no fue en el caso de la operación de verano reportado por Venkata S, et al (2).

TABLA N°6

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO. PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

MUESTRA	EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD (μS)		
	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	8780.00 \pm 2046.00	8780.00 \pm 2046.00	8780.00 \pm 2046.00
CATODO	3820.00 \pm 855.00	2587.00 \pm 529.00	1354.00 \pm 500.00
ANODO	3600.00 \pm 832.00	2463.00 \pm 560.00	1326.00 \pm 328.00
ANOVA (F)	13.767	24.565	36.548
SIGNIFICANCIA (P)	0.006 (P<0.01)	0.001 (P<0.01)	0.000...(P<0.01)

La Tabla N°6 muestra los promedios y desviaciones estándar de la conductividad en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, a los 4, 8 y 12 días de evaluación. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, como los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba de estadística ANOVA, los que indican diferencias altamente significativas (P<0.01) de la

conductividad en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación.

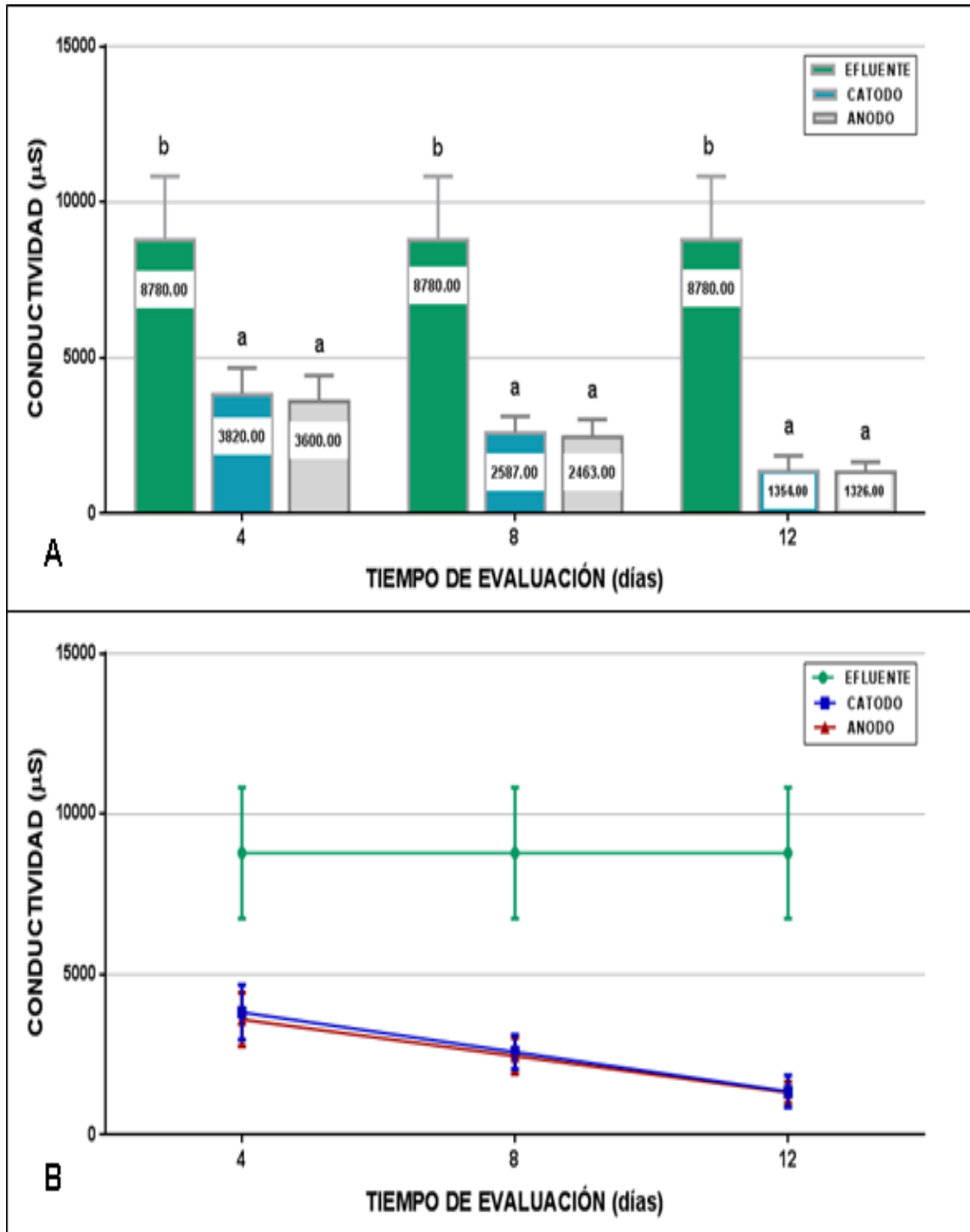


FIGURA N°22. COMPARACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°22 muestra la conductividad en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de dos grupos estadísticamente similares (a, b), presentándose menor conductividad en el cátodo y en ánodo a los 4, 8 y 12 días de evaluación (a) en comparación del agua residual del PIRS. **B)** Muestra una reducción de la conductividad, desde 8780.00, del agua residual hasta 1354.00 en el cátodo y 1326.00 en el ánodo hasta los 12 días

TABLA N° 7

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

MUESTRA	EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/L)		
	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	5680.00 ± 789.00	5680.00 ± 789.00	5680.00 ± 789.00
CATODO	3167.00 ± 956.00	2526.50 ± 81.50	1940.00 ± 286.00
ANODO	3113.00 ± 352.00	2463.50 ± 477.50	1760.00 ± 173.00
ANOVA (F)	11.661	35.514	60.034
SIGNIFICANCIA (P)	0.009 (P<0.01)	0.000...(P<0.01)	0.000...(P<0.01)

La tabla N°7. Muestra los promedios y desviaciones estándar de la concentración de sólidos totales disueltos en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA., también se presentan los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de ANOVA, los que indican diferencias altamente significativas (P<0.01) en la concentración sólidos totales disueltos en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación.

Las concentraciones de STD en el ánodo también se correlacionaron bien con el pH, con un incremento gradual durante la fase inicial con 5680.00 mg/L hasta 1940.00 mg/L en el cátodo y 1760.00 mg/L en el ánodo hasta los 12 días de forma similar a lo reportado por Venkata S, et al (2) con un decremento gradual desde 1076 a 368 mg/L, esto muestra la función similar del biocatalizador anódico independientemente del funcionamiento del cátodo.

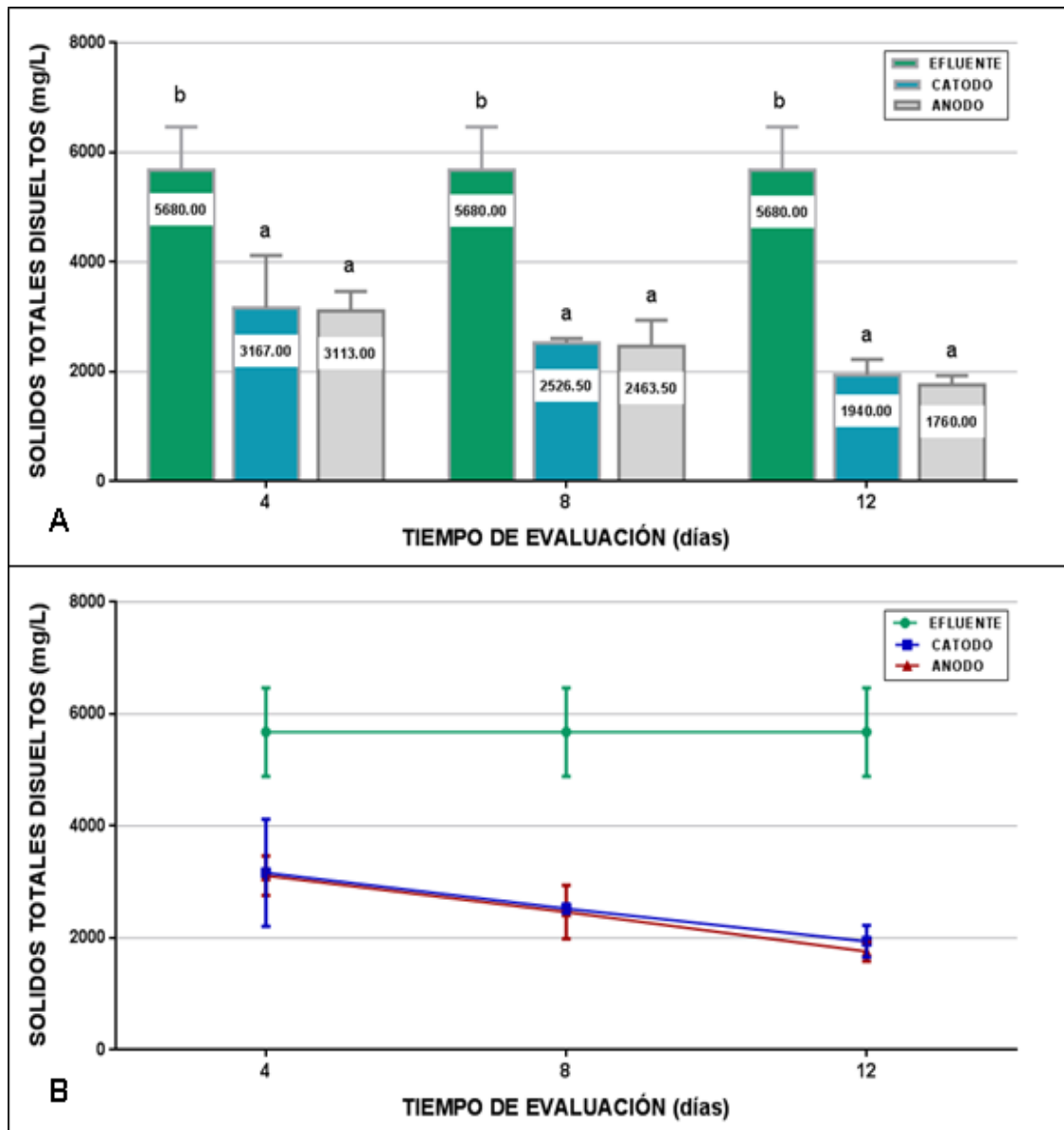


FIGURA N°23. COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°23 muestra la concentración de sólidos totales en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de dos grupos estadísticamente similares (a, b), presentándose menor concentración de sólidos totales disueltos en el cátodo y en ánodo a los 4, 8 y 12 días de evaluación (a) en comparación del agua residual del PIRS. **B)** Muestra una reducción de la concentración de sólidos totales disueltos, desde 5680.00, del agua residual hasta 1940.00 en el cátodo representando un 65.8% de remoción y 1760.00 en el ánodo representando un 69.01% de remoción hasta los 12 días de evaluación.

La mayor concentración de STD en el ánodo indica la acumulación de productos intermedios ácidos, produciéndose una disminución en la transferencia de electrones ya que el consumo de sustrato es gradual y los productos intermedios ácidos formados también se consumen simultáneamente debido a la función efectiva del cátodo que presenta la necesidad de oxidación anódica como lo reporta Srikanth S y Venkata M (95).

TABLA N°8

ANÁLISIS DE VARIANZA QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

MUESTRA	EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA (°C)		
	4 DÍAS	8 DÍAS	12 DÍAS
	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$
AGUA RESIDUAL	21.20 ± 1.30	21.20 ± 1.30	21.20 ± 1.30
CATODO	19.20 ± 0.90	19.05 ± 2.45	18.90 ± 0.00
ANODO	22.80 ± 2.40	20.75 ± 1.15	18.70 ± 1.00
ANOVA (F)	3.545	1.284	6.457
SIGNIFICANCIA (P)	0.096 (P>0.05)	0.343 (P>0.05)	0.320 (P>0.05)

La tabla N°8 muestra los promedios y desviaciones estándar de la temperatura en los componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio, a los 4, 8 y 12 días de evaluación. También se muestra la prueba estadística de comparación de ANOVA, también se presentan los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de ANOVA, los que indican que no existe diferencias significativas ($P > 0.05$) en la temperatura en los diferentes componentes del sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio a los 4, 8 y 12 días de evaluación.

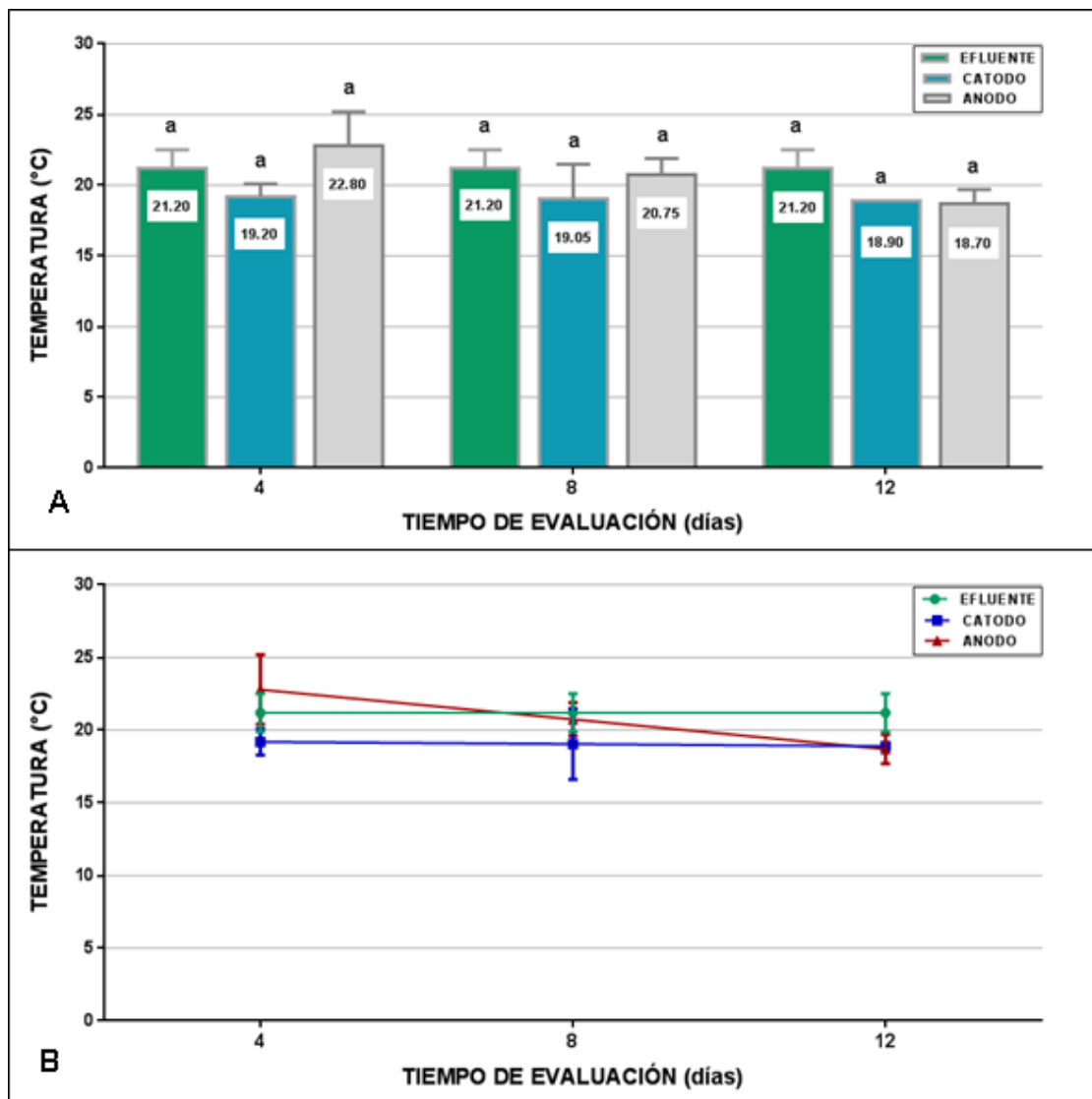


FIGURA N°24. COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

Las Figura N°24 muestra la temperatura en el sistema electroquímico mixto aerobio-anaerobio. **A)** Muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la misma que indica la presencia de un grupo estadísticamente similares (a), presentándose similar temperatura en el cátodo y en ánodo a los 4, 8 y 12 días de evaluación en comparación del agua residual del PIRS. **B)** Muestra similar temperatura del agua residual 21.20°C, en el cátodo 18.90°C en el ánodo hasta los 18.70°C días de evaluación.

En los niveles más altos de OD en el cátodo se dio lugar a una mayor actividad electrogénica por un decrecimiento en la temperatura, mientras que los bajos niveles de OD se mostraron con un aumento moderado de la temperatura generando una caída gradual en la potencia de salida. El contenido de clorofila de la biomasa también se midió tanto las operaciones, que se correlacionaron bien con el observado en relación de la biomasa y concentraciones de OD como lo reportado por Venkata S, et al (2).

3.6. Caracterización del desempeño en el sistema mixto bioelectroquímico aerobio – anaerobio, por método electroquímico, en términos de intensidad de corriente, densidad de corriente, voltaje y densidad de potencia generada.

La evaluación de la actividad electrogénica fue evaluó en términos de voltaje, intensidad de corriente, densidad de corriente, potencia eléctrica; evaluados mediante multímetro digital cada dos días durante todo el periodo experimental.

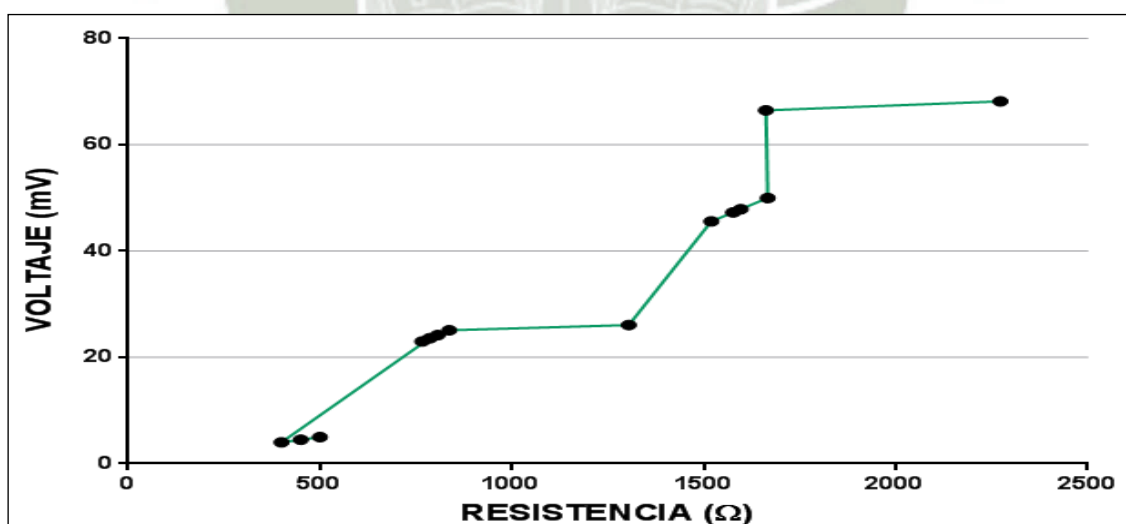


FIGURA N°25. RESISTENCIA SEGÚN EL VOLTAJE EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°25 muestra una relación directa entre la resistencia y el voltaje producido en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio hasta los 14 días de evaluación, alcanzando un voltaje máximo de 68.20 mV con un valor promedio de 66.50 ± 1.70 mV para una resistencia de 2273.33 Ω con un valor promedio de 1851.94 ± 365.55 Ω .

El voltaje producido en el ánodo y en el cátodo varió en función de la carga externa indicando que el rendimiento de cada celda depende tanto del ánodo como del cátodo. Se observó un incremento de los voltajes de ánodo y cátodo a mayores resistencias. El voltaje mostró un aumento gradual con una resistencia creciente hasta alcanzar un umbral como lo reportado por Venkata S, et al (2).

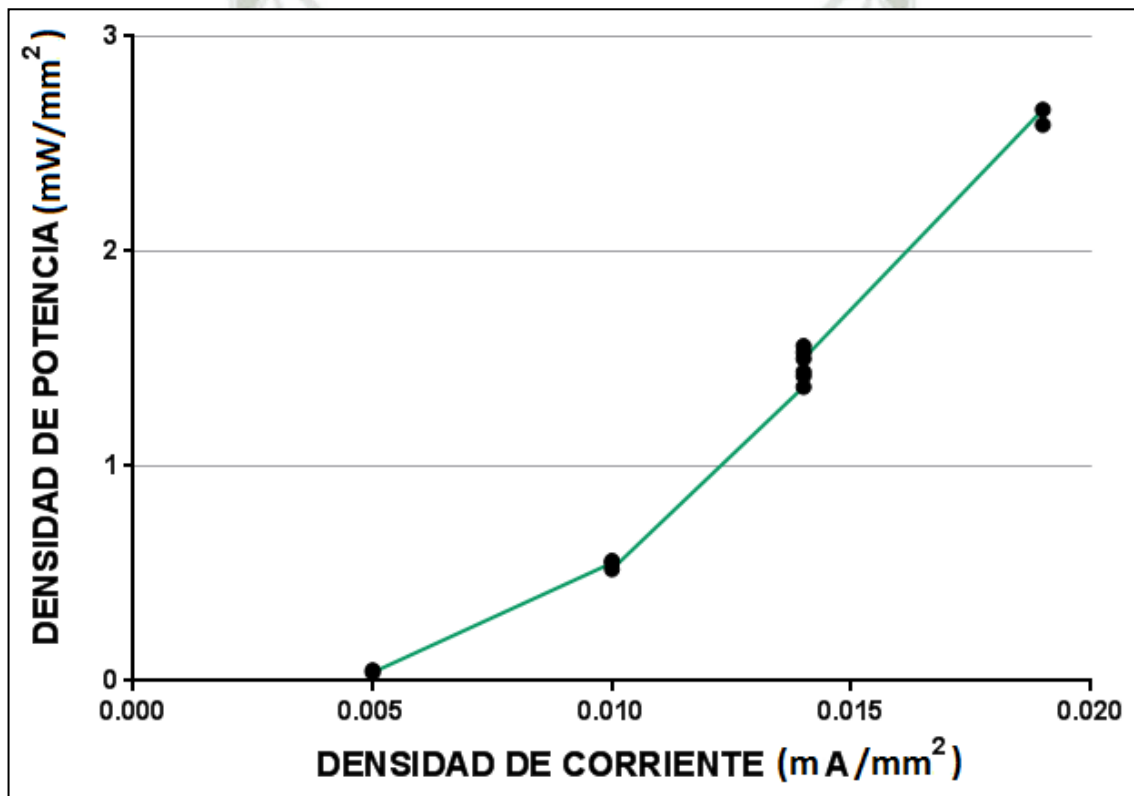


FIGURA N°26. DENSIDAD DE CORRIENTE SEGÚN DE DENSIDAD DE POTENCIA EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EVALUACIÓN

La Figura N°26 muestra una relación directa entre la densidad de corriente y la densidad de potencia en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio hasta los 14 días de evaluación., alcanzando una densidad de corriente de 0.014 mA/mm² con un

valor promedio $0.02 \pm 0.00 \text{ mA/mm}^2$ para una densidad de potencia de 2.05 mW/m^2 con un valor promedio de $2.43 \pm 0.33 \text{ mW/mm}^2$.

La estabilidad del voltaje se obtuvo después de las 300 h.; la densidad de potencia según la densidad de corriente presentó un incremento máximo hasta un voltaje de 68.20 mV, cuyo valor es menor en comparación al reportado por Estrada y Salazar (3) en que se llegó a la estabilidad con la obtención de un máximo voltaje (0.11V) en celdas a circuito abierto en serie, voltaje que fue disminuyendo debido al consumo de la materia con una resistencia de 1,000 ohms, además se muestra una potencia de 12.1 mW y una corriente de 0.11mA, mayor al obtenido en la investigación, esto puede deberse a que la sección de alambre utilizado en los electrodos del sistema fue de (2.08mm^2) mayor en comparación al reportado.

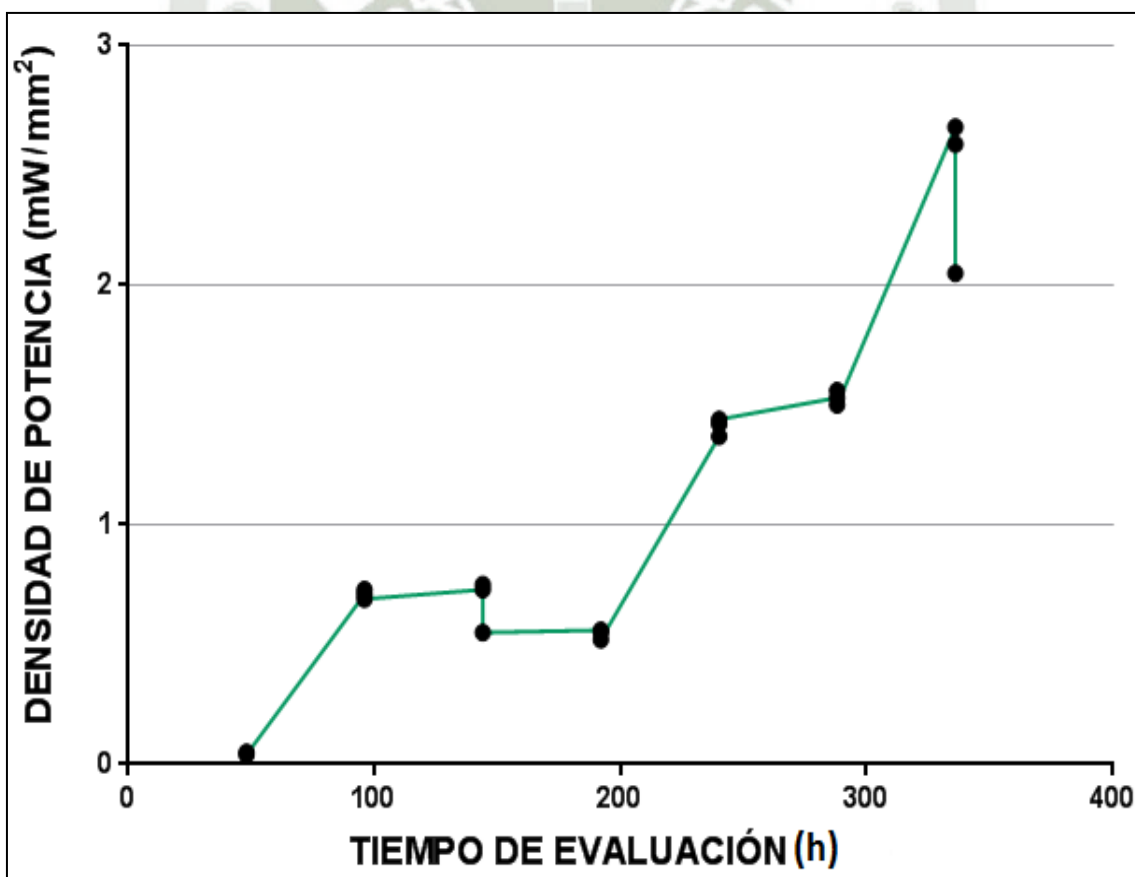


FIGURA N°27. DENSIDAD DE POTENCIA SEGÚN TIEMPO DE EVALUACIÓN EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO

La Figura N°27 muestra un incremento de la densidad de potencia según el tiempo de evaluación en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio hasta las 336 h. de evaluación., alcanzando una densidad de potencia de 2.66 mW/mm^2 con un valor promedio de $2.43 \pm 0.33 \text{ mW/mm}^2$.

El potencial catódico juega un papel crucial en la determinación de la densidad de potencia de las celdas del sistema bioelectroquímico, en el cátodo la densidad potencial es un índice de las tasas de reacción entre el terminal aceptor de electrones y los equivalentes redox reportado por Srikanth S y Venkata M (95).

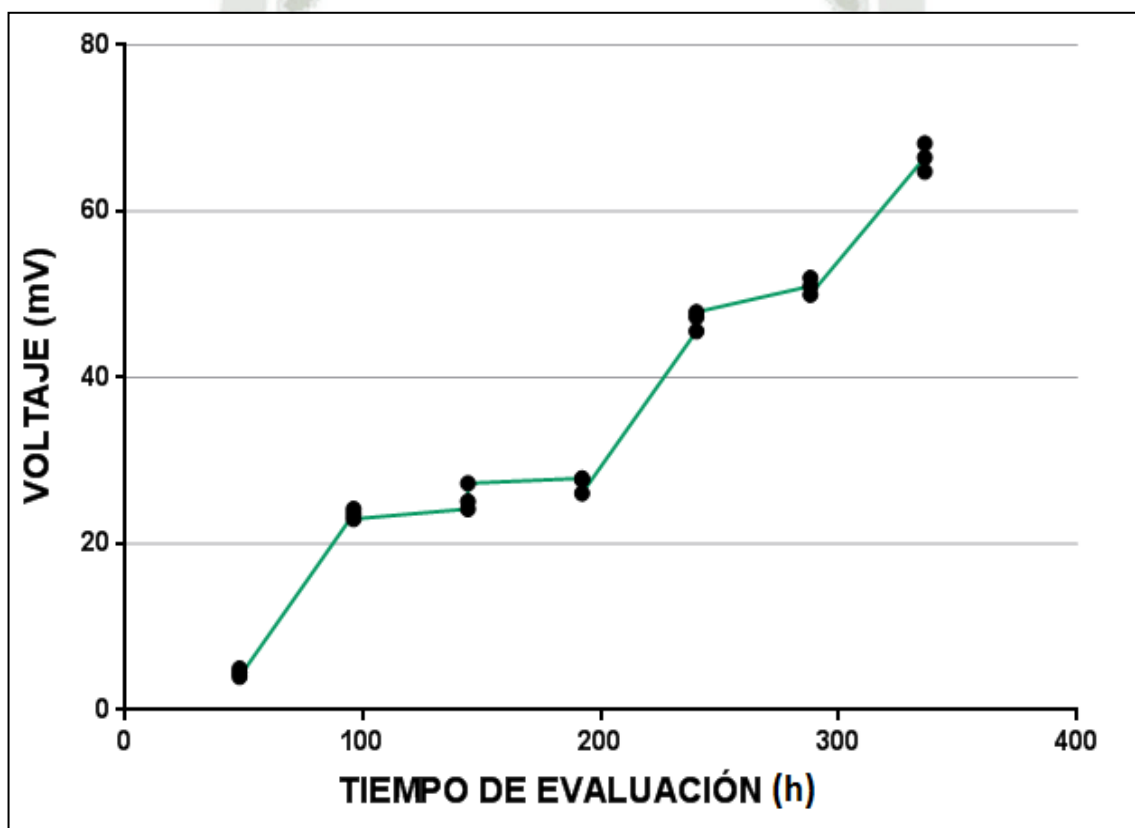


FIGURA N°28. VOLTAJE SEGÚN TIEMPO DE EVALUACIÓN EN EL SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO MIXTO AEROBIO-ANAEROBIO

La Figura N°28 muestra un incremento del voltaje según el tiempo de evaluación en el sistema bioelectroquímico mixto aerobio-anaerobio hasta las 336 h. de evaluación, alcanzando una densidad de potencia de 68.20 mV con un valor promedio $66.50 \pm 1.70 \text{ mV}$

A diferencia de lo reportado por Venkata Mohan (2) en el que el voltaje del ánodo fue mayor durante los primeros días de operación y disminuyó gradualmente a un valor más bajo en la fase posterior debido al agotamiento del sustrato, el voltaje fue en aumento, esto probablemente a que no hubo agotamiento de sustrato. La descarga de electrones desde el biocatalizador al ánodo es regulada por las resistencia, la resistencia limita solamente la entrega de electrones al cátodo, mientras que a menor resistencia externa, la entrega de electrones al cátodo es limitada por transferencia cinética y / o de masa (o resistencia interna) reportado por Srikanth S y Venkata M (95).



CONCLUSIONES

PRIMERA: Se obtuvo un consorcio de bacterias anaeróbicas a partir de lodos y microalgas mixtas identificadas como *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus*; las cuales fueron aisladas a partir de las aguas residuales de las lagunas de oxidación del PIRS, mediante diluciones y cultivos sucesivos.

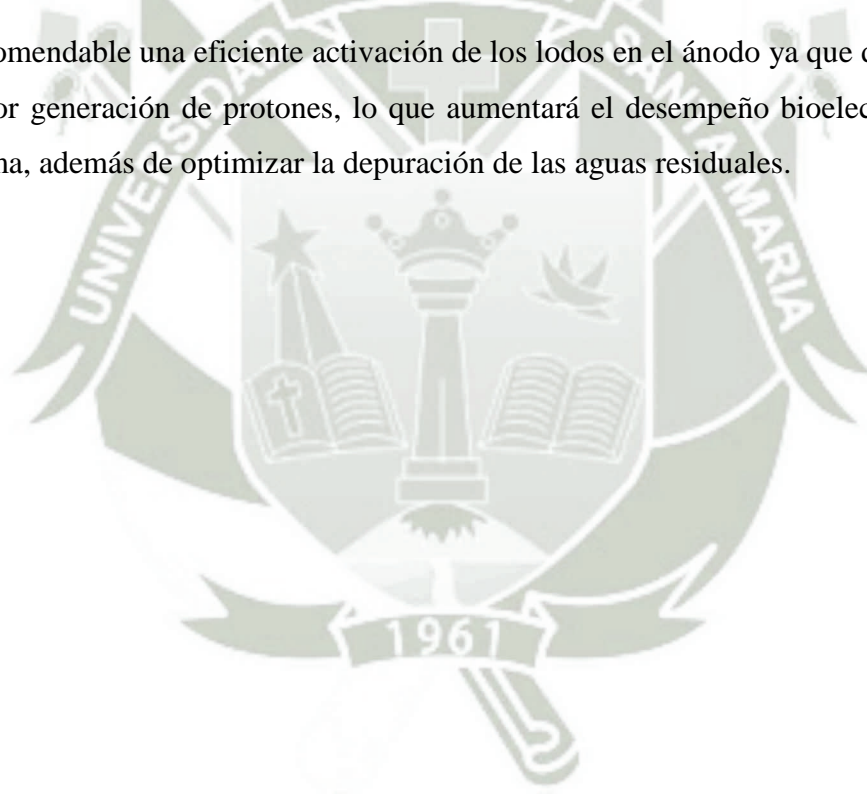
SEGUNDA: Se construyó un sistema de dos celdas de 1000 mL de capacidad, una celda para el cátodo que fue cargado con cultivo de microalgas y otra celda para el ánodo, con lodos activados conteniendo consorcio de bacterias anaerobias, separadas por la membrana de intercambio de protones, previamente activada y fijada con arandelas y sujeta con abrazaderas en un tubo hueco de 40 mm de diámetro que unió las dos celdas, los electrodos fueron construidos de grafito con un área de 70 cm² con alambre de cobre de 2.08 mm² de diámetro.

TERCERA: La generación de bioelectricidad a través del sistema fue evidenciada por la generación de un voltaje promedio de 66.50 ± 1.70 mV, una densidad de corriente promedio 0.02 ± 0.00 mA/ mm² y una densidad de potencia promedio de 2.43 ± 0.33 mW/mm² a una temperatura promedio de 18.90 ± 0.00°C en el cátodo y 18.70°C ± 1.00°C en el ánodo hasta los 14 días de evaluación.

CUARTA: Se presentó una disminución con el tiempo de evaluación en los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del PIRS en el sistema, así de una DBO de 4017.20 ± 78.80 mg/L en el agua residual se presentó una disminución hasta 1100.00 ± 23.00 mg/L en el cátodo con 73.21% de remoción y 900 ± 334.00 mg/L en el ánodo con 78.08% de remoción, la DQO de 10424.00 ± 279.00 mg/L en el agua residual hasta 4574.00 ± 3006.09 mg/L en el cátodo con 62.49% de remoción y 3909.33 ± 2568.50 mg/L en el ánodo con 56.12% de remoción, el pH mostró una reducción de 8.50 ± 0.60 hasta 6.90 ± 0.20 en el cátodo y 7.00 ± 0.40 en el ánodo, la conductividad mostro una disminución desde 8780.00 ± 2046.00 μS en el agua residual hasta 1354.00 ± 500.00 μS en el cátodo y 1326.00 ± 328.00 μS en el ánodo y los STD presentaron una disminución desde 5680.00 ± 789.00 mg/L en el agua residual hasta 1940.00 ± 286.00 mg/L en el cátodo con 65.8% de remoción y 1760.00 ± 173.00 mg/L en el ánodo con 69.01% de remoción, mientras que se mostró un aumento gradual de OD desde 0.27 ± 0.23mg/L hasta 3.10 ± 0.00 mg/L en el cátodo

SUGERENCIAS

1. El transporte de electrones en el sistema bioelectroquímico mixto aerobico-anaerobio, podría optimizarse considerando un menor diámetro del conductor (2.08 mm^2) de cobre usado en los electrodos.
2. La automatización para la evaluación de parámetros fisicoquímicos en el sistema bioelectroquímico mixto aerobico-anaerobio, optimizaría la evaluación del desempeño del cátodo y el ánodo.
3. Un incremento en el volumen de las celdas del sistema bioelectroquímico mixto aerobico-anaerobio, podría determinar el incremento de biomasa en el cultivo de microalgas con el consiguiente aumento en la concentración de OD y mayor flujo de electrones hacia el ánodo del sistema.
4. Es recomendable una eficiente activación de los lodos en el ánodo ya que determinará una mayor generación de protones, lo que aumentará el desempeño bioelectroquímico del sistema, además de optimizar la depuración de las aguas residuales.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

1. Nikhil G.N. Venkata G. Subhash. Dileep Kumar Yeruva. Venkata S. Mohan. (2015). Closed circuitry operation influence on microbial electrofermentation: Proton/electron effluxes on electro-fuels productivity *Bioresource Technology*.
2. Venkata S. Mohan. S. Srikanth. P. Chiranjeevi. Somya Arora. Rashmi Chandra (2014) Algal biocathode for in situ terminal electron acceptor (TEA) production: Synergetic association of bacteria–microalgae metabolism for the functioning of biofuel cell. *Bioresource Technology* 166. 566–574.
3. Estrada A. Salazar M. 2013. Generación de energía eléctrica a partir del tratamiento de aguas residuales por medio de bioceldas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
4. Saavedra S.. 2012. Diseño de una celda de combustible microbiológica con uso de bacterias oxidantes de azufre y hierro. Universidad de Chile.
5. Logan. B.E. and Regan. J.M. (2006a). Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends in Microbiology* 14. 512–518.
6. Min B. Cheng. S. & Logan BE (2005) Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells. *Water Res.* 39: 1675-1686.
7. Lewis Nathan and Nocera Daniel LNAN. Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *The National Academy of Sciences of the USA*. 2006 October; 103(42).
8. Lotet de Mola C. Consejo Nacional del Ambiente. *Diario Oficial el Peruano*. 2006 Abril: p. 3.
9. Tchobanoglous. G.. Burton. F. L.. Stensel. H. D. 2002. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition. McGraw-Hill Professional. USA. p.1030.
10. Madigan. M. T.. Martinko. J. M.. Parker. J. 2004. *Brock. Biología de los organismos*. 10ma Edición. Pearsons Education, Madrid. p.137.
11. Atlas. R. M.. Bartha. R. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4ta Edición. Pearson edicacion. Madrid. p 473-501 biosorbents for heavy metals. *Environ.Eng.Manag.J.*6(3).237–251.
12. Bitton. G. 2005. *Wastewater microbiology*. 3rd edition. *Wiley Series in Ecological and Applied Microbiology*. Wiley and Sons Publications. New Jersey. p.213-222.

13. U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Process design manual for nitrogen control. Office of technology transfer. Washington DC.
14. Carpenter. S. R., Caraco. N. F. Smith. V. H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*. 8: 559-568.
15. Serviou. R. J. 1999. The microbiology of activated sludge biotechnology research centre. Australia p112 -421.
16. Priyadarshani. I., Sahu. D., Rath. B., 2011. Microalgal bioremediation: current practices and perspectives. *J. Biochem. Technol.* 3(3). 299-304.
17. Rajamani. S., Siripornadulsil. S., Falcao. V., Torres. M. A., Colepicolo. P., Sayre., 2007. Phycorremediation of heavy metals Using Transgenic Microalgae. In: León. R., Galván. C., Cejudo. A., Fernández. E. (Eds.). *Transgenic Microalgae as Green Cell Factories*. Adv. Exp. Med. Biol. 616:99-107.
18. Prescott. G. W. (Gerald Webber). 1899- *Algae of the western Great Lakes area. with an illustrated key to the genera of desmids and freshwater diatoms* Dubuque. Iowa. W. C. Brown Co. 65: 272-273.
19. Hoek. C. van den. Mann. D. G. and Jahns. H. M. 1995. *Algae An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press. Cambridge. ISBN 0-521-304:19-9.
20. <http://www.algaebase.org>
21. Park J. R Craggs & A Shilton. 2011. A. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology* 102: 35-42.
22. Contreras-Flores C. J Peña-Castro. L Flores-Cotera & R Cañizares-Villanueva. 2003. Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia* 28(8): 450-456.
23. Martínez L. 2008. Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas. Tesis Doctoral. Instituto de Recursos Naturales. Universidad de León. León. 226 pp.
24. Markou G & D Georgakakis. 2011. Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review. *Applied Energy* 88: 3389-3401.
25. Borowitzka M. A. 1999. Commercial production of microalgae: ponds. tanks. tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology* 70: 313 -332.
26. Berenguel M. F Rodríguez. FG Acien & JL García. 2004. Model predictive control of pH in tubular photobioreactors. *Journal of Process Control* 14: 377-387.

27. Sialve B. N Bernet & O Bernard. 2009. Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology Advances* 27(4): 409-416.
28. Mann G. M Schlegel. R Schumann & A Sakalauskas. 2009. Biogas-conditioning with microalgae. *Agronomy Research* 7(1): 33-38.
29. Wang J. Chen C. 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotech Adv* 27:195–226.
30. Grobbelaar JU. 2004. Algal nutrition: mineral nutrition. In: Richmond A (ed). *Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology*. pp. 97-115.
31. Madigan. M. Martinko. J. Parker. J. *Cianobacterias. Biología de los Microorganismos*. Pearson. Prentice Hall. Madrid –España pp 418-423.(2002).
32. Beyerinck, M. W. 1890. Culturversuche mit Zoochlorellen, Lichenengoni- dien und anderen niederen Algen. Von. .In: *Bot. Zeit.* xlviii, pp. 725-739, 741-754, 757-771, 781-785.
33. UTEX Culture Collection of Algae (2016)
34. Lee. Y. (2001) Microalgal mass culture system and method: the limitation and potential. *J Appl Phycol* 13. 307–315.
35. Gonzales C and Molina E.1999. Characterization of a flat plate photobioreactor for the production of microalgae. *Chemical Engineering Journal* 138: 136–147.
36. Borowitzka. M.A. (1999) Commercial production of microalgae: pond. tanks. tubes and fermenters. *J Biotechnol* 70. 313–321.
37. Pulz. O. (2001) Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol* 57. 287–293.
38. Borowitzka. M.A. and Borowitzka. L.J. (1988) Algal growth media sources of algal culture. In *Micro-algal Biotechnology*. ed. Borowitzka. M.A. and Borowitzka. L.J. pp. 465–465. New York: Cambridge University Press.
39. Amotz B. A. (1993) Production of β -carotene and vitamine by the halotolerant algae *Dunaliella*. In *Marine Biotechnology*. ed. Ahaway. A. and Zabrosky. O. pp. 411–417. NewYork: Plenum Press.
40. Su. W.. Li. J. and Xu. N.S. (2003) State and parameter estimation of microalgal photobioreactor cultures based on local irradiance measurement. *J Biotechnol* 105. 165–178.

41. Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25: 94–306.
42. Singh RN and Sharma S. 2012. Development of suitable photobioreactor for algae production – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2347–2353.
43. Tredici. M.R. and Zitelli. G.C. (1997) Cultivation of *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* in flat plate reactors. In *Spirulina Platensis (Arthrospira): Physiology. Cell-Biology and Biotechnology* ed. Vonshak. A. pp. 117–130 London: Taylor and Francis.
44. Li. J.. Xu. N.S. and Su. W.W. (2002) Online estimation of stirred-tank microalgal photobioreactor cultures based on dissolved oxygen measurement. *Biochem Eng J* 14. 51–65
45. Zhu. Y.H. and Jiang. J.G. (2008) Continuous cultivation of *Dunaliella salina* in photobioreactor for the production of β -carotene. *Eur Food Res Technol* 227. 953–959.
46. Gudin C. and Chaumont D. 1991. Cell fragility-key problem of microalgae mass production on closed photobioreactors. *Bioresource Technology* 38. 145–151.
47. Pirt SL. Lee YK. Walach MR. Pirt MW. Balyuzi HH and Bazin MJ. 1983. A tubular bioreactor for photosynthetic production of biomass from carbon dioxide: Design and performance. *Journal of Chemical and Technological Biotechnology* 33: 35-38
48. Torzillo G. Pushparaj B. Bocci F. Balloni W. Materassi R and Florenzano G. 1986. Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Biomass* 11: 61-64.
49. Ugwu CU. Aoyagi H and Uchiyama H. 2008. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology* 99: 4021–4028.
50. Velarde R. Urbina C.E. Hernández-Melchor DJ. Thalasso F and Cañizares-Villanueva RO. 2010. Hydrodynamic and mass transfer characterization of a flat-panel airlift photobioreactor with high light path. *Chemical Engineering and Processing* 49: 97–103.
51. Logan. B.E.. and Regan. J.M. (2006a). Microbial fuel cells--challenges and applications. *Environ. Sci. Technol.* 41. 351–395.
52. Min Christine. Maas Richard. 2015. USA. Microfabrication of cell – lander hidrogels for engineering mineralized and loadbeardind tissues 321: 125 – 139.

53. Cheng S. Liu H & Logan BE (2006) Increased performance of single chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. *Electrochem. Commun.* 8: 489-494.
54. Lee JN. Phung T. Chang IS. Kim BH & Sung HC. (2003) Use of acetate for enrichment of electrochemically active microorganism and their 16s rDNA analyses. *FEMS Microbiol Lett* 223: 185-191.
55. Rabaey. KG. Lissens SD. Siciliano & Verstraete W. (2003). A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. *Biotechnol. Lett.* 25: 1531-1535.
56. Min B & Logan BE (2004) Continuous electricity generation from domestic wastewater and organic substrate in flatplate microbial fuel cell. *Environ Sci Technol.* 38: 5809-34.
57. Prasad D. Sivaram TK. Berchmans S & Yegnaraman V. (2006). Microbial fuel cell constructed with a microorganism isolated from sugar industry effluent. *J. Power sources* 160: 991-996
58. Bond D.R.. Holmes D.E.. Tender L.M.. Lovley D.R. (2002) Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science.* 295: 483-485.
59. Holmes DE. Bond DR. O'Neill RA. Reimers CE. Tender R & Lovley DR (2004) Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments. *Microb. Ecol.* 48: 178-190
60. Rabaey. K. et al.. 2003 *Understanding Biocorrosion: Fundamentals and applications* 66 (23). págs.5212- 9861
61. Sell D. Krâmer P & Kreysa G (1989) Use of an oxygen gas diffusion cathode and a three-dimensional packed bed anode in a bioelectrochemical fuel cell. *Appl. Microbiol. Technol.* 31: 211-213.
62. Cheng S. Liu H & Logan BE. (2006) Power densities using different cathode catalysts (Pt and CoTMPP) and polymer binders (nafion and PTFE) in single chamber microbial fuel cells. *Environ Sci Technol.* 40: 364-369.
63. Logan. B.E.. and Regan. J.M. (2006b). Microbial fuel cells--challenges and applications. *Environ. Sci. Technol.* 40. 5172-5180.
64. Gil GC. Chang IS. Kim BH. Kim M. Jang JK. Park HS & Kim HJ (2003) Operational parameters affecting the performance of a mediator-less microbial fuel cell. *Biosens. Bioelectron.* 18: 327-334.
65. He Z. Huang Y. Manohar AK & Mansfeld (2008) Effect of electrolyte pH on the rate of the anodic and cathodic reactions in an air-cathode microbial fuel cell. *Bioelectrochemistry.* 74: 78-82.

66. US DoE (2009). FCT Fuel Cells: Fuel Cells for Transportation.
67. Keller. J.. and Rabaey. K. (2008). Experiences from MFC pilot plant operation (Penn State University. USA).
68. Dutta. P.. Rabaey. K.. Yuan. Z.. and Keller. J. (2008). Spontaneous electrochemical removal of aqueous sulfide. *Water Research* 42. 4965–4975.
69. Rabaey. K. et al.. 2006. Microbial Fuel Cells for Sulfide Removal†. *Environmental Science & Technology*. 40(17). págs.5218-5224.
70. Oh. S. Min. B.. and Logan. B.E. (2004). Cathode performance as a factor in electricity generation in microbial fuel cells. *Environ. Sci. Technol* 38. 4900–4904.
71. Lovley. D.R. (2008). The microbe electric: conversion of organic matter to electricity. *Curr. Opin. Biotechnol.* 19. 564–571.
72. Rittmann. B.E. (2008). Opportunities for renewable bioenergy using microorganisms. *Biotechnol. Bioeng.* 100. 203–212.
73. Freguia S. (2008) *Fundamental Studies of Anodic and Cathodic Processes in Microbial Fuel Cells*. PhD Thesis
74. Bond DR. Holmes D. Tender. LM & Lovley. DR (2002) Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science* 295: 483-485.
75. Chaudhuri. S.K.. and Lovley. D.R. (2003). Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells. *Nat. Biotechnol.* 21. 1229–1232.
76. Bretschger. O.. Obraztsova. A.. Sturm. C.A.. Chang. I.S.. Gorby. Y.A.. Reed. S.B.. Culley. D.E.. Reardon. C.L.. Barua. S.. Romine. M.F.. et al. (2007). Current Production and Metal Oxide Reduction by *Shewanella oneidensis* MR-1 Wild Type and Mutants. *Appl Environ Microbiol* 73. 7003–7012.
77. Lovley. D.R. (1993). Dissimilatory metal reduction. *Annu. Rev. Microbiol.* 47. 263–290.
78. Miller. L.G.. and Oremland. R.S. (2008). Electricity generation by anaerobic bacteria and anoxic sediments from hypersaline soda lakes. *Extremophiles* 12. 837–848.
79. Borole A.P.. Hamilton C.Y.. Aaron D.S.. Tsouris C. (2009) Investigating microbial fuel cell bioanode performance under different cathode conditions. *Biotechnology Progress.* 25: 1630-1636.
80. González Gutiérrez LV (2006) Estudio de la degradación de un colorante azo rojo reactivo en un biorreactor anaerobio de flujo ascendente. Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Celaya. México. Velasco. M. (1995). Manual de Cultivo de Fitoplancton. Guayaquil.
81. Bischoff August 1963. Interactions at the Soil Colloid: Spoil Solution Interface. State University of Ghent, Belgium 25 -29

82. Velasco E. Bernabé R. 1995. Emission biogénicas. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. p 543 – 874.
83. Abdul R. Shakoori F. 2004. Effluents. Department of Microbiology and Molecular Genetics and school of biological Sciences. Pakistan. p 270 -299
84. Andersen. R. A. & Kawachi. M. (2005). Traditional microalgae isolation techniques. Elsevier Science Publishing.
85. Venkataraman G. S.. 1969. The cultivation of Algae. The Indian Council of Agricultura Research. New Delhi.
86. Public Health Association (APHA) 1998. American Water Works Association (AWWA).
87. Zavala RC, Huarachi R.O. Remoción anaerobia del colorante azul directo brl en Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) con carbón activado. Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XVII No. 2 Diciembre 2015 55-64
88. González, L., Escamilla, E. (2006). Estudio de la degradación de un colorante rojo reactivo en un biorreactor anaerobio de flujo ascendente In: Retos de la investigación del agua en México, pp.413-428. Edition: Primera, UNAM, Editors: Úrsula Oswald Spring.
89. Abdul R, Farah Rauf S., (2014). Toxicity and Uptake of heavy metals in Protozoa- A Review. Department of Microbiology and Molecular Genetics (AR) and School of Biological Sciences (ARS), University of the Punjab, New Campus, Lahore 54590, Pakistan and Department of Zoology, GC University, Lahore, Pakistan (FRS).
90. Prescott, G.W. (Gerald Webber), 1899-1988 Prescott, Gerald W. 1899- Prescott, Gerald W. Gerald Webber Prescott VIAF ID: 111232392 (Personal).
91. Ruiz Martínez A., 2011. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaerómicamente. Universidad politécnica de valencia.
92. Logroño Washington, et al. A Terrestrial Single Chamber Microbial Fuel Cell-based Biosensor for Biochemical Oxygen Demand of Synthetic Rice Washed Wastewater. Sensors, 2016, Vol. 16, No 1, pp. 101

93. Chang In Seop, et al. Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor. ELSEIVIER/ScienceDirect/Biosensors and Bioelectronics, 2004, Vol. 19, No 6, p 607-613
94. Devi, M.P., Venkata Subhash, G., Venkata Mohan, S., 2012. Heterotrophic cultivation of mixed microalgae for lipid accumulation and wastewater treatment during sequential growth and starvation phases. Effect of nutrient supplementation. J. Renewable Energy 43, 276–283.
95. Srikanth, S., Venkata Mohan, S., 2012. Change in electrogenic activity of the microbial fuel cell (MFC) with the function of biocathode microenvironment as terminal electron accepting condition: Influence on overpotentials and bioelectrokinetics. Bioresour. Technol. 119, 241–251.



ANEXOS

Tabla de conversión, permitió saber el diámetro y superficie o área de sección del conductor (Alambre de cobre), conociendo el número AWG.

AWG	Diam. mm	Area mm ²	AWG	Diam. mm	Area mm ²
1	7.35	42.40	16	1.29	1.31
2	6.54	33.60	17	1.15	1.04
3	5.86	27.00	18	1.024	0.823
4	5.19	21.20	19	0.912	0.653
5	4.62	16.80	20	0.812	0.519
6	4.11	13.30	21	0.723	0.412
7	3.67	10.60	22	0.644	0.325
8	3.26	8.35	23	0.573	0.259
9	2.91	6.62	24	0.511	0.205
10	2.59	5.27	25	0.455	0.163
11	2.30	4.15	26	0.405	0.128
12	2.05	3.31	27	0.361	0.102
13	1.83	2.63	28	0.321	0.0804
14	1.63	2.08	29	0.286	0.0646
15	1.45	1.65	30	0.255	0.0503

Tabla N° 9. Numero AWG.

Acondicionamiento y activación de lodos anaerobios.



Figura N° 29. Fotográficas del acondicionamiento de los lodos. A) Preparación y mantenimiento de lodos colectados del PIRS. B) Condiciones anaerobias de las aguas residual y lodos del PIRS.

Momento de la preparación y activación de los lodos; mediante la agregación de fuentes de carbono y nitrógeno.

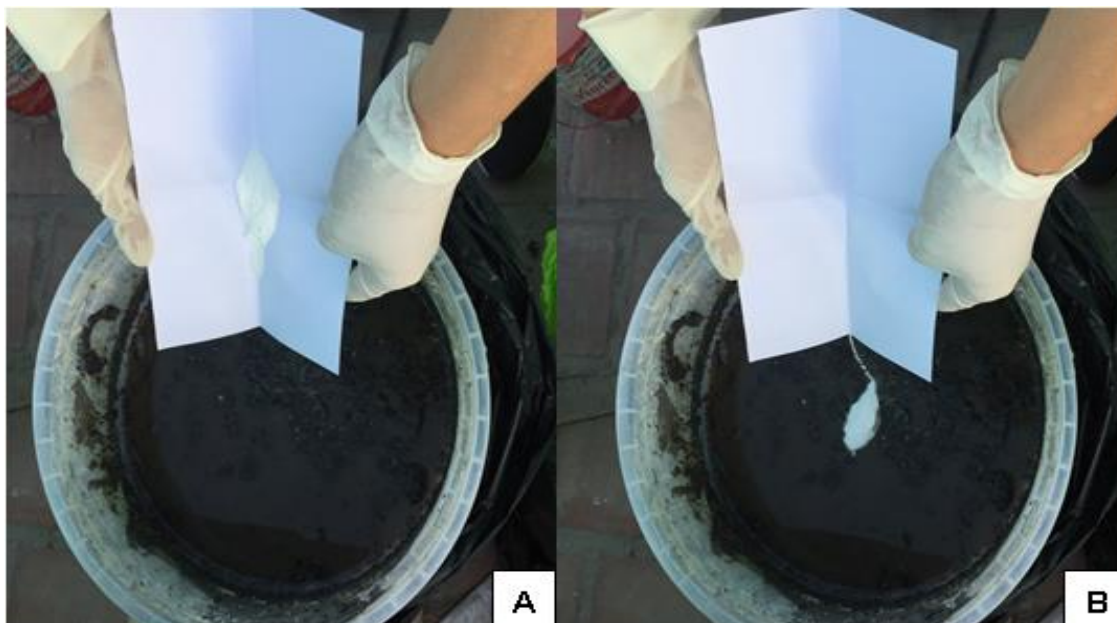


Figura N° 30. Fotográficas de la preparación y activación de los lodos. A) Agregación de fuentes de carbono en forma de glucosa. B) Agregación de fuente de nitrógeno en forma de extracto de levadura.

Procedimiento de carga de las aguas residuales en el sistema.

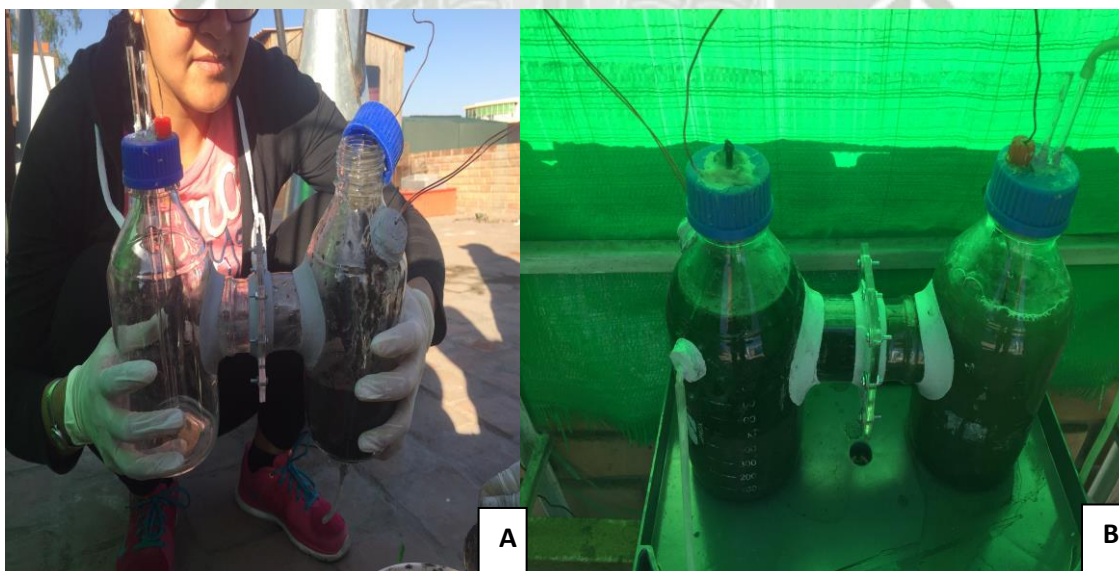


Figura N° 31. Fotografías de la carga de aguas residuales. A. Procedimiento de carga de aguas residuales en el sistema. B. Carga completa de aguas residuales e inicio de la operación.

Tabla N° 10. Recuento de microalgas mixta

Recuento cultivo mixto de microalgas							
Días de evaluación	2dia	4dia	6dia	8dia	10dia	12dia	14dia
1ra repetición	1520000	1600000	1800000	2800000	3280000	6480000	7600000
2da repetición	1400000	1500000	2200000	3200000	3680000	5120000	7200000
3ra repetición	1460000	1400000	1600000	2800000	3080000	6120000	7820000

Tabla N° 11. Evaluación de parámetros fisicoquímicos (pH, STD, DBO, DQO, OD, T°)

	FECHAS	EVALUACIÓN		DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	OD(mg/l)	pH	CONDUCTIVIDAD (uS)	STD (mg/L)	TEMPERATURA (°C)
	1ra repetición	15 05 17	1RA (0 días)	EFLUENTE	4107.2	10424	0	8.5	8780	5680
18 05 17		2DA (4 días)	CATODO	3520	10336	2.7	7	3820	3167	19.2
18 05 17		2DA (4 días)	ANODO	3490	6650	0.04	7.3	3600	3113	22.8
22 05 17		3RA (8 días)	CATODO	2310	6092	2.925	6.95	2587	2526.5	19.05
22 05 17		3RA (8 días)	ANODO	2195	6088	0.05	6.8	2463	2463.5	20.75
26 05 17		4TA (12 días)	CATODO	1100	1760	3.1	6.9	1354	1940	18.9
26 05 17		4TA (12 días)	ANODO	900	1840	0.07	7	1326	1760	18.7

2da repetición	FECHAS	EVALUACIÓN		DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	OD(mg/l)	pH	CONDUCTIVIDAD (uS)	STD (mg/L)	TEMPERATURA (°C)
	03 06 17	1RA (0 días)	EFLUENTE	4186	10145	0.4	7.9	6734	4891	19.9
	06 06 17	2DA (4 días)	CATODO	3409	9467	2.5	7.5	4675	4123	18.3
	06 06 17	2DA (4 días)	ANODO	3350	8689	0.03	7	4432	3465	20.4
	10 06 17	3RA (8 días)	CATODO	2786	8134	2.77	6.97	3116	2445	21.5
	10 06 17	3RA (8 días)	ANODO	1345	7874	0.04	6.99	3023	1986	19.6
	14 06 17	4TA (12 días)	CATODO	1123	7741	3.1	7.1	1854	1654	18.9
	14 06 17	4TA (12 días)	ANODO	1234	6784	0.06	7.4	1654	1587	19.7

3ra repetición	FECHAS	EVALUACIÓN		DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	OD(mg/l)	pH	CONDUCTIVIDAD (uS)	STD (mg/L)	TEMPERATURA (°C)
	22 06 17	1RA (0 días)	EFLUENTE	4028.4	10703	0.4	9.1	10826	6469	22.5
	25 06 17	2DA (4 días)	CATODO	3631	11205	2.9	6.5	2965	2211	20.1
	25 06 17	2DA (4 días)	ANODO	3630	4611	0.05	7.6	2768	2761	25.2
	29 06 17	3RA (8 días)	CATODO	1834	4050	3.08	6.93	2058	2608	16.6
	29 06 17	3RA (8 días)	ANODO	3045	4302	0.05	6.61	1903	2941	21.9
	03 07 17	4TA (12 días)	CATODO	1077	4221	3.1	6.7	854	2226	18.9
	03 07 17	4TA (12 días)	ANODO	566	3104	0.07	6.6	998	1933	17.7

Tabla N° 12. Caracterización en el desempeño del sistema mixto bioelectroquímico aerobio – anaerobio, por método electroquímico, en términos de intensidad de corriente, densidad de corriente, voltaje y densidad de potencia generada.

HORAS	DIAS	FECHA	VOLTAJE (mV)	INTENSIDAD DE CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA Ohmios	DENSIDAD DE CORRIENTE (2.08 SC) (mA.mm ⁻²)	DENSIDAD DE POTENCIA (mW. mm ⁻²)
48	2	16 05 17	4.5	0.01	450.00	0.005	0.05
48	2	04 06 17	5	0.01	500.00	0.005	0.05
48	2	23 06 17	4	0.01	400.00	0.005	0.04
96	4	18 05 17	23.6	0.03	786.67	0.014	0.71
96	4	06 06 17	24.2	0.03	806.67	0.014	0.73
96	4	25 06 17	23	0.03	766.67	0.014	0.69
144	6	20 05 17	24.2	0.03	806.67	0.014	0.73
144	6	08 06 17	25.1	0.03	836.67	0.014	0.75
144	6	27 06 17	27.3	0.02	1365.00	0.010	0.55
192	8	22 05 17	27.9	0.02	1395.00	0.010	0.56
192	8	10 06 17	27.7	0.02	1385.00	0.010	0.55
192	8	29 06 17	26.1	0.02	1305.00	0.010	0.52
240	10	24 05 17	45.6	0.03	1520.00	0.014	1.37
240	10	12 06 17	47.3	0.03	1576.67	0.014	1.42
240	10	01 07 17	47.9	0.03	1596.67	0.014	1.44
288	12	26 05 17	51	0.03	1700.00	0.014	1.53
288	12	14 06 17	52	0.03	1733.33	0.014	1.56
288	12	03 07 17	50	0.03	1666.67	0.014	1.50
336	14	28 05 17	66.5	0.04	1662.50	0.019	2.66
336	14	16 06 17	64.8	0.04	1620.00	0.019	2.59
336	14	05 07 17	68.2	0.03	2273.33	0.014	2.05

Tabla N° 13. Promedios y desviaciones estándar del voltaje, intensidad de corriente, resistencia, densidad de corriente y densidad de potencia generada del sistema bioelectroquímico mixto aerobio- anaerobio.

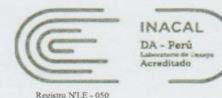
TIEMPO DE EVALUACIÓN	VOLTAJE	INTENSIDAD DE	RESISTENCIA	DENSIDAD DE	DENSIDAD DE
	(mV)	CORRIENTE	(Ω)	CORRIENTE	POTENCIA
	(mA)	(mA.mm²)		(mW.mm²)	
	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$
2	4.50 ± 0.50	0.01 ± 0.00	450.00 ± 50.00	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.01
4	23.60 ± 0.60	0.03 ± 0.00	786.67 ± 20.00	0.01 ± 0.00	0.71 ± 0.02
6	25.53 ± 1.59	0.03 ± 0.01	1002.78 ± 314.05	0.01 ± 0.00	0.68 ± 0.11
8	27.23 ± 0.99	0.02 ± 0.00	1361.67 ± 49.33	0.01 ± 0.00	0.54 ± 0.02
10	46.93 ± 1.19	0.03 ± 0.00	1564.45 ± 39.77	0.01 ± 0.00	1.41 ± 0.04
12	51.00 ± 1.00	0.03 ± 0.00	1700.00 ± 33.33	0.01 ± 0.00	1.53 ± 0.03
14	66.50 ± 1.70	0.04 ± 0.01	1851.94 ± 365.55	0.02 ± 0.00	2.43 ± 0.33

INFORMES DE ENSAYOS REALIZADOS



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-00883

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
 Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
 Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Proyecto: —
 Nro de muestras: 1
 Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Registro de muestreo: 217-17
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por cliente*
 Fecha de recepción: 15/05/2017
 Fecha de ensayo: 15/05/2017
 Fecha de emisión: 21/05/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua SWEWWW 22 st Ed. Part. 4500/O C. Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método todo métrico Azida Jodlo). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DCO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG17000897	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	20/06/17	04:00 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

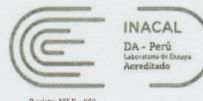
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
¹³<Valor numérico> = Límite de detección del método, ¹²<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01121

Hoja de resultados

27/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg O2/L
AG 17000852	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	0,4	4028,4	10703

[Handwritten signature]
Laboratorios Analíticos del Sur E. S. R. L.
Srto. Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico CIP 19477

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^{md} "Valor numérico" = Límite de detección del método, nd "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

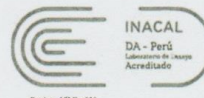
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-00901

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
Dirección: URB BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Proyecto: —
Nro de muestras: 2
Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Registro de muestreo: 247-17
Procedimiento Aplicado: Muestreado por cliente
Fecha de recepción: 18/05/2017
Fecha de ensayo: 18/05/2017
Fecha de emisión: 24/05/2017
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

*841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW, 22 st Ed. Part. 4500-0 C. Azide Modification
859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Jodio), (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW, 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG17000875	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	18/05/17	12:00 p.m.
AG17000876	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	18/05/17	12:00 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Goto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

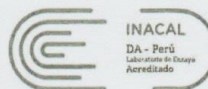
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"L" <Valor numérico" = Límite de detección del método, "S" <Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-00901

Hoja de resultados

24/05/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	-341	859	360
		02	DB0-5	DQ0
		mg/L	mg/L	mg O2/L
AG17000875	CATODO	2,7	3520	10336
AG17000876	ANODO	0,04	3490	6650


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Lolo
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

¹⁰<Valor numérico> = Límite de detección del método, ¹¹<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

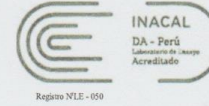
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01040

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
Atención: CYNTHIA TERAN GALARZA
Proyecto: -
Nro de muestras: 2
Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERAN GALARZA
Registro de muestreo: 254-17
Procedimiento Aplicado: Muestreo por cliente
Fecha de recepción: 22/05/2017
Fecha de ensayo: 22/05/2017
Fecha de emisión: 28/05/2017
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas

Observaciones:

Método de ensayo aplicado

*841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C.Azide Modification
859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azide Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG17000899	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	22/05/17	10:00 a.m.
AG17000900	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	22/05/17	10:00 a.m.

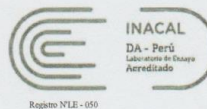
Sixto Vicente Juárez-Neira
Laboratorios Analíticos del Sur E.S.R.L.
Gerente General
Ing. Químico CIP 18174

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
*32 Valor numérico = Límite de detección del método, "L-Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01040

Hoja de resultados

28/05/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	+341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000899	CATODO	2,925	2310	6092
AG17000900	ANODO	0,05	2195	6088

Sixto Vicenté Juárez Weira
Gerente General
Ing. Químico CIP 19477

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

nd<Valor numérico> = Límite de detección del método, nd<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

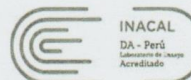
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01069

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Proyecto: —
Nro de muestras: 2
Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Registro de muestreo: 288-17
Procedimiento Aplicado: Muestreado por cliente
Fecha de recepción: 26/05/2017
Fecha de ensayo: 26/05/2017
Fecha de emisión: 01/06/2017
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas

Observaciones:

Método de ensayo aplicado

*841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C.Azide Modification

859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B. 22nd Ed (5g Método todo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D. Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG17000745	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723,8189529	26/05/17	9:00 a.m.
AG17000746	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723,8189529	26/05/17	9:00 a.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Quiróz Soto
Gerente General
M. Sc. Titular Químico CIP: 14428

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ND<Valor numérico> = Límite de detección del método. ^{MD}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

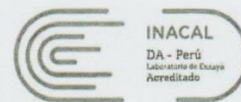
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C -1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050


INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01069

Hoja de resultados

01/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000745	CATODO	3,1	1110	6092
AG17000746	ANODO	0,07	900	6088


Laboratorios Analíticos del Sur - E.I.R.L.
Omar A. Juárez Gido
Carrera de Coordinación
M. C. Registro de Comercio N° 14426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

nd<Valor numérico> = Límite de detección del método, nd<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

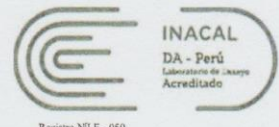
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01062

Pág: 1/2

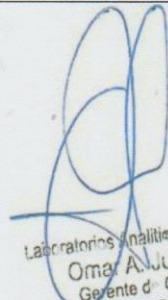
Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Proyecto: —
Nro de muestras: 1
Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Registro de muestreo: 271-17
Procedimiento Aplicado: Muestreado por cliente
Fecha de recepción: 03/06/2017
Fecha de ensayo: 03/06/2017
Fecha de emisión: 08/06/2017
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua SWEWW 22 st Ed. Part. 4500/O C. Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Jodlo). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW, 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG17000754	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	03/05/17	02:00 p.m.

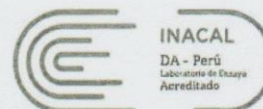

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Goto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"3<Valor numérico" = Límite de detección del método, "0<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

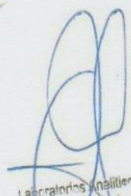
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01062

Hoja de resultados

08/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg O2/L
AG 17000754	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	0,4	4186	10145


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Goto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^{na}<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{nb}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01084

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
 Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
 Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Proyecto: —
 Nro de muestras: 2
 Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Registro de muestreo: 282-17
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por cliente*
 Fecha de recepción: 06/06/2017
 Fecha de ensayo: 06/06/2017
 Fecha de emisión: 12/06/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C.Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG17000771	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	06/06/17	1:00 p.m.
AG17000772	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	06/06/17	1:00 p.m.


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Coto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

³<Valor numérico" = Límite de detección del método, ⁰<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

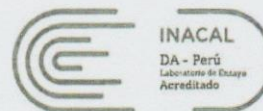
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

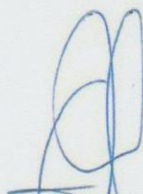
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01084

Hoja de resultados

12/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	*341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000771	CATODO	2,5	3409	10336
AG17000772	ANODO	0,03	3350	6650


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Coto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^{na}<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{nb}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01096

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
 Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
 Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Proyecto: —
 Nro de muestras: 2
 Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Registro de muestreo: 324-17
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por cliente*
 Fecha de recepción: 10/06/2017
 Fecha de ensayo: 10/06/2017
 Fecha de emisión: 16/06/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C.Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG17000793	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	10/06/17	3:00 p.m.
AG17000794	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	10/06/17	3:00 p.m.


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Coto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

³<Valor numérico" = Límite de detección del método, "⁰<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

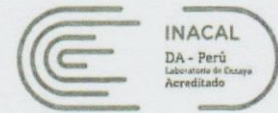
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

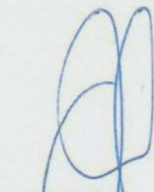
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01096

Hoja de resultados

16/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000793	CATODO	2,77	2786	8134
AG17000794	ANODO	0,04	1345	7874


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Coto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^{na}<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{nb}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01104

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
 Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
 Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Proyecto: —
 Nro de muestras: 2
 Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Registro de muestreo: 351-17
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por cliente*
 Fecha de recepción: 14/06/2017
 Fecha de ensayo: 14/06/2017
 Fecha de emisión: 20/06/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C.Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método Iodo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG17000821	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	14/06/17	11:00 a.m.
AG17000822	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	14/06/17	11:00 a.m.


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 11142

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^a<Valor numérico" = Límite de detección del método, "^b<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

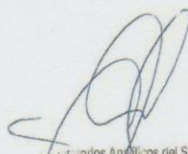
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01104

Hoja de resultados

20/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	*341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000821	CATODO	3,1	1123	7741
AG17000822	ANODO	0,06	1234	6784

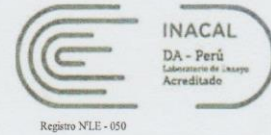

 Laboratorios Analíticos del Sur E.I. R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 A. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
nd<Valor numérico" = Límite de detección del método, nd<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01148

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Proyecto:
Nro de muestras: 2
Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
Registro de muestreo: 381-17
Procedimiento Aplicado: Muestreado por cliente
Fecha de recepción: 25/05/2017
Fecha de ensayo: 25/05/2017
Fecha de emisión: 30/05/2017
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
Observaciones:

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C.Azide Modification
859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método lodo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Table with 7 columns: Cod Int #, Nombre de muestra, Matriz de la muestra, Lugar de muestreo, Punto de muestreo y/o coordenadas, Fecha de inicio de muestreo, Hora de Inicio de muestreo. Contains two rows of data for CATODO and ANODO samples.

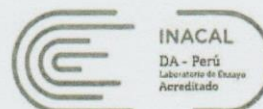
Handwritten signature and stamp: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., Omar A. Juárez Coto, Gerente de Operaciones, M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
<Valor numérico> = Límite de detección del método, <Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

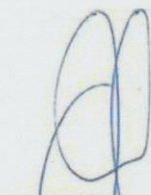
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01148

Hoja de resultados

30/06/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000863	CATODO	2,9	3631	11205
AG17000864	ANODO	0,05	3630	4611


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Coto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^{na}<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{nb}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

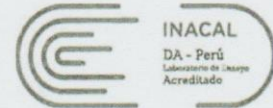
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01167

Pág: 1/2


Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
 Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
 Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Proyecto: —
 Nro de muestras: 2
 Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Registro de muestreo: 418-17
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por cliente*
 Fecha de recepción: 29/06/2017
 Fecha de ensayo: 29/06/2017
 Fecha de emisión: 04/07/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C. Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método lodo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG17000881	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	29/06/17	12:00 p.m.
AG17000882	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	29/06/17	12:00 p.m.


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114427

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

nd<Valor numérico> = Límite de detección del método, nd<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

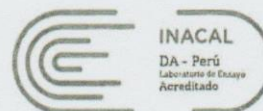
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01167

Hoja de resultados

04/07/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	*341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000881	CATODO	3,08	1834	4050
AG17000882	ANODO	0,05	3045	4302


Laboratorios Analíticos del Sur E. R. L.
Omar A. Juárez Solo
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114428

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^{na}<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{nb}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

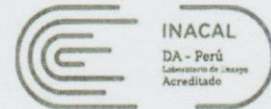
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01193

Pág: 1/2

Hoja de datos

Señores: CYNTHIA TERAN GALARZA
 Dirección: URB.BELLO HORIZONTE 14B-CAYMA-AREQUIPA
 Atención: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Proyecto: —
 Nro de muestras: 2
 Muestreo realizado por: Cliente: CYNTHIA TERÁN GALARZA
 Registro de muestreo: 429-17
 Procedimiento Aplicado: *Muestreado por cliente*
 Fecha de recepción: 03/07/2017
 Fecha de ensayo: 03/07/2017
 Fecha de emisión: 10/07/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: —

Método de ensayo aplicado

- *841 Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-0 C. Azide Modification
- 859 Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno en aguas DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed (5g Método lodo métrico Azida Jodio). (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 860 Ensayo de demanda química de oxígeno en aguas DQO SMEWW. 22 th Ed 5220-COD Part.D, Closed reflux, Colorimetric Method.(MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod Int #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG17000931	CATODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	03/07/17	9:00 a.m.
AG17000932	ANODO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO / CERRO COLORADO / AREQUIPA / AREQUIPA	232723 ,8189529	03/07/17	9:00 a.m.

(Firma manuscrita)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 11.1147

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^a<Valor numérico" = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

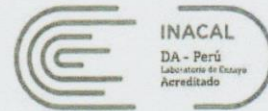
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro NLE - 050

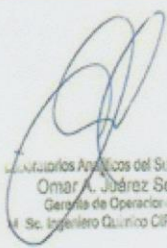
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01193

Hoja de resultados

10/07/2017

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	341 02 mg/L	859 DB0-5 mg/L	360 DQ0 mg 02/L
AG17000931	CATODO	3,1	1077	4221
AG17000932	ANODO	0,07	566	3104


 Laboratorios Analíticos del Sur E. R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
nd<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{nb}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS MICROALGAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA
HERBARIUM AREQVIPENSE (HUSA)



CONSTANCIA N° 46-2017-HUSA

El Director del *Herbarium Arequipense* (HUSA) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.


HACE CONSTAR:

Que la muestra preservada de agua presentada por la Bachiller Cynthia Terán Galarza de perteneciente a la Escuela Profesional de Ing. Biotecnológica de la Universidad Católica Santa María de Arequipa. Para la ejecución de su trabajo, fueron traídas al Laboratorio de Botánica, procedente del Laboratorio de Biología Marina para la determinación en el *Arequipense* (HUSA) y corresponde a la especie y clasificación:

Division: Chlorophyta
Clase: Chlorophyceae
Orden: Chlorococcales
Familia: Oocystaceae
Género: Chlorella
Especie: *Chlorella vulgaris* (M.W. Beyerinck 1890)

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que se estimen convenientes.

Arequipa, 11 de setiembre del 2017


Blgo. Leoncio Mariño Herrera
DIRECTOR
Herbarium Arequipense (HUSA)





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA
HERBARIUM AREQVIPENSE (HUSA)



CONSTANCIA N° 45-2017-HUSA

El Director del *Herbarium Arequipense* (HUSA) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

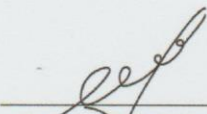
HACE CONSTAR:

Que la muestra preservada de agua presentada por la Bachiller Cynthia Terán Galarza de perteneciente a la Escuela Profesional de Ing. Biotecnológica de la Universidad Católica Santa María de Arequipa. Para la ejecución de su trabajo, fueron traídas al Laboratorio de Botánica, procedente del Laboratorio de Biología Marina para la determinación en el *Arequipense* (HUSA) y corresponde a la especie y clasificación:

Division: Chlorophyta
Clase: Chlorophyceae
Orden: Chlorococcales
Familia: Scenedesmaceae
Género: *Scenedesmus* Meyen
Especie: *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Brebisson & Godey

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que se estimen convenientes.

Arequipa, 11 de setiembre del 2017


Blgo. Leoncio Mariño Herrera
DIRECTOR.
Herbarium Arequipense (HUSA)

