



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“ENERGÍA ALTERNATIVA A PARTIR DE LA
BACTERIA *Pseudomonas aeruginosa* Y *Aeromonas*
hydrophila POR LA TÉCNICA DE LA
BIOELECTROGÉNESIS”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA:

Medina Mori, Mariela

ASESORA:

Mg. Haydeé Suarez Alvites

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de riesgos y adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2018

Acta de sustentación



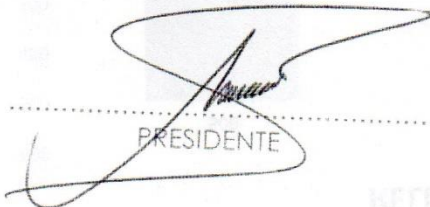
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Código : F07-PP-PR-02.02
Versión : 09
Fecha : 23-03-2018
Página : 1 de 1

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a) Mariela Medina Mori cuyo título es: Energía alternativa a partir de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* por la técnica de la bioelectrogénesis

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 18 (número) Dieciocho (letras).

Los Olivos 07 de Diciembre del 201.....


PRESIDENTE


SECRETARIO






VOCAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres especialmente a mi madre por su apoyo incondicional, amor y motivación, a mi familia por ser mi fuerza para seguir adelante y a Dios por permitir que pueda realizar mi sueño en esta etapa universitaria; y a partir de ello continuar creciendo en lo cognoscitivo, afectivo y moral.

Mariela Medina Mori

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres muy especialmente a mi madre, mi esposo Hugo, mi Hno. y familia por todo el apoyo recibido. Así como a mi asesora Haydeé, Prof. Suzanibar, Prof. Rosalbina, Prof. Quijano, profesores y amigos quienes con su apoyo moral en este trabajo han hecho que esto sea posible.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Medina Mori Mariela identificada con DNI N° 33429441, a fin de cumplir con lo establecido en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro que este trabajo es auténtico siguiendo las normas de lo ético y moral a fin de garantizar la veracidad de los datos obtenidos en el mismo.

De tal manera que, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada. Por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 1 de diciembre del 2018


Mariela Medina Mori

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado Calificador les presento el trabajo de investigación titulado “ENERGÍA ALTERNATIVA A PARTIR DE LA BACTERIA *Pseudomonas aeruginosa* Y *Aeromonas hydrophila* POR LA TÉCNICA DE LA BIOELECTROGÉNESIS” que contiene seis capítulos, el primer capítulo referido a la introducción, el segundo el aspecto metodológico, el tercero resultados, cuarto la discusión, el Quinto la conclusión y el sexto las recomendaciones. El objetivo del presente trabajo es determinar la cantidad de energía alternativa que genera las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* respectivamente mediante la técnica de bioelectrogénesis.

Mariela Medina Mori

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACION	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓNvi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCION	1
1.1 Realidad Problemática	3
1.2. Trabajos previos	4
1.3 Teorías relacionadas al Tema.....	18
1.3.1 Bioelectrogénesis	18
1.3.2 Celdas de Combustible Microbiano (CCM).....	18
1.3.2.1 Estructura de la Celda de Combustible Microbiano (CCM)	19
1.3.2.2 Condiciones de funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano	19
1.3.2.3 Proceso de funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano.....	21
1.3.2.4 Mecanismos de transferencia de electrones	22
1.3.3 Bacterias	22
1.3.3.1 Bacterias electrogénicas en una Celda de Combustible Microbiano.....	23
1.3.3.2 Metabolismo de bacterias electrogénicas	23
1.3.3.3 Características de la bacteria <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	23
1.3.3.4 Características de la bacteria <i>Aeromonas hydrophila</i>	24
1.3.4 Energías Alternativas	24
1.3.4.1 Bioenergía	24
1.3.4.2 Energía eléctrica.....	25
1.3.4.3 Voltaje	25
1.3.4.4 Energía química	25
1.4 Formulación del problema	25
1.4.1 Problema General.....	25
1.4.2 Problemas Específicos	25
1.5 Justificación de la Investigación	26

1.6	Hipótesis de Investigación	27
1.6.1	Hipótesis General	27
1.6.2	Hipótesis Específicas	27
1.7	Objetivos de la Investigación	27
1.7.1	Objetivo General	27
1.7.2	Objetivos Específicos.....	27
II.	MÉTODO	28
2.1	Diseño de la Investigación	29
2.2	Variables de Operacionalización.....	38
2.2.1	Variable Independiente	38
2.2.2	Variable Dependiente.....	38
2.2.3	Matriz de Operacionalización de variables	38
2.3	Población y Muestra.....	40
2.3.1	Población.....	40
2.3.2	Muestra.....	40
2.3.3	Muestreo.....	40
2.4	Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	40
2.4.1	Técnicas de recolección de datos	40
2.4.2	Procedimiento para recolección de datos	40
2.4.3	Instrumentos para la recolección de datos.....	41
2.4.4	Validez y Confiabilidad de instrumentos	42
2.5	Método de análisis de datos	44
2.6	Aspectos éticos.....	44
III.	RESULTADOS	45
3.1	Análisis de resultados procesados con Excel	46
3.1.1	Condiciones de la Celda.....	46
3.1.1.1	Fase de Inicio	46
3.1.1.2	Fase de Proceso.....	48
3.1.2	Características de la bacteria	50
3.1.2.1	Fase de Inicio	50
3.1.2.2	Fase de Proceso.....	51
3.1.3	Generación de energía a partir de la bacteria <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i>	51
3.1.3.1	Fase de inicio.....	51
3.1.3.2	Fase de proceso	57
3.2	Contrastación de hipótesis por medio de la estadística inferencial	60
3.2.1	Prueba de Coeficiente de regresión de las Condiciones de la Celda vs generación de energía.....	60
3.2.1.1	Fase de Inicio	60

3.2.1.2 Fase de Proceso	64
3.2.2 Pruebas de Coeficiente de regresión de las Característica de la bacteria vs generación de energía.....	66
3.2.2.1 Fase de Inicio	66
3.2.2.2 Fase de Proceso	67
3.2.3 Pruebas de normalidad para generación de energía (voltaje) por las Bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P.aeruginosa</i> vs tiempo	68
3.2.3.1 Fase de inicio.....	68
3.2.3.2 Fase de Proceso	72
IV. DISCUSIÓN	77
4.1 DISCUSION DE RESULTADOS	78
V. CONCLUSIONES	82
VI. RECOMENDACIONES	84
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	94
ANEXO 1: Matriz de consistencia	95
ANEXO 2: Ficha de recolección de datos para el cultivo de la bacteria	96
ANEXO 3: Ficha de recolección de datos según las condiciones de la celda de combustible microbiano	96
ANEXO 4-a: Medición de voltaje de la <i>Aeromonas hydrophila</i>	97
ANEXO 4-b: Medición de voltaje de la <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	97
ANEXO 4-c: Medición de voltaje de las celdas de control	98
ANEXO 5: Mapa de ubicación de la toma de muestra del sustrato lodo.....	99
ANEXO 6: Fase de proceso. resultados de medición de temperatura	100
ANEXO 7: Fase de proceso. resultados de la medición de pH.....	100
ANEXO 8: Fase de proceso. resultados de la medición del voltaje	101
ANEXO 9: Determinación de gram negativo y positivo del contenido del sustrato de las seis celdas al final del proceso	102
ANEXO 10: Datos de monitoreo del lodo de CITRAR-UNI	103
ANEXO 11: Conteo de las bacterias <i>Aeromonas hydrophila</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> por placas.....	104
ANEXO 12: Diseño de la celda de combustible microbiano en 3D.....	105
ANEXO 13: Vista de planta del diseño de la Celda de Combustible Microbiano.....	106
ANEXO 14: Informe de resultados de parámetros físico-químicos del lodo	107
ANEXO 15: Fichas validadas por expertos	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 1</i>	31
Tabla 2: <i>Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 2</i>	32
Tabla 3: <i>Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 3</i>	32
Tabla 4: Composición de la celda anódica.....	33
Tabla 5: Composición de la celda catódica.....	34
Tabla 6: <i>Medición de voltaje variando el electrodo en el ánodo, solución en el cátodo y membrana de intercambio aniónico</i>	36
Tabla 7: <i>Diseño estadístico de las celdas para la fase de inicio</i>	38
Tabla 8: <i>Matriz de Operacionalización de variables</i>	39
Tabla 9: Etapas para la recolección de datos.....	41
Tabla 10: Datos generales de especialistas.....	43
Tabla 11: Estadística de fiabilidad de los Instrumentos.....	43
Tabla 12: Temperatura promedio de las repeticiones de los tratamientos con su control vs Tiempo.....	46
Tabla 13: pH promedio de las tres repeticiones de los cuatro tratamientos con su control vs tiempo	47
Tabla 14: Comportamiento de la Temperatura de los tratamientos con su control vs Tiempo.....	48
Tabla 15: pH de los cuatro tratamientos con su grupo control vs tiempo.....	49
Tabla 16: Comportamiento de la cantidad promedio de bacterias vs tiempo.....	50

Tabla 17: Comportamiento del crecimiento de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P.aeruginosa</i> vs tiempo.....	51
Tabla 18: Comportamiento de voltaje promedio de los cuatro tratamientos y su grupo control.....	52
Tabla 19: Voltaje según electrodo grafito de C1: <i>A. hydrophila</i> y C2: <i>P. aeruginosa</i> y su grupo de control C5.....	53
Tabla 20: Ganancia de voltaje según electrodo con respecto a su grupo control de C1: <i>A. hydrophila</i> y C2: <i>P. aeruginosa</i>	54
Tabla 21: Voltaje según electrodo Aluminio de C1: <i>A. hydrophila</i> y C2: <i>P. aeruginosa</i> y su grupo de control C6.....	55
Tabla 22: Ganancia de voltaje según electrodo Aluminio con respecto a su grupo control de C3: <i>A. hydrophila</i> y C4: <i>P. aeruginosa</i>	56
Tabla 23: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.	61
Tabla 24: Ecuación de los modelos significativos de Temperatura vs generación de energía.....	62
Tabla 25: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.	63
Tabla 26: Ecuación de los modelos significativos de pH vs generación de energía..	63
Tabla 27: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.	64
Tabla 28: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.	65
Tabla 29: Ecuación de los modelos significativos.....	66
Tabla 30: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.	67
Tabla 31: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.	68
Tabla 32: Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas.....	69
Tabla 33: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis.....	70
Tabla 34: Resultados de la prueba U de Mann-Whitney.....	71
Tabla 35: Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas.....	73
Tabla 36: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis.....	74
Tabla 37: Resultados de las comparaciones por parejas de Tukey.....	74
Tabla 38: Resultados de la prueba U de Mann-Whitney.....	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de una Celda de Combustible Microbiano.....	19
Figura 2. Esquema básico de una Celda de Combustible Microbiana.....	21
Figura 3: <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en agar Mc Hillton.....	30
Figura 4: <i>Aeromonas hydrophila</i> en agar Mac Conkey.....	30
Figura 5: Planta de Tratamiento CITRAR-UNI.....	30
Figura 6: Muestra de lodo CITRAR-UNI.....	30
Figura 7 . Medición de turbidez.....	31
Figura 8 Medición de pH.....	31
Figura 9. Celdas de Combustible Microbiano tipo H.....	33
Figura10. Inoculo de las cepas de las bacterias <i>A. Hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> .	35
Figura 11. Colocación de Lodo anaerobio y agua residual en la CCM.....	35
Figura 12. Medición de voltaje modificando los electrodos.....	36
Figura 13. Comportamiento de la temperatura promedio de los cuatro tratamientos y su control en el ánodo vs tiempo.....	46
Figura 14. Comportamiento del pH promedio de los tratamientos y su control en el ánodo.....	47
Figura 15. Comportamiento de la temperatura de los cuatro tratamientos y su control en el ánodo vs tiempo.....	48
Figura 16. Comportamiento del pH de los cuatro tratamientos y su control en el ánodo vs tiempo	49
Figura 17. Comportamiento del crecimiento promedio de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i>	50
Figura 18. Comportamiento del crecimiento de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> .	51
Figura 19. Comportamiento del voltaje promedio vs el tiempo de los cuatro tratamientos y dos grupos de control.....	52
Figura 20. Comportamiento de la generación de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> y su grupo control en el tiempo según el electrodo grafito.....	54
Figura 21. Ganancia de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> según electrodo grafito con respecto a su grupo control vs tiempo.....	55

Figura 22. Voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> y su grupo control C6, según electrodo vs tiempo.....	56
Figura 23. Ganancia de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> según electrodo aluminio con respecto a su grupo control vs tiempo.....	57
Figura 24. Comportamiento de la generación de voltaje de las cuatro celdas y los dos grupos control vs tiempo.....	57
Figura 25. Comportamiento de la generación de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> y su grupo control vs tiempo según el electrodo grafito.....	58
Figura 26. Ganancia de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> según electrodo grafito con respecto a su grupo control vs tiempo.....	59
Figura 27. Comportamiento de la generación de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> y su grupo control vs tiempo según el electrodo aluminio.....	59
Figura 28. Ganancia de voltaje de las bacterias <i>A. hydrophila</i> y <i>P. aeruginosa</i> según electrodo aluminio con respecto a su grupo control vs tiempo.....	60
Figura 29. Diagramas de dispersión de temperatura y generación de energía (voltaje).....	61
Figura 30. Diagramas de dispersión de pH y generación de energía (voltaje).	62
Figura 31. Diagramas de dispersión de temperatura y generación de energía (voltaje).....	64
Figura 32. Diagramas de dispersión de pH y generación de energía (voltaje).	65
Figura 33. Diagramas de dispersión de la cantidad de bacterias y generación de energía (voltaje).....	66
Figura 34. Diagramas de dispersión de la cantidad de bacterias y generación de energía (voltaje).....	67
Figura 35. Resultados de la prueba de normalidad mediante el estadístico Kolmogorov-Smirnov.....	69
Figura 36. Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas mediante el estadístico Bartlett.....	70
Figura 37. Comparación de la generación de energía (voltaje) según tipo de material.....	72

Figura 38. Resultados de la prueba de normalidad mediante el estadístico Kolmogorov-Smirnov.....	72
Figura 39. Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas mediante el estadístico Bartlett.....	73
Figura 40. Comparación de la generación de energía (voltaje) según bacteria.	75
Figura 41. Comparación de la generación de energía (voltaje) según tipo de material.....	76

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la cantidad de energía alternativa por la técnica de la bioelectrogénesis utilizando las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*. Para ello, se construyeron celdas de combustible microbiano de doble cámara tipo H con capacidad de 500 ml, de vidrio; en las cuales se colocaron electrodos de barras de grafito o aluminio en el ánodo, y en el cátodo barra de grafito; utilizando como sustrato para las bacterias en el ánodo, 325 ml de lodo anaerobio con 75 ml de agua residual y se inocularon la cepa de las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*, respectivamente. La parte experimental, se realizó en dos fases: la primera fase, con tres repeticiones de 8 días cada una y la segunda fase fue de 20 días ;en ambas fases se evaluó las condiciones de la celda en función de temperatura y pH, características de las bacterias y el comportamiento del voltaje generado, obteniendo como resultados, que existe una relación directa entre temperatura y voltaje en la primera fase para la celda 3:*A. hydrophila* con electrodo aluminio también en esta fase se da una relación directa entre pH y voltaje para *A. hydrophila* –grafito y *P. aeruginosa*-aluminio. En el proceso la bacteria que genera mayor voltaje es la *A. hydrophila* con 0.765 V y en cuanto al electrodo se genera mayor voltaje con el aluminio cuyo valor fue de 0.837 V, a diferencia del grafito con 0.651 V.

PALABRAS CLAVE: Celda de combustible microbiana, Barras de grafito, Puente de intercambio iónico, Voltaje, bacterias *Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas aeruginosa*

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the amount of alternative energy by the technique of bioelectrogenesis using the bacteria *Pseudomonas aeruginosa* and *Aeromonas hydrophila*. To this end, double-chamber type H microbial fuel cells with a capacity of 500 ml of glass were built; in which electrodes of graphite or aluminum bars were placed on the anode, and on the cathode graphite bar; using as a substrate for the bacteria in the anode, 325 ml of anaerobic sludge with 75 ml of residual water and 50 ml of the strain of the bacteria *Pseudomonas aeruginosa* and *Aeromonas hydrophila*, respectively, were inoculated. The experimental part was carried out in two phases: the first phase, with three repetitions of 8 days each and the second phase was 20 days, in both phases the conditions of the cell were evaluated according to temperature and pH, characteristics of the bacteria and the behavior of the generated voltage, obtaining as a result that there is a direct relationship between temperature and voltage in the first phase for cell 3: *A. hydrophila* with aluminum electrode also in this phase there is a direct relationship between pH and voltage for *A. hydrophila* -graphite and *P. aeruginosa*-aluminum. In the process, the bacteria that generates the highest voltage is the *A. hydrophila* with 0.765 V and as for the electrode, higher voltage is generated with the aluminum whose value was 0.837 V, unlike graphite with 0.651 V.

KEY WORDS: Microbial fuel cell, graphite rods, ion exchange bridge, voltage, bacteria *Aeromonas hydrophila* and *Pseudomonas aeruginosa*

INTRODUCCION

El hombre realiza múltiples actividades y gran parte de ellos requieren energía eléctrica. Así mismo, hoy en día la producción mundial se sustenta en el uso de la energía eléctrica, según García de la Cruz (2017) la crisis económica ha permitido mostrar la pobreza energética de muchos hogares desde altos costos por pago de recibo o por carecer de dicho servicio, y con ello la permanencia de emisiones de efecto invernadero. El planeta cuenta con recursos limitados y la sostenibilidad permite ajustar las acciones humanas a esos límites para no sobrepasarlos. Al respecto la Agencia Internacional de Energía (2018) menciona que el acceso a la electricidad rural en el mundo al 2015 es del 77% es decir, existe una brecha mundial del 33% que carece del servicio de energía eléctrica. También, al 2014 la producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón a nivel Mundial es del 66.345% y en el Perú del 47.807%; en cambio, a partir de fuentes hidroeléctricas, es del 16.218% y 48.76% respectivamente.

Por ello, la necesidad de contar con fuentes de energía limpias principalmente en países como el Perú, donde existe una dependencia de las fuentes de energía de recursos no renovables. Además de contribuir a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y con ello coadyuvar en producción energética sostenible más aún si se puede utilizar residuos como el lodo anaerobio y agua residual para la generación de energía limpia como una opción viable para países como el Perú, principalmente en Lima donde se encuentra aproximadamente el 30 % de la población peruana, en especial en los Asentamientos Humanos como el Ángel, Milagro del distrito de Independencia donde, a las carencias económicas se suma la crisis energética ,y ambiental por el incremento de gases de efecto invernadero.

De allí que, en el presente estudio se plantea generar energía alternativa con bacterias que utilizan lodos anaerobios y agua residual, este tratamiento hace uso de la técnica de bioelectrogénesis que transforma energía química en energía eléctrica desde microorganismos electrogénicos como la *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*.

1.1 Realidad Problemática

En el Perú, el problema del acceso a la energía eléctrica se ve reflejado principalmente en el área rural ya que según datos de la Agencia Internacional de la Energía (2018) el acceso a la energía al año 2015 era de 77.9% aunado a esto, el uso de las fuentes de energía en mayor porcentaje de petróleo, gas y carbón e hidroeléctrica. De ello, se desprende que aun usamos energía proveniente de restos fósiles contribuyendo al incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) y con ello al Cambio Climático, provocando un aumento de la temperatura en nuestro planeta Tierra.

Según el INEI (2015), el 42% de las zonas rurales de la selva peruana carecen de energía eléctrica, a diferencia de las zonas rurales de la Costa y Sierra cuyo acceso es del 78.5% y 72.4% respectivamente. Así mismo, las familias de la Selva aun emplean kerosene, petróleo y gasolina para tener energía luminosa; en algunos casos optan por descansos tempranos al no contar con energía lumínica, lo cual reduce sus horas productivas. También en el ande peruano las familias están acostumbrados al uso de la leña que les produce luz tenue y humo con consecuencias a su salud. En ambos casos, una alternativa fue el uso de paneles solares, lo cual no es adoptada por diferencias culturales. Por ello, la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías energéticas de fácil uso, mantenimiento mínimo y además que utilice los residuos producidos por las familias; ya que en su informe ANA(2017) indica que en el ámbito rural en el Perú, el 44.7% cuenta con servicios básicos, y SUNASS(2015) menciona que 89 de las 253 empresas prestadoras de servicio no cuentan con tratamiento de aguas residuales, constituyendo un problema ya que las aguas residuales no son tratadas y que, solo el 21.2 % de lodos generados en las plantas de tratamiento son tratados según la OEFA (2014); así como indica SUNASS (2015), la falta de lugares autorizados para la disposición final de lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como de regulación en el manejo de lodos para reúso agrícola. Siendo un caso particular y no ajeno, los generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), los cuales son captados de la red de alcantarillado de SEDAPAL proveniente de los asentamientos humanos el Ángel y el Milagro del distrito de Independencia, cuyo caudal es de 10 litros por segundo pero, que se puede incrementar, ya que según INEI (2014) el distrito de Independencia cuenta con 216 764 habitantes y al 2025 se proyecta 235 922 habitantes; ahondándose el problema de la disposición de lodo en Lima Metropolitana, la cual es la provincia más

Poblada según el Censo 2017. Frente a esta problemática el ANA afirma que se debe considerar la producción de energía a partir de aguas residuales, donde el lodo es el producto del mismo. Por lo que se presenta la investigación “Energía alternativa a partir de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* por la técnica de la bioelectrogénesis, cuyo fin es producir energía limpia utilizando como sustrato lodo.

1.2. Trabajos previos

En el ámbito Internacional

MARTÍNEZ, C. [et. al.] (2016) en su tesis “*Tratamiento de agua residual doméstica mediante un Reactor Rafa y una Celda de Combustible Microbiana*” de la Universidad Nacional Autónoma de México, distrito federal de México. Cuyos objetivos fueron: Evaluar el desempeño de un sistema compuesto por un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) y una celda microbiana de combustible (CMC) en el tratamiento de agua residual de baja carga, así como la recuperación de energía de este sistema.

Elaboraron la CMC en forma de H con dos cámaras para el ánodo y cátodo, con frascos de vidrio de 250 ml de capacidad. Los frascos se unieron mediante un puente de vidrio y una membrana de intercambio catiónico de vidrio, la cual fue llevada a pretratamiento según indicaciones del fabricante. Para el ánodo se utilizó un escobillón de fibras de carbón (2.5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud) y para el cátodo se usó tela de carbón de 2.6×5 cm cubierta con una película de carbón activado y platino como catalizador. La cámara catódica se llenó con 250 ml de amortiguador de fosfato (50 mM, pH 7.0), mantenidas bajo condiciones aerobias a través del burbujeo continuo de aire. La distancia entre los electrodos fue aproximadamente de 15 cm. El ánodo se unió a una resistencia usando alambre de cobre, en cambio el cátodo se unió a la misma resistencia pero con alambre de titanio. Se usó una resistencia externa (Rext) de 1000 Ω . El voltaje producido se midió con un multímetro conectado a una computadora personal por medio de una interfase para el almacenamiento de los datos. Se utilizaron dos reactores RAFA y CMC respectivamente. Las CMC fueron inoculadas con 125 ml de lodos anaerobios (48.8 % de sólidos volátiles) y alimentadas con 75 ml de agua residual cruda cada 24 h en condiciones anaerobias. Para el arranque se usó permanganato de potasio (20 mM) como electrolito para el cátodo. En los cálculos y mediciones se trabajó con la curva de polarizaciones. La cual se obtuvo con la

medición del voltaje en cada celda utilizando resistencias externas (R_{ext} 150 a 15 000 Ω). Con cada resistencia se hizo tres ciclos, cada uno con una duración de 21 h. el voltaje se midió cada 15 minutos con un multímetro con sistema de adquisición de datos. El reactor RAFA (1 L) se alimentó de manera continua con agua residual doméstica bajo tiempos de retención hidráulica (TRH) de 12 y 6 h. La CMC (250 ml) fue operada por lotes y alimentada con agua residual cruda (TRH = 12 h) o con el efluente del reactor RAFA (TRH = 6 h). Se encontró que la remoción de materia orgánica en el sistema acoplado RAFA-CMC (88 % en demanda química de oxígeno (DQO), 75 % de carbono orgánico total (COT) y 79 % de sólidos suspendidos totales (SST)) fue superior a los niveles observados en el reactor RAFA (76 % DQO, 66 % COT y 73 % SST) y en la CMC (60 % DQO, 53 % COT y 40 % SST) cuando estos fueron operados de manera individual. La mayor densidad de potencia obtenida con la CMC fue de 176 mW/m², utilizando una resistencia de 1000 Ω , en tanto que la eficiencia coulombica fue de 8 %. El sistema RAFA-CMC demostró ser una buena alternativa para el tratamiento de agua residual y la generación simultánea de electricidad aún bajo condiciones de limitación de sustrato, es decir, con baja concentración de materia orgánica en el influente.

GARCÍA, F. (2014), en su tesis “*Minimización de la carga orgánica de efluentes municipales típicos empleando Celdas de Combustible Microbianas*”, del Instituto Politécnico Nacional de México, distrito federal de México, cuyos objetivos son: Caracterizar las propiedades físico químicas de los diversos sustratos de aguas residuales domésticas y lixiviados. Caracterizar y operar: Tanto las Celdas de Combustible Microbianas (CCMs) de arquitectura paralelepípeda (CCM-P) usando diversos sustratos y Platino (Pt) como catalizador en el cátodo; como las de arquitectura cilíndrica y ánodos de grafito granular (CCM-G) con diversos sustratos y Ru_xMo_ySe_z como catalizador en el cátodo, respectivamente. La metodología constó de dos fases, la primera que comprendió la recolección de muestras obtenidas de la PTAR de la ciudad (ARD) y las otras dos del relleno sanitario de la primera y cuarta etapa (LE1 y LE4), las mismas que fueron caracterizadas para hallar la cantidad de materia orgánica que contenían y así determinar el volumen del sustrato a usar en las CCMs. Seguidamente se hizo el enriquecimiento de las bacterias reductoras de Fe (III) en botellas serológicas por transferencias seriales mediante el método Lovley y Phillips, para obtener un inóculo enriquecido a utilizar en la CCMs que consistió en transferir una muestra de sedimento a las botellas serológicas en atmósfera de nitrógeno conteniendo como fuente de carbono, el acetato de sodio (2 M) y citrato férrico

(55 mM) como aceptor de electrones. Se incubaron las botellas por 7 días a 30°C en absoluta obscuridad. El procedimiento se realizó por triplicado con tres transferencias seriales. El bioreactor con inóculo enriquecido (In-E) contenía un volumen de 1 litro operando a condiciones mesofílicas en un cuarto a temperatura constante de $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Luego se hizo el seguimiento y análisis al Reactor Inoculador Enriquecido (RI-E). La fase 2 comprendió la caracterización de dos CCMs usando In-E y EMT, la primera celda de arquitectura paralelepípeda (CCM-P) con electrodos emparedados, y la segunda de configuración cilíndrica de dos terminales con ánodos de grafito granular (CCM-G) mediante el método de curva de polarización. La celda paralelepípeda (CCM-P) de 5 caras, fue una estructura de plexiglás de 10 x 8 x 6.5 y un volumen de 270 ml. Donde cada cara llevaba un electrodo emparedado (lámina de acero inoxidable perforada, tela de carbón (cátodo) cuya concentración del catalizador fue de 0.5 mg Pt/cm², MIP, tela de carbón (ánodo) y una malla de acero inoxidable perforada). La celda CCM-G cuya estructura fue un cilindro horizontal de plexiglás de 10 cm largo donde iba dos divisiones a 3 cm cada una desde el extremo, y diámetro interno de 4.9 cm y un volumen de 103 ml. Colocándose en cada lado un sistema de electrodos: lámina de acero inoxidable perforada, tela de carbón cuya concentración de catalizador fue de 1 mg Ru_xMo_ySe_z, placa de plexiglás para evitar se corruque la MIP, ánodo de grafito granular y una barra de grafito para el transporte de electrones y medición de datos. La activación de la membrana de intercambio protónico (MIP) se hizo previo al depósito del catalizador que consistió en lavados secuenciales a 80°C de temperatura. Luego se preparó y depositó la tinta catalítica en la MIP. El desempeño de la CCM se midió en función de la densidad de potencia, potencia volumétrica, remoción de DQO y la eficiencia coulombimétrica. Finalmente, se hicieron tres caracterizaciones con curva de polarización y tres operaciones utilizando dos tipos de CCMs e inóculo enriquecido con bacterias electroquímicamente activas reductoras de Fe (III) (In-E) concentrado, la primera celda paralelepípeda (CCM-P) trabajó con dos sustratos ARD y ARD-E4, obteniendo una resistencia de 371 Ω y 1644 Ω respectivamente. En la operación se registró potencias volumétricas de 0.86 y 0.38 W/m³ en promedio, eficiencia de remoción 69.6% y 17% para ARD y ARD-E4, y una resistencia externa de 560 Ω y 1000 Ω , lo cual indica que es más fácil degradar el ARD sola y obtener una mayor producción de electricidad. En la segunda celda de combustible microbiana de forma cilíndrica (CCM-G) que utilizó catalizador Ru_xMo_ySe_z y sustrato ARD-E4 operando con una R_{ext} de 1000 Ω , cuyos resultados fueron mejores que la CCM-P con una potencia volumétrica promedio de 0.76 W/m³ y un 50% de remoción de materia orgánica.

Determinando la viabilidad del uso de celdas de combustible microbianas en la remoción de materia orgánica de los efluentes municipales típicos así como la generación de electricidad.

DOLLY, R. [et. al.] (2015) en su tesis “*Uso de Microorganismos Nativos en la remoción simultánea de materia orgánica y Cr(VI) en una Celda de Combustible Microbiana de Biocátodo*” de la Universidad de Nariño, Colombia. Cuyos objetivos son: remover simultáneamente materia orgánica y Cromo (VI) así como generar electricidad en una Celda de Combustible Microbiano (CCM) de biocátodo utilizando inóculos procedentes de diferentes muestras colectadas en la ciudad de Pasto. El método consistió en describir la construcción del CCM, los inóculos utilizados, así como el periodo de aclimatación de los electrodos y la determinación del desempeño eléctrico de la CCM. La CCM se construyó de acrílico cristal de doble cámara, anódica y catódica de 343 ml, como separador a un puente salino (KCl 0.25 M en agar), los electrodos de barras de grafito con un área de 16.16 cm² cada uno y para incrementar su área sumergidos en lechos de minas de grafito con un área de 396 cm². Estos electrodos estuvieron a una distancia de 5 cm y conectados por medio de un alambre conductor a una resistencia externa de 525 Ω.

Se empleó como sustratos para la cámara anódica a lodos anaerobios procedentes de la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad y dos tipos de inóculos para la cámara catódica. En el caso de la cámara anódica se usó 300 ml de aguas residuales, macronutrientes y micronutrientes, glucosa a diferentes concentraciones. A todas las cámaras anódicas se inocularon al 10% (v/v) con lodos anaeróbicos de la laguna de igualación de residuos sólidos.

A fin de formar una biopelícula en los ánodos y cátodos y mejorar su desempeño eléctrico, los electrodos se sometieron a un periodo de aclimatación a temperatura ambiente en condiciones de anaerobiosis en beakers de 400 ml hasta la formación de la biopelícula con la reanudación periódica de un porcentaje de volumen de solución anódica y catódica y con recambio de inóculos por cada cámara. Los electrodos se colocaron en las celdas y operaron al mismo tiempo en tres ciclos donde cada final de ciclo fue cuando el voltaje era cero, volviéndose a añadir inóculo y soluciones anódicas y catódicas frescas. Las celdas se operaron a temperatura ambiente y en modo batch.

También se determinó parámetros analíticos como cantidad de materia orgánica removida en las CCM (DQO) y porcentaje de reducción de Cromo hexavalente.

En la determinación del desempeño eléctrico de las CCM se midieron el voltaje sobre la resistencia externa en circuito cerrado en tres ciclos de operación, los datos se registraron en formato digital para el cálculo de Intensidad de Corriente, Densidad de Potencia y Eficiencia Coulómbica. Finalmente se aplicó un diseño multifactorial categórico de 3 factores y respectivos niveles como: concentración de sustrato, tipo de inóculo y ciclo de operación. Se evaluaron 6 unidades experimentales (3 celdas S y 3 celdas P).

Por lo tanto, se obtuvieron como conclusiones que las CCM de biocátodo reductor de Cr (VI) construidas con material de bajo costo eliminaron materia orgánica, redujeron Cr (VI) y generaron electricidad. Así mismo se determinó que el % MO y EC dependen de la concentración de la fuente de Carbono donde la EC aumenta al disminuir la concentración de glucosa. También bajo las condiciones de la celda se estableció que a menor concentración de sustrato (0.05M de glucosa) se produjo la máxima EC (1.015% de la celda S3). Por ello, los resultados de mayor EC obtenida en la celda S3 con 0.05 M de glucosa no es el idóneo para pretender como alternativa energética, demostrando que de los electrones liberados en la cámara anódica en poca cantidad llegan al electrodo. De allí que se debe ahondar en el entendimiento de los mecanismos involucrados y factores que afectan la resistencia al flujo de electrones de la celda que es una característica importante en su comportamiento eléctrico.

GUAMBO, A. y ALLAUCA, G. (2015), en su tesis "*Estudio de la influencia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de aguas residuales en la producción de bioelectricidad de una celda de combustible microbiana*" de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Cuyo objetivo general consistió en determinar la relación existente entre la demanda bioquímica de oxígeno y la generación de bioelectricidad, y los objetivos específicos relacionados a determinar características físico químicas del suelo de Páramo Pichan, así como el comportamiento del voltaje generado en relación al agua residual suministrada en el tiempo hasta la estabilización de la celda. Para ello, se realizó muestreo de suelo de páramo previas investigaciones cuyas características físico químicas fueron ideales para el estudio, como suelo 60% de porosidad, pH 5.6 y principalmente por su alto contenido de materia orgánica, fósforo y potasio; luego, realizaron el muestreo y preparación de agua residual sintética derivado del lavado del arroz que contenía un 70% de

almidón, razón de su elección. A continuación diseñaron la celda a utilizar, optando por celdas de dos cámaras de polietileno de 3.5 l de capacidad donde se colocó en el ánodo, 2,1 Kg de suelo y 60 g de carbón vegetal con cátodo al aire. Trabajaron con cuatro celdas, tres experimentales y una de control. Los electrodos fueron de fibra de carbono de 0.009 pulgadas para el ánodo y 0.015 pulgadas en el cátodo. Colocaron sensor de medición de voltaje y midieron el voltaje antes de colocar el agua residual, indicador de la capacidad oxidoreductiva del mismo en un tiempo de 72 h. El experimento se desarrolló en laboratorio donde se controló variables de pH y temperatura (25-28 °C). También se hizo pruebas de ensayo suelo-agua para determinar su comportamiento de degradación y producción de bioelectricidad. En el desarrollo del experimento el agua residual se sustituyó cada 24 horas a diferentes concentraciones de 8mg/L, 50 mg/L y 200 mg/L respectivamente en cada celda. El agua residual fue sustituida cada 24 horas en un tiempo de 16 días. El conteo de colonias formadoras de bacterias se hizo antes del suministro del agua residual y después del mismo, a las 24 horas, 72 horas y 144 horas por el método de conteo de placas. Los resultados de este conteo demostraron la disminución del mismo, a las 24 horas que representarían que se estaban adaptando, en cambio a las 72 horas hubo un incremento siendo más notorio a las 144 horas, que sería la fase exponencial para las tres celdas más no en la celda de control donde no hubo crecimiento de colonias de bacterias. El máximo voltaje promedio fue de 28 mV, la intensidad de corriente se midió antes y después. Finalmente, cuando las concentraciones de DBO eran mayores a 200 ppm, la corriente mostró casi igual valor de 179 mv. Concluyendo que existe relación proporcional entre nivel de concentración y producción de energía.

RAZINES, Y. y SANTANDER, M. (2016), en su tesis “*Implementación de una Celda de Combustible Microbiano*” de la Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. Presenta como objetivo general: Evaluar la generación de energía eléctrica a partir de procesos de degradación de materia orgánica mediante la implementación de una Celda de Combustible Microbiano (CCM) a escala piloto. Y como objetivos específicos: Diseñar un modelo a escala piloto de una CCM. Así como describir el comportamiento eléctrico de la CCM y evaluar la eficiencia del montaje. El diseño metodológico consistió en la recopilación de información, así como la descripción del diseño y la evaluación eléctrica del montaje donde menciona que el montaje experimental consta de dos cámaras, una anaerobia y otra aerobia, separados por una membrana de intercambio de protones (MIP). Para los electrodos se utilizó el de mayor voltaje, obtenido previas pruebas, usándose el electrodo de cobre, que

registró la mayor diferencia de potencial, con voltaje de 1.44 V y trabajaron con dos tipos de flujo: semicontinuo y batch. Los resultados obtenidos permiten determinar la importancia del diseño, tipo de flujo ya que este es un factor determinante en cuanto a la continuidad del voltaje obtenido.

También se determinó que a mayor área superficial, mayor es la adherencia de microorganismos al electrodo, dando lugar al incremento de energía eléctrica producida. En cuanto a la evaluación eléctrica del montaje, el sistema tiene un tipo de estabilización aproximadamente de 1 día hasta llegar a $\pm 0,778$ v obteniendo la mayor diferencia de potencial en 3 días con flujo tipo batch.

Las aguas residuales domesticas genera energía eléctrica siendo el tipo de agua apta para su funcionamiento, ya que a mayor carga orgánica mayor es la energía eléctrica producida. Se demostró la eficiencia del montaje mediante cálculo de eficiencia de remoción (DQO) que fue satisfactorio entre 80% y 97%, por ello la CCM no solo genera energía eléctrica sino que también ayuda en el tratamiento de aguas residuales.

HUARACHI, R. [et. al.] (2017) en su tesis “*Bioelectrogénesis with microbial fuel cells (MFCs) using the microalga Chlorella vulgaris and bacterial communities*” de la Universidad Católica de Valparaíso, Chile; presenta como objetivo general estimar la biodepuración de aceites y grasas, la eliminación de tinte azul brl y bioelectrocaracterización en MFCs con *Chlorella vulgaris* y comunidad de bacterias. Menciona que se construyó una MFCs con dos cámaras para el ánodo y cátodo respectivamente con un volumen de 1 l, como membrana de intercambio de protones (PEM) se usó el Nafion 117. Así mismo para el anolito y catolito se construyó con placas de grafito de 6.5 cm x 5 cm y 0.8 , y una superficie de 58.2 cm²; los que se conectaron a una bombilla LED de 1.5 w como resistencia mediante alambre de cobre, los electrodos se ubicaron a una distancia de 5 cm con respecto al PEM . En el ánodo las biopelículas se formaron por la comunidad bacteriana Actinobacteria y Deltaproteobacteria, y esta cámara operó con bomba peristáltica recirculando a 0.35 l/h alimentándose con aguas residuales en un 60% y lodo de efluentes industriales con dosis fija de carbón activado (40% del volumen en el compartimiento para mantener un ambiente anaerobio y el pH lo ajustaron entre 6-7); el cátodo fue inoculado con microalga *Chlorella vulgaris* y agua de una fábrica de chocolate de Arequipa, y a los 7 días de experimentación se alimentó con tinte azul brl para evaluar el % de eliminación. La actividad de las MFCs fue evaluada en términos de voltaje, cuya

operación duró 32 días mostrando un aumento en la actividad bioelectroquímica (23,17 a 327,67 mW/m²) y el potencial (de 200 a 954 V), con la depuración de grasas y aceites del 95% en el cátodo de microalgas así como la eliminación de DQO en el ánodo de 75% y 78,6 % en el cátodo ,y el tinte azul brl de 73% en el ánodo. También se midió la densidad de corriente obteniendo 340,55 mA/m² en este tiempo se formaron biofilms con un espesor de 166,7 ± 11,5 µm en el electrodo del ánodo.

VELEZ, J. (2014) en su tesis “*Modelo de Ánodo y Validación experimental para una Celda de Combustible Microbiana*” de la Universidad Nacional de Colombia muestra como objetivo general desarrollar un modelo de ánodo para una Celda de Combustible Microbiana (CCM) a fin de establecer la relación entre flujo eléctrico producido (corriente) y metabolismo de una Cepa bacteriana. Para ello, desarrolló el modelo matemático y termodinámico de un ánodo utilizando la cepa de *E. Coli*, así como su validación experimental mediante el desarrollo de una metodología para determinar algunos parámetros que servirán para el modelo y así validar dicho modelo.

El modelo se aborda bajo dos puntos de vista basada en los fenómenos de transporte que considera el modelamiento con una herramienta computacional y la otra muestra el modelo a través de la termodinámica de procesos irreversibles, para evidenciar la importancia de los fenómenos cruzados en la descripción matemática de las CCM. Para el montaje de la curva de crecimiento se usó una cepa de *Escherichia coli* como referencia en un medio modificado. En cambio en el montaje de las CCM se trabajó con dos tipos de celdas, la primera con Frascos de Erlenmeyer con volumen de 100 mL, acondicionado con ánodos de grafito de 6.5 x 1 x 0.3 cm, el cátodo de platino y como electrodo de referencia al Ag/AgCl, la distancia entre los electrodos fue 0,5 mm para ver si los microorganismos son responsables de la energía eléctrica. Las celdas se ensamblaron con 75 ml de medio de cultivo y a este se inoculo 0.75 mL de *E. coli* previamente cultivada; asimismo, se hizo tres repeticiones con circuito cerrado, y con una resistencia de 5,6 kΩ. Trabajaron con dos grupos, uno de control y otro con el inculo. En cambio, el segundo tipo de celda elaborada a medida con dos cámaras, ánodo microbiano y cátodo expuesto al aire, ambos separados por una membrana de Nafion. La celda tiene tres puertos de muestreo inclinado de entrada y salida para gases. El electrodo del ánodo fue de barra de grafito cuya área de 7,2 cm² sumergido en medio de cultivo previamente inoculado. Se construyeron tres celdas a medida, una como control (sin inocular). Las celdas se incubaron a 35 °C y a 120 rpm por tres días. Los resultados obtenidos de la primera celda fue de 0.03 v como máximo durante

35 horas, la densidad de potencia 2.1 mW/m² y la densidad de corriente de 0.08 A/m²; y en la segundo tipo de celda a medida, se obtuvo un voltaje de 0,02 v en 50 h. densidad de corriente de 0.01 A/m² y densidad de potencia de 0,01 W/m².

FERREIRA, E. [et. Al.] (2016) en el artículo científico “*Energy by Microbial Fuel Cells: Scientometric global synthesis and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews*”. (Energía por pilas de combustible microbianas: síntesis y desafíos cientiométricos globales, Revisiones de energía renovable y sostenible) de la Universidad de Paraná, Brasil.

Cuyo objetivo general fue analizar literatura transcendental sobre celda de combustible microbiano (CCM) mediante un enfoque cientimetrico a fin de producir una síntesis completa. Encontraron un incremento importante de publicaciones desde 2006. En los EE.UU. y el Este de Asia son donde se da un mayor número de publicaciones e inversión financiera en investigación y desarrollo. La principal barrera tecnológica para el uso generalizado de las CCM se debe a la escala de aplicación, limitada a pequeños prototipos insuficientes para generar electricidad con fines prácticos. El sustrato más referido fue el agua residual, tanto doméstico como industrial, demostrando el enorme potencial de las CCM para el tratamiento de agua residual. Por último, sus resultados evidenciaron que hay una gran variedad de microorganismos que pueden generar electricidad pero la mayoría de los artículos se focalizan en determinadas especies bien establecidas. En suma estos alcances servirán para la investigación y aplicación desde una perspectiva global.

LEE Y., [et. Al.] (2015) en el artículo científico “*Flavin mononucleotide mediated microbial fuel cell in the presence of Shewanella putrefaciens CN32 and iron-bearing mineral, Biotechnology and Bioprocess Engineering*” (Célula de combustible microbiana con mononucleótido Flavin en presencia de Shewanella putrefaciens CN32 y mineral portador de hierro, Biotecnología y Ingeniería de Bioprocesos) de la Universidad de Beijing, China.

Investigaron la viabilidad de los mediadores de transferencia de electrones (ETM) para la celda de combustible microbiana (CCM) mejorada operando con Shenawella putrefaciens CN32. En circuito abierto, los ETM naturales indicaron 128 a 166% de mejora en diferencia de potencial eléctrico en comparación con los ETM no naturales (0.41 v), en cambio las CCM con EMT sintéticos alcanzaron de 200 a 250 % de mejora, indicando una relación de línea entre potencial eléctrico y potencial rédox de ETM (R²=0.91).

Preferentemente el mononucleótido de flavina (FMN), el ETM más eficaz en la operación de Shenawella-CCM, mostro el mayor potencial (0.547 v) y la densidad de potencia (20.28 mW/m²) y se generó una corriente máxima (0,285 mA). La adición de minerales conductores de hierro (hematita 26.27 mW/m², lepidocrocita 25.83 mW/m²) incrementó la densidad de potencia de FMN-CCM, pero no se observó una mejora significativa al agregar fuente de hierro soluble (citrato férrico). De igual manera, la CCM con hematita indico la corriente máxima (0.37 mA) con un 30.8 % de eficiencia coulombica.

BERMUDEZ, M. y BERNAL, E. (2018) en su tesis “*Implementación de una Celda de Combustible Microbiana a escala de laboratorio para generación de energía eléctrica*” de la Universidad de América, Colombia presentó como objetivo general, la implementación de un diseño mecánico adecuado de una Celda de Combustible Microbiano (CCM) adaptado a las condiciones y materiales a fin de generar energía y disminuir el DQO.

La metodología de su trabajo se dividió en dos partes, la primera referida al análisis sobre los diferentes componentes y variables que influyen en la generación de energía y disminución de carga orgánica del agua residual. En la segunda parte, se hizo dos tratamientos de 30 horas cada una, monitoreado cada 3 horas para el voltaje y cada 60 minutos la temperatura, midiendo voltaje, intensidad de corriente, pH, densidad de corriente y densidad de potencia. Para ello, previamente fijaron los parámetros de operación del proceso, utilizaron un software de instrumentación virtual en el monitoreo de la temperatura a fin de relacionar con el crecimiento microbiano y la generación de energía. Luego, construyeron un Celda de Combustible Microbiano de doble cámara, tipo H, material de vidrio debido a su baja conductividad eléctrica, cuyo volumen fue de un litro, electrodo de placas de grafito (área: 78 cm²), sustrato 800 ml de agua residual sintética (tripticosa de soya), puente salino de agar-agar con electrolito de cloruro de potasio (KCl) 1M, finalmente evaluaron el comportamiento de las bacterias *Echerichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* en condiciones anaerobias. Obteniendo como resultados, un voltaje y corriente promedio de 185.4 mV, 90.64 µA y 297.17 mV, 257.82 µA respectivamente para cada bacteria, así como, un porcentaje máximo de reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 12.24% por la *Pseudomonas aeruginosa*.

BUENAÑO, J. y CRUZ, F. (2016) en su tesis “*Generación de bioelectricidad mediante Celdas de Combustible Microbianas a partir de aguas residuales industriales textiles de Fashion Color, utilizando Chlorella vulgaris como biocatalizador en la cámara catódica,*

Pelileo 2015” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Presentó como objetivos demostrar la influencia de la *Chlorella vulgaris* como biocatalizador así como evaluar el comportamiento de los metales pesados Cromo (Cr) y Zinc (Zn) previamente y su degradación utilizando las Celdas de Combustible Microbianas (CCM). La metodología consistió en cuatro etapas: La primera etapa, cultivo y mantenimiento de las microalgas. En la segunda etapa, se hizo la configuración y operación de la CCM. La celda constó de una cámara con cátodo al aire, funcionó con alimentación por lotes, el material de las celdas fue placas de acrílico de 2mm de espesor, tamaño de 5x 5 cm y volumen de 125 ml, cada celda con puerto de entrada y salida para alimentar y purgar, para la separación de las celdas utilizaron papel celofán con 1 cm de distancia entre los electrodos, los cuales fueron pre tratados donde el electrodo cátodo se incorporó con la solución de microalga, alimentada periódicamente con solución nutritiva. El funcionamiento de las CCM a 26°C temperatura ambiente, cuyas condiciones se controlaron hasta obtener voltaje estable en el primer ciclo. Trabajó con tres celdas con la microalga y una sin ella, los electrodos fueron de fibra de carbono, el sustrato 120 ml de agua residual y 10 ml de lodo activado para la cámara anódica. La tensión de salida se registró en dos fases, la primera fase de cinco días y la segunda de ocho días. En el primer ciclo para la formación de la biopelícula, en el segundo ciclo, inóculo de 125 ml de agua residual en cada celda y en el tercer ciclo, la verificación de la eficiencia del biocátodo. Analizó sólidos solubles, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos, fosfato, Cr, Zn. En el análisis del pH se hizo tres veces, el pH de la muestra inicial (8.95), pH luego de la descarga del pH (8.60), el tercer pH del agua de todas las celdas (7.20). Así mismo, el análisis microbiológico demostró la presencia de unidades formadoras de colonias (UFC) de microorganismos anaerobios facultativos y aerobios pero con mayor presencia de microorganismos anaerobios. Además, durante la fase de crecimiento microbiano en el primer ciclo, se mostró en las tres celdas un crecimiento lineal a diferencia de la celda cuatro que no fue lineal. Finalmente, se obtuvo que las tres celdas con la microalga, mostraran un 43 %, 26 % y 25% mayor en generación de energía eléctrica con respecto a la celda de control. De igual modo, el voltaje máximo generado en las tres celdas (con microalga), se dio en el ciclo uno con valores de 0,647 V, 0,472 V y 0,508V, respectivamente en cambio, en la Celda 4(sin la microalga) se registró el voltaje más alto en el ciclo 2 con 0.561V. También se redujo significativamente el Cr y Zn en la celda control.

MORA, A. y BRAVO, E. (2016), en el artículo “*Diversidad bacteriana asociada a biopelículas anódicas en Celdas de Combustible Microbianas alimentadas con aguas residuales*” de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Señalaron como objetivos: Evaluar la diversidad bacteriana presentes en las biopelículas formadas en el ánodo, caracterizar molecular y observar microscópicamente la biopelícula, así como construir la Celda de Combustible Microbianas (CCM) . Construyeron dos celdas de una sola cámara de 2.5 L, los electrodos del ánodo fueron de piezas cilíndricas de grafito, en el cátodo el carbono se recubrió con platino (Pt) a 0.1 mg/cm^2 en Nafión al 5%; inocularon a la celda con dos tipos de sustratos, agua residual doméstica e industrial. La CCM funcionó durante 30 días donde se formó la biopelícula. Se monitoreó los parámetros electroquímicos por medición de voltaje en el tiempo y curvas de potencial celda con densidad de corriente. De la misma manera se analizó DBO, al inicio de la toma de muestra y al finalizar la operación de la celda. Presentándose como resultados: La densidad de potencia generada por las CCM en función del tiempo exhibió una fase de latencia durante los 7 primeros días del montaje de la celda, luego se incrementó hasta alcanzar una fase con densidad de potencia oscilatoria donde la potencia máxima obtenida fue de 4.85 mW/m^2 en el día 22 en la celda con agua residual doméstica, y 1.85 mW/m^2 en el día 20 para la celda con agua residual industrial. Del mismo modo, el DBO del agua residual inicial fue de $555.1 \text{ mgO}_2/\text{l}$ y final $158.4 \text{ mgO}_2/\text{l}$, o sea disminuyó en un 71% ; en cambio, en el agua residual industrial tuvo una reducción del 59% ya que el DBO inicial fue de $1527.8 \text{ mgO}_2/\text{l}$ y final de $630 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Por último, las biopelículas formadas mostraron que pertenecían al *Phylum Proteobacteria*, clase *Deltaproteobacteria*.

VALDIVIESO, L. (2017) en su tesis “*Evaluación de mecanismos de reactivación en Celdas de Combustible Microbianas para la producción de bioelectricidad*” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Cuyo objetivo consistió en implementar con diferentes mecanismos de reactivación como adición de sustrato y estimulación eléctrica respectivamente. Así como, comparar la energía con cada uno de los mecanismos y determinar el crecimiento microbiano con cada celda luego de la generación máxima de bioenergía. Para lo cual, el aspecto metodológico constó de dos etapas: el primero correspondiente al muestreo de suelo y su análisis físico-químico. Luego, en la segunda etapa, la instalación de la Celda de Combustible Microbianas (CCM). Se preparó 5 celdas de material acrílico y forma cuadrada, con capacidad de 125 mL, de ellas una de control; el electrodo de fibras de carbono. Se utilizó como sustrato a la glucosa de 1g/L de agua

deshidrata hasta saturar y evitar ingreso de oxígeno en las cuatro celdas en ambas celdas separadas por caucho y papel celofán. Las celdas se conectaron a un sistema para registrar datos de forma continua y la celda control alimentada sólo con agua destilada y monitoreo manual. De las 4, a dos de ellas se aplicó la estimulación eléctrica directa en 7 periodos con pulsos de 2 milisegundos para voltajes de 0.3 V, 0.6 V, 0.9 V, cada estímulo se repitió 2 veces y al final 2 V en las celdas. El monitoreo duró 43 días. Se concluyó que las celdas con tratamiento de glucosa generan voltaje constante, y luego disminuye; en cambio las celdas sometidas a impulso se da un incremento proporcional a los mismos con tendencia tiende a incrementar. Al comparar la generación promedio de voltaje de cada periodo, obtuvieron un voltaje de 0.13 v en el periodo VI (pulso 0.9 v). El análisis microbiológico determinó el incremento de cinco órdenes de magnitud expresado en unidad formadora de colonias (UFC) con respecto al conteo previo al inicio del funcionamiento de las celdas.

PINEDA, A. y ROSAS, M. (2016) en su tesis “*Estado del Arte en Celdas de Combustible Microbianas para producción de energía*” de la Universidad distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, Colombia. Planteó como objetivo establecer estado del arte sobre avances científicos de Celdas de Combustible Microbianas (CCM) para producir energía eléctrica. Su metodología se dividió en dos partes, la primera la búsqueda en base de datos, las sistematizó y clasificó. En la segunda parte analizó e interpretó la información obtenida sobre celdas de combustible microbianas. De la búsqueda de datos obtuvo que China es el país que más ha investigado sobre este tema, seguido por Estados Unidos y la India; a nivel de Latinoamérica, Colombia y México son los que presentan mayor producción de artículos científicos. Los temas sobre los que tratan son principalmente sobre: Estructura de la CCM, condiciones de operación (aireación del cátodo, pH, temperatura, demanda química de oxígeno, resistencia interna y externa, tiempo de operación), microorganismos exoelectrógenos, mecanismos de reacción, transferencia de electrones directa. Entre las estructuras de importancia son de cámara única y doble cámara, y a partir de ellos se dan otros tipos como: tubular de flujo vertical u horizontal, celdas tipo H, acopladas, escalas milimétricas acopladas a sistemas secundarios para tratamiento de agua en procesos comunes como uso de lodos activados, humedales artificiales para generar biogás, remoción de metales. Los materiales a base de carbón han sido los más desarrollados y evaluados por ser económicos, donde las propiedades físicas como área superficial favorecen en la operación de las CCM, y la densidad de potencia obtenida es mayor a 500 mW/m²; mas no el oro y platino por el costo y envenenamiento,

pese a mostrar mayor incremento de energía. También los electrodos de metal cuya característica es la conductividad eléctrica pero su limitación es la formación de óxidos que pueden influir en la disminución de la vida útil de la celda y de los microorganismos. Hay metales a base de polímeros conductores que pueden ser inocuos para los microorganismos además de poseer propiedades físicas favorables como elevada superficialidad, porosidad, actividad catalítica alta; estos materiales no necesitan el suministro de mediadores en solución o catalizador metálico para aumentar la eficiencia de las CCM pero no hay características físico químicas en función a composición y área superficial, así como, su desempeño hallado con el mismo en función a densidad de potencia, densidad de corriente, eficiencia coulombica y se debe tomar en cuenta la rugosidad y porosidad. No se puede determinar los mejores materiales o configuraciones para las CCM por la variabilidad de condiciones de operación que realizan los estudios. En las condiciones se han estudiado como parámetros importantes: aireación de cátodo y/o concentración de oxígeno disuelto, tiempo de operación, fuerza iónica de las soluciones, pH, tasa de alimentación de celdas y tiempo de retención hidráulica, temperatura, resistencia externa e interna, los cuales influyen en las comunidades microbianas y se da en función del tipo de microorganismo como temperatura, pH, aireación, concentración de sales. En cambio, tiempo de operación y resistencia externa se define de acuerdo al criterio del investigador, además la resistencia interna es influenciada por los anteriores parámetros. El comportamiento de las CCM en relación de las condiciones de operación, en general no cuenta con planteamiento matemático que modele los resultados y aplicación en ella para su validación. Por otra parte, el parámetro vital es el tipo de sustrato o residuo orgánico degradable por microorganismos pero depende de la cantidad de electrones que éstos son capaces de extraer del sustrato, y los que lleguen al ánodo. Existe tendencia en el uso de sustratos orgánicos por su fácil degradación y fácil incremento de densidad de potencia. También, los sustratos de aguas residuales domésticas o industriales pero a su vez resultan nocivos a los microorganismos. La mayoría opta por agua residual sintética por su fácil manejo en laboratorio pero impide ver el acoplamiento práctico de las CCM a sistemas de tratamiento de agua residual; el uso de biomasa es la menos estudiada. No existen estudios de optimización de microorganismos-sustrato, ya que la mayoría no ha estudiado las relaciones ecológicas en el funcionamiento de las CCM. Hay estudios iniciales en cuanto a mejorar las cepas microbianas más presentes en las CCM por técnicas de ingeniería genética a fin de proveer capacidad de transferencia de electrones y optimización de tasas metabólicas para incrementar la eficiencia y cantidad de energía generada por el sistema.

Finalmente, la generación de energía podría alimentar dispositivos pequeños con poco requerimiento de energía eléctrica. También podrá tratar aguas residuales con suministro de energía, aportar en localizaciones remotas de difícil acceso a sistemas de alcantarillado. Este sistema podrá empalmarse otros sistemas como electrosorción, sensores o biosensores como capacitores para dispositivos externos.

En el ámbito Nacional

SAYAJO, D. (2015). En su tesis “*Prototipo de Celda de combustible Microbiano (CCM) para generar energía mediante residuos de plátano y bagazo de caña*”. De la Universidad Cesar Vallejo cuyo objetivo fue determinar con cuál de los sustratos se generaba mayor voltaje. Elaboro dos prototipos de celdas que vario en el electrodo catódico, uno fue con cobre y el otro de aluminio. Cada celda se trabajó con diferentes residuos como combustible. Su funcionamiento fue en serie para probar la generación de energía utilizando los residuos de plátano y bagazo de caña de azúcar individualmente. Coloco la celda catódica dentro de la anódica donde el polietileno, material de la celda catódica cumplió la función de membrana de intercambio protónico. La observación del comportamiento de las celdas duro 28 días con tres repeticiones por arreglo. Los resultados obtuvieron el mayor voltaje de 0,69 v en la celda con electrodo de cobre y residuos de caña.

1.3 Teorías relacionadas al Tema

1.3.1 Bioelectrogénesis

La bioelectrogénesis es una técnica electroquímica microbiana (Berná, 2016, p.5) que consiste en la transformación de energía química a energía eléctrica mediante el metabolismo de organismos vivos. Sin embargo, la bioelectrogenesis como fuente de energía utilizable por el ser humano ha empezado a desarrollarse desde el descubrimiento de bacterias electrogénicas como los géneros *Shewanella* o *Geobacter*, siendo el género *Geobacter* el mejor estudiado. (Alonso, 2017, p.12).

1.3.2 Celdas de Combustible Microbiano (CCM)

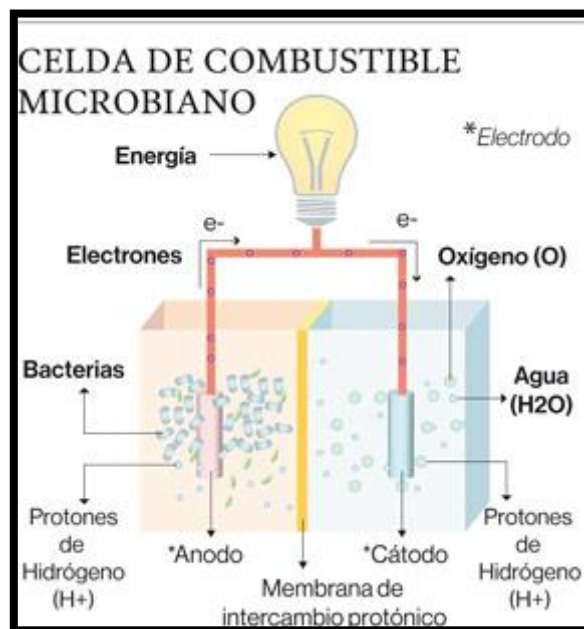
Para la aplicación de la bioelectrogénesis se utiliza celdas microbianas que según García (2014), es un reactor bio-electroquímico donde un sustrato biodegradable es convertido directamente a electricidad por las bacterias, ya que estas bacterias mediante su metabolismo transfieren electrones desde un donador, como la glucosa a un aceptor de electrones (p.3). Es decir, poseen la característica de remover la carga orgánica del efluente

así como producir electricidad. (Alzate et. al., 2008, p.18)

1.3.2.1 Estructura de la Celda de Combustible Microbiano (CCM)

Según Esteve (2008) las CCM están compuestas de dos cámaras:

- Celda Anódica donde se coloca al microorganismo que oxida el combustible o materia orgánica y transfiere los electrones al electrodo del ánodo.
- Celda Catódica. Esta cámara es mayormente aerobia y en ella los protones provenientes de la celda anódica que llegaron por la membrana de intercambio protónico se combinan con los electrones provenientes de la cámara anódica forman agua.
- Membrana de Intercambio Protónico, es una membrana selectiva ubicada entre las dos celdas y permite el paso de protones de la cámara anódica a la catódica, jugando un rol muy importante en la prevención de la introducción de oxígeno en la dirección inversa.
- Electrodo del ánodo. Ubicado en la celda anódica donde se transfieren los electrones y de estos a la cámara catódica por la conexión externa. Puede ser de cobre, aluminio, carbón; en su mayoría utilizan el carbón y sus derivados por su costo y efectividad otros el cobre por su conductividad.
- Electrodo del cátodo. Se encuentra en la celda catódica y puede ser de carbón, cobre, platino debido al costo usan el carbón ya que el platino es costoso. (p.12)



Fuente: Comercio ,26 de mayo del 2016

Figura 1. Estructura de una Celda de Combustible Microbiano

1.3.2.2 Condiciones de funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano

Las condiciones para su funcionamiento está en función a:

- **Los electrodos**, los cuales deben tener buena conductividad.

-**Sustrato** o combustible ya que según Ibídem estos pueden variar desde compuestos sencillos como la glucosa, el acetato a complejas ricas en materia orgánica como los existentes en las aguas residuales (p. 12).

- **pH** que se altera por la acidificación en la cámara anódica y alcalización en la catódica, puesto que las reacciones anódicas generan protones y en las reacciones del cátodo se consumen estos protones. Si la migración de protones por la membrana selectiva es lenta, producirá una disminución del pH y con ello disminuirá la actividad bacteriana, a su vez afectará la transferencia de protones. El incremento de pH en la cámara catódica podría menguar la generación de corriente en la CCM. Termodinámicamente un cambio en una unidad de pH ocasiona en el electrodo una pérdida de potencial de pH 59 mV. (Revelo et. al., 2013, p. 25).

- **Temperatura**. La cinética microbiana será más rápida en temperaturas mayores pero el porcentaje de remoción de sólidos volátiles no. Por ello la ventaja de producir electricidad desde cualquier materia orgánica rebajando con temperaturas moderadas entre 15-50 °C (Liu et. al., 2005, Aelterman et.al, 2006 y Oh y Loja, 2007 citado por Estrada et. el, 2016, p.9)

Lodo como Sustrato de la Celda de Combustible Microbiano

En las condiciones de funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano se considera a los compuestos que son ricos en materia orgánica como la existente en las aguas residuales. En el tratamiento de aguas residuales se generan lodos en sus diversas etapas. En la presente investigación se trabajó como sustrato con lodos anaerobios de las aguas residuales. Del cual se trata brevemente a continuación:

- **Lodo**: Según Morales et. al (2015) lo define como una mezcla que comprende una fase sólida suspendida en un medio líquido, en función de las operaciones y procesos de tratamiento, la fase sólida tendrá entre un 12-25 % del peso total (p. 18)

Lodos de aguas residuales: (ídem) son producto de la concentración de sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios) o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de la remoción de sólidos disueltos de las aguas residuales. Algunas veces estos lodos son vertidos al medio ambiente sin ningún tratamiento previo. Pero, se lleva a cabo con frecuencia con los lodos primarios.

- **Caracterización física y química de lodos de aguas residuales**

Gonzales (2015) menciona que para la caracterización de lodos de aguas residuales

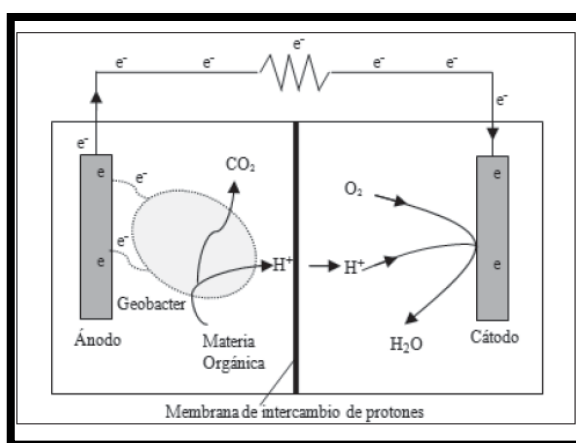
se tomaran en cuenta los siguientes parámetros físico-químicos: Humedad, pH, Conductividad eléctrica, materia orgánica, Nitrógeno y fósforo total, sólidos volátiles, alcalinidad y niveles de concentración de metales pesados (p.8).

1.3.2.3 Proceso de funcionamiento de una Celda de Combustible Microbiano

Según Alzate et. al., (2008) el proceso de funcionamiento de una CCM se consigue mediante:

- El metabolismo de las bacterias donde se transfieren electrones desde un donador a un aceptor, el ánodo.
- La conversión química ocurre en el electrodo anaerobio, en el que se emplea un catalizador para acelerar la oxidación de un combustible específico (H_2 , CH_4).
- En la CCM las bacterias catalizan la oxidación del combustible, produciendo electrones que son transferidos al ánodo, los cuales circulan por un circuito externo donde los protones pasan por una membrana hacia el cátodo. Los protones y electrones son usados para reducir oxígeno a agua por una reacción catalizadora en el electrodo catódico. (Ver figura 2).

Así mismo los electrones se desplazan al cátodo debido a una diferencia de potencial (Saavedra, 2012).



Fuente: Vásquez, Jorge y Lugo (2012).

Figura 2. Esquema básico de una Celda de Combustible Microbiano

1.3.2.4 Mecanismos de transferencia de electrones

Los electrones se pueden transferir de diversas formas (Logan y Regan, 2006, Lovley, 2008, Rittme, 2005 citado por Saavedra (2012) como:

- Transferencia directa por medio de estructuras bacterianas llamadas nanocables, o pilis.
- Transferencia indirecta, con lanzadores intermedios de electrones.

1.3.3 Bacterias

Son microorganismos unicelulares procariotas que poseen membrana citoplasmática bilaminar, en su mayoría tienen pared celular, de gran diversidad metabólica. Se hallan dispersos en todo el planeta, en su mayoría son de vida libre algunos producen enfermedades a otros organismos.

Las formas celulares pueden ser esféricas, alargadas, espiral. Su reproducción es asexual por fisión binaria. (Science, 2006). En este reino (procariota) según criterios evolutivos existen las eubacterias y arqueobacterias. Estas últimas no tienen peptidoglicano como las anaerobias que viven en condiciones ácidas calientes, también las que viven en condiciones salinas y aquellas que reducen el CO₂ a metano. Por ello, su hábitat está en las profundidades del mar, aguas ácidas (p.7).

Diversidad Metabólica de las bacterias

De acuerdo a la forma de metabolismo se tiene: Fotoautótrofas, quimiolitótrofos, heterótrofos, prototrofos, auxotrofos, aerobios, anaerobios y fermentadores.

Crecimiento y cultivo

Las condiciones de cultivo en el laboratorio dependen de: Tiempo de duplicación (lenta o rápida), tiempo de cultivo, temperatura, y condiciones de oxígeno, pH. Existen diferentes tipos y medios de cultivo.

Estructura celular

La estructura celular de la bacteria consta de: flagelos, pared celular, membrana celular, ribosomas, material genético; y las estructuras variables son: pilis, capsula y esporas.

1.3.3.1 Bacterias electrogénicas en una Celda de Combustible Microbiano

Según Lovley, 2001 citado por Estrada (2016) estos microorganismos poseen la capacidad de transferir electrones al ánodo en ausencia de mediadores redox artificiales, eliminando el problema de la toxicidad de las celdas. Se tiene dos tipos de bacterias electrogénicas:

- Bacterias que producen sus propios mediadores redox, los cuales son secretados al medio y se reactivan con el electrodo.
- Las otras bacterias reaccionan directamente con el electrodo sin mediador soluble.

Entre las bacterias con probada actividad electrogénica se tiene a *la Rhodospirillum rubrum*, *Aeromonas hydrophila*, *Clostridium butyricum* y *Enterococcus gallinarum* pero no existe información la forma como transfieren los electrones al electrodo (p.32).

1.3.3.2 Metabolismo de bacterias electrogénicas

Las bacterias electrogénicas se pueden hallar en diversos ambientes naturales anaerobios como los sedimentos de ríos, lagos o incluso marinos. En lugar del oxígeno que se utiliza ellos usan compuestos metálicos para respirar transportando electrones hasta el metal. De esta manera, son capaces de producir corriente eléctrica, agua y CO₂ en una Celda de Combustible Microbiana. El descubrimiento de estas bacterias permite su aplicación en biorremediación, descontaminación de suelos, bioelectrónica o la bioenergía, pero, la aplicación más desarrollada, es la depuración de aguas residuales (Alonso, 2017).

1.3.3.3 Características de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*

Es un bacilo gram negativo aerobio no formador de esporas cuyas colonias son redondeadas lisas, de borde regular (Callico & et. al, 2004, p.4). Su tamaño es 1.5 a 5 µm de largo y 0.5 a 1.0 µm de diámetro. Además, cuentan generalmente con un solo flagelo polar, el cual le permite ubicar substratos en pocas concentraciones.

No crecen en condiciones ácidas (pH menor o igual a 4.5), es decir su pH varía entre 4.5 a 8. Poseen metabolismo aerobio estricto con oxígeno como aceptor de electrones, aunque crecen en condiciones anaerobias utilizando el nitrato (NO₃) u orginina como aceptor final de electrones. En su mayoría la temperatura de crecimiento varía de 30°C a 37°C pero con capacidad de sobrevivir y multiplicarse en diversos ambientes tanto terrestres como acuáticos, usualmente crecen rápidamente así como muestran gran capacidad para metabolizar una gran diversidad de substratos, compuestos orgánicos (Ruiz, 2007, p.43).

Son bacterias que pertenecen a microorganismos mesófilos, es decir cuya temperatura varía entre 15-45 °C.

1.3.3.4 Características de la bacteria *Aeromonas hydrophila*

Es gram negativo, con flagelos polares, anaerobio facultativo, forma esporas y produce ecotoxinas. Distribuido mundialmente especialmente en fuentes de agua dulce también se disemina en aguas de mar, aguas negras, suelo. Habita en zonas con clima cálido. Puede sobrevivir en medios anaerobios y aerobios.

De bordes redondeados que suele medir entre 0.1 y 1 µm de ancho y 1 a 3 µm de largo. No forma endosporas y puede vivir en aguas de hasta 4°C. Estas bacterias presentan desplazamiento mediante flagelos polares. Por su estructura es muy tóxica para muchos organismos (Dpto. fisicoquímico –UNAM, s.f.).

Las *A. hydrophila* son fermentadoras de glucosa, obteniéndose el mayor número en los meses cálidos y su crecimiento óptimo es a 28°C . Así como su pH de crecimiento es entre 6 a 7. (Hayes, 2006).

1.3.4 Energías Alternativas

Llamadas energías renovables que aprovechan los caudales naturales de energía del planeta, constituyen una fuente inagotable de flujo energético, renovándose continuamente. Así mismo, cuentan con una ventaja de no generar residuos como resultado directo de su utilización y se generan con un mínimo de perjuicios sociales, culturales, para la salud y el medio ambiente. (Ramírez, Sierra y Valencia, s.f.).

El uso de energías renovables como opción frente al Cambio Climático va en incremento y como una opción sustentable. Al respecto el IPCC menciona “Son numerosas las opciones del suministro de energía con bajos niveles de carbono que, acompañadas de mejoras de la eficiencia energética, pueden contribuir a los bajos niveles de concentración de GEI indicados, siendo la energía renovable la opción predominante de aquí a 2050 en la mayoría de los escenarios” (2011).

1.3.4.1 Bioenergía

Es la energía obtenida de la biomasa. Entre las fuentes de materia orgánica se tiene a las plantas, residuos de animales y desechos del hombre. Los cuales bajo criterios de

sustentabilidad ofrecen cantidad de energía renovable que constituye una ventaja de emisión neutra frente al cambio climático (Islas y Martínez, Junio 2010).

1.3.4.2 Energía eléctrica

Es la forma de energía que se da como producto de la existencia de diferencia de potencial entre dos puntos que al ponerse en contacto mediante un conductor eléctrico se obtiene corriente eléctrica (ENERGIA NUCLEAR, 25 noviembre del 2016).

1.3.4.3 Voltaje

También denominada tensión o Diferencia de Potencial, se define como la presión ejercida por una fuente de suministro eléctrico (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, a fin de establecerse el flujo de corriente eléctrica. Es decir, el voltaje es el impulso que requiere una carga eléctrica para fluir por el conductor de un circuito cerrado. Este movimiento de las cargas eléctricas en el circuito va del polo negativo de la FEM al polo positivo de la misma fuente. (ASIFUNCIONA, 5 junio del 2018).

En el Sistema Internacional de Medidas la diferencia de potencial se mide en voltios (V) (ECURED, 5 junio 2018).

1.3.4.4 Energía química

Es el potencial de una sustancia química para experimentar un cambio ya sea mediante una reacción química o transformación en otras sustancias químicas. Por ello, formar o romper enlaces químicos conlleva a energía. (ENERGIA NUCLEAR, 25 noviembre del 2016).

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema General

¿Cuánto de energía alternativa se produce en el proceso de bioelectrogénesis usando las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* ?

1.4.2 Problemas Específicos

- ¿De qué manera las condiciones de la celda de combustible microbiano intervienen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis?

- ¿De qué manera las características de la bacteria intervienen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis?

1.5 **Justificación de la Investigación**

Conveniencia: La aplicación de la bioelectrogénesis generará beneficios sociales y ambientales por ser energía limpia, a partir de lodos de aguas residuales producidas en los asentamientos humanos El Milagro y El Ángel del distrito de Independencia. Esta investigación aprovecha un recurso que produce contaminación al agua, suelo, aire y que puede ser utilizado para generar energía eléctrica conllevando a un mejoramiento en la calidad de vida de las poblaciones peruanas, además de reducir los gases de efecto invernadero.

Relevancia social: Los beneficiados con esta propuesta será la población peruana de las zonas rurales que no acceden al servicio de energía produciendo energía procedente de los lodos para cubrir sus necesidades. Por otro lado, generará beneficios económicos a esa población ya que sustituirá a las fuentes usadas cuyo costo es alto.

Justificación ambiental: La implementación de esta propuesta de solución generará ventajas ambientales para la población beneficiada, así como para el Estado y la Sociedad en general, ya que parte de usar los lodos residuales que ocasionan problemas a las fuentes de agua, contaminándolos, en lugar de ello se pretende darle uso y valor produciendo energía limpia.

Justificación económica: El costo de esta tecnología es bajo, porque utiliza bacterias que se alimentan de materia orgánica de las aguas residuales domésticas o industriales, ambas materias primas no tienen valor en el mercado por el contrario, se convierten en problemas por su volumen y efecto en otros recursos y en los responsables de su manejo.

Aporte teórico: Al aplicar esta tecnología que está en proceso de implementación en otros países desarrollados donde se ha realizado más investigación sobre la misma implica una ventaja, ya que ayudará a encontrar nuevos conocimientos al aplicarse en nuestra realidad con bacterias que cumplen ciertas características electrogénicas.

Aporte práctico: El presente trabajo permitirá ser una ayuda a la solución de problemas relacionados al acceso a la energía eléctrica con tecnologías amigables y propias

de la naturaleza ya que sirve como una parte de un sistema de energía alternativa acoplado en una Planta de Tratamiento de Aguas residuales. Al mismo tiempo que constituye una tecnología de fácil aplicación; el Perú por ser un país en desarrollo es vulnerable al Cambio Climático, lo cual se agudiza con problemas de contaminación.

Aporte Metodológico: En la presente investigación se diseñó un prototipo específico de celda de combustible microbiano basada en experiencias e investigaciones como aplicación de la bioelectrogénesis, que generó energía eléctrica.

1.6 Hipótesis de Investigación

1.6.1 Hipótesis General

Ha: La técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* genera energía alternativa a la convencional.

Ho: La técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* no genera energía alternativa a la convencional.

1.6.2 Hipótesis Específicas

- Las condiciones de la celda de combustible microbiano influyen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis.
- Las características de la bacteria intervienen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis.

1.7 Objetivos de la Investigación

1.7.1 Objetivo General

Determinar la cantidad de energía alternativa que se genera por la técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones de la celda de combustible microbiano para la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis.
- Evaluar las características de la bacteria para la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la Investigación

- **Enfoque cuantitativo**

La presente investigación es de enfoque cuantitativo ya que según Hernández (2014) usa la recolección de datos para verificar la hipótesis en función de la medición numérica y el análisis estadístico, para probar teorías (p. 5).

- **Nivel explicativo**

El Nivel es explicativo porque busca explicar la generación de electricidad mediante la técnica de bioelectrogénesis utilizando las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*.

La investigación es Longitudinal ya que se busca analizar los cambios de voltaje a través del tiempo durante el proceso de bioelectrogénesis con el funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano inoculado con las cepas de las bacterias mencionadas, y como sustrato se utilizó lodo anaerobio con aguas residuales domésticas provenientes de la misma planta de tratamiento.

Las mediciones se hicieron en forma paralela en las seis celdas en dos fases; la primera fase con cuatro tratamientos y tres repeticiones de 8 días cada una y la segunda fase como proceso con dos mediciones en los cuatro primeros días y cuatro mediciones por día .En ambas fases, el tipo de electrodo del ánodo varió (aluminio o barra de grafito), en cambio las demás condiciones para su funcionamiento fueron constantes como: electrodo del cátodo (grafito), volumen de la celda y del sustrato, tipo de separador, tipo de flujo.

Así mismo, se trabajó con dos grupos de control o testigo con la variación del electrodo, en un grupo de control se utilizó electrodo de grafito y en el otro grupo de control, electrodo de aluminio, todo en el ánodo. En cambio, en el cátodo a diferencia de los grupos experimentales que contenían sulfato de cobre 1M en los grupos de control solo contenía agua destilada.

Por ello el diseño fue experimental, ya que se manipularon variables. En este caso las bacterias que se inocularon a la Celda de Combustible Microbiano que contenía el lodo anaerobio para generar energía alternativa cuyo esquema es:

L---- B ----- E

L: lodo anaerobio

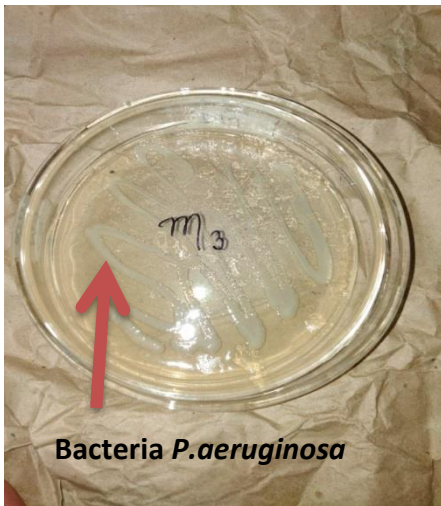
B:Cepa de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* .

E:Medición de la eficiencia energética después de colocar la bacteria mediante voltaje.

La investigación se realizó en las siguientes etapas:

1. Adaptación de las bacterias

Se cultivaron las cepas de las bacterias de las especies *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* utilizando los equipos e instrumentos de la UCV que se requirió, realizando para ello varias siembras a fin de ver si las bacterias se adaptaban al medio de cultivo que se utilizó según la bibliografía. (Ver figura 3-4).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3: *Pseudomonas aeruginosa* en agar Mc Hillton



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: *Aeromonas hydrophila* en agar Mac Conkey

2. Medición de parámetros físico-químicos del lodo

El lodo anaerobio-agua residual se obtuvo de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas CITRAR-UNI (Centro de Investigación en Tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos) previas coordinaciones (ver figura 5-6)



Fuente: elaboración propia
Figura 5: Planta de Tratamiento CITRAR-UNI



Fuente: elaboración propia
Figura 6: Muestra de lodo CITRAR-UNI

Se solicitó dos litros de lodo anaerobio y un litro de agua residual doméstica, de los cuales se utilizó medio litro de lodo anaerobio y agua residual doméstica para la medición de los parámetros físico-químicos, y el resto para las seis celdas.

La medición de los parámetros físico-químicos del lodo y agua residual se realizó en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo al inicio y al término de funcionamiento de la celda de combustible microbiano a fin de conocer cuánto ha sido alterado el sustrato. (Ver figura 7-8)



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Medición de turbidez



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Medición de pH

Tabla 1: *Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 1*

Parámetros	Inicial	Final			
		C1:A.hydrophila -grafito	C3:A.hydrophila -aluminio	C2:P.aeruginosa -grafito	C4:P.aeruginosa -aluminio
pH	7.82	7.80	8.02	7.90	8.09
Temperatura (°C)	20.5	20.6	20.7	20.2	20.8
Conductividad (µS/cm)	0.264	9.600	4.920	5.500	1.820
Turbidez (NTU)	122	100.2	83.1	101.2	85.2
OD (ppm)	7.01	2.15	7.33	9.51	7.25
DQO	347	-	-	-	-

DBO ₅ (mg/l)	179	-	-	-	-
SST (mg/l)	237	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

Tabla 2: *Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 2*

Parámetros	inicial	Final			
		C1:A.hydrophila -grafito	C3:A.hydrophila -aluminio	C2:P.aeruginosa -grafito	C4:P.aeruginosa -aluminio
pH	8.0	8.00	8.06	7.95	8.11
Temperatura (°C)	22.6	22.8	22.9	22.4	22.9
Conductividad (μS/cm)	3.13	13.82	7.83	8.48	3.71
Turbidez (NTU)	77.9	50.1	33.0	61.6	35.4
OD (ppm)	5.12	0.64	5.49	8.24	5.46

Fuente: elaboración propia

Tabla 3: *Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 3*

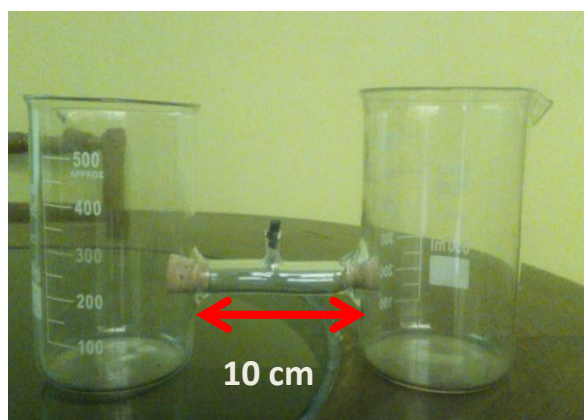
Parámetros	inicial	Final			
		C1:A.hydrophila -grafito	C3:A.hydrophila -aluminio	C2:P.aeruginosa -grafito	C4:P.aeruginosa -aluminio
pH	8.0	8.05	8.04	7.90	8.15
Temperatura (°C)	22.3	22.4	22.7	22.5	22.7
Conductividad (μS/cm)	3.10	13.80	7.80	8.40	3.70
Turbidez (NTU)	77.0	50.0	33.6	61.0	35.1
OD (ppm)	5.19	0.60	5.59	8.34	5.56

Fuente: elaboración propia

3. Construcción de la celda de combustible microbiano

Se mandó construir seis celdas de dos cámaras de vidrio con 500 ml de capacidad de

forma H. Se optó por el material de vidrio y no otro, debido a que éste presenta menor conductividad y asegure la medición eficiente del voltaje que se genere. La distancia entre las celdas fue de 10 cm (ver figura 9)



Fuente: elaboración propia

Figura 9. Celda de Combustible Microbiano tipo H

Observaciones: Para el armado de las celdas se colocó en el cátodo como electrodo al grafito, en el ánodo varió según el tratamiento, entre barra de grafito o lámina de aluminio. También para colocar el agar –agar en la membrana de intercambio protónico se utilizó una jeringa de 100 ml.

Descripción de las celdas

- Descripción de la celda del ánodo

Tabla 4: Composición de la celda anódica

Condición	Tratamiento 1 (C1)	Tratamiento 2 (C2)	Tratamiento 3 (C3)	Tratamiento 4 (C4)	Tratamiento 5 Grupo Control 1 (C5)	Tratamiento 6 Grupo control 2 (C6)
Especie de bacteria	50 ml inóculo <i>Aeromonas hydrophila</i>	50 ml inóculo <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	50 ml inóculo <i>Aeromonas hydrophila</i>	50 ml inóculo <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-
Tipo electrodo ánodo	Barra de grafito (44.37 cm ²)	Barra de grafito (44.37 cm ²)	Lámina de aluminio (36 cm ²)	Lámina de aluminio (36 cm ²)	Barra de grafito (44.37 cm ²)	Lámina de aluminio (36 cm ²)
Tipo de electrodo en el cátodo	Grafito (22 cm ²)					
sustrato	325 ml lodo, 75 ml agua residual doméstica					

Fuente: elaboración propia

- **Descripción de la celda del cátodo**

Tabla 5: *Composición de la celda catódica*

Condición	Tratamiento 1 C1	Tratamiento 2 C2	Tratamiento 3 C3	Tratamiento 4 C4	Grupo control C5	Grupo control C6
Medio líquido	400 ml agua destilada con sulfato de cobre a 1M				400 ml de agua destilada -	
Tipo electrodo	Barra de grafito					

Fuente: elaboración propia

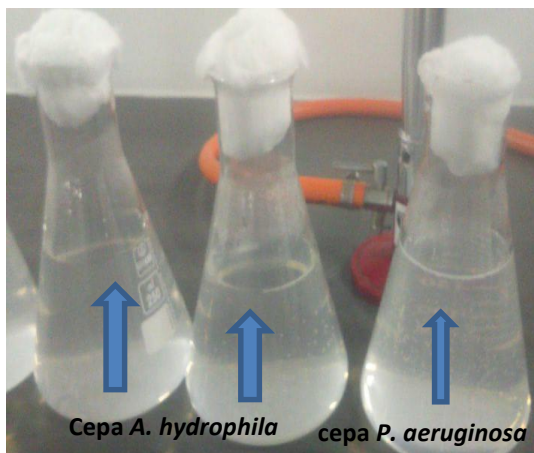
- **Materiales y equipos**

Para la construcción y operación de la celda de combustible microbiano

- Frascos de vidrio de 500 ml
- Barra de grafito, Lamina de aluminio
- Agar agar, sulfato de cobre
- Multímetro
- Multiparámetro
- Peachímetro
- Termómetro
- Cable de cobre # 12

4. Inoculación de las bacterias en la celda de combustible microbiano

Una vez cultivadas y adaptadas las bacterias, se procedió a preparar el inóculo para las dos cepas de bacterias, colocando la siembra de la bacteria en cada matraz de Erlenmeyer de 250 ml con solución salina de cloruro de sodio, luego de 48 horas se colocó en la incubadora a 37°C, el mismo que seguidamente se procedió a inocular en la celda de combustible microbiano. (ver Figura 10-11)



Fuente: elaboración propia

Figura 10. Inóculo de las cepas de las bacterias *A. Hydrophila* y *P. aeruginosa*



Fuente: elaboración propia

Figura 11. Colocación de Lodo anaerobio y agua residual en la CCM

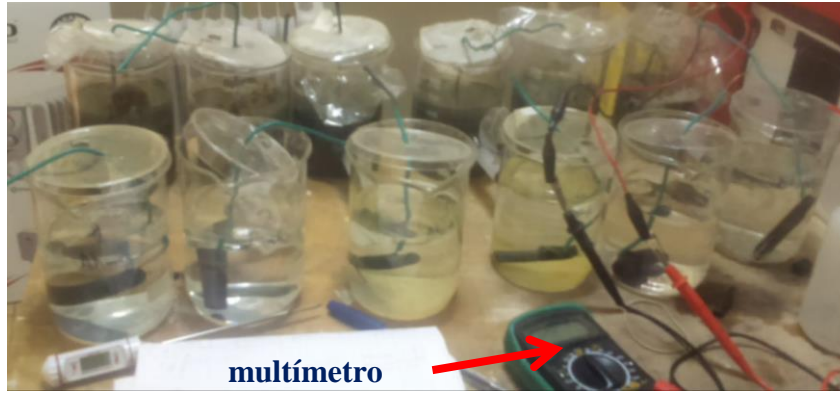
- Materiales y equipos

Para el cultivo de las bacterias

- Cloruro de sodio
- Balanza
- Matraz de Erlenmeyer
- Probeta graduada
- Agua destilada
- Varillas o baguetas de vidrio
- Placas Petri
- Espátula de Drigalsky
- Papel indicador de pH
- Autoclave
- Estufa
- Microscopio

5. Operación de la celda de combustible microbiano y recolección de datos

Se realizó operaciones previas sin la inoculación de las bacterias de estudio, a fin de determinar cuál de los electrodos es el que indicaba mayor voltaje. Para ello, se utilizó como electrodos al: cobre, aluminio y barras de grafito. En cuanto a la membrana de intercambio protónico, luego de probar con solución agar sin electrolito y con electrolito, se optó por la primera. Dichas pruebas se realizaron tomando el tiempo cada minuto en un barrido de diez minutos (ver figura 12)



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Medición de voltaje modificando los electrodos

Tabla 6: Medición de voltaje (V) variando el electrodo en el ánodo, la solución en el cátodo.

Electrodo en el ánodo y grafito en el cátodo	Solución en el cátodo		
	Agar con agua destilada	Agar con electrolito de nitrato de potasio y agua destilada	Agar con electrolito de nitrato de potasio y sulfato de cobre
Grafito	0.105 V	0.088 V	0.110 V
Cobre	0.199 V	-	-
aluminio	0.432 V	-	-

Fuente: Elaboración propia

Luego de ello se determinó utilizar como electrodo en el ánodo de la Celda de Combustible Microbiano, barras de grafito y láminas de aluminio. En cambio, en el cátodo el electrodo barra de grafito y solución de agua destilada con sulfato de cobre 1M. También como membrana de intercambio protónico al agar agar.

Finalmente se armó las celdas para la operación de las mismas que se dividió en dos fases.

- **Fase de inicio:** Esta fase pre experimental se realizó con la finalidad de ver el comportamiento de las condiciones de operación de la celda como pH, temperatura y cantidad de bacterias de las cepas de estudio, así como del voltaje; constó de tres repeticiones o ciclos de 8 días cada una y una medición por día de las mismas a diferencia de la cantidad de bacterias que se realizó en tres momentos al inicio, a los 4 días y al finalizar la repetición. Las celdas funcionaron al mismo tiempo.

- **Fase de proceso:** Una vez finalizada la fase pre experimental se procedió a la fase de proceso, que se inició en las mismas condiciones de la fase de inicio con una duración de 20 días. En esta fase se realizó dos mediciones por día durante los cuatro primeros días y luego cuatro mediciones por día, obteniendo en total 64 mediciones del voltaje; en cambio la temperatura y pH fue uno por día , en total 20 mediciones ; en cambio el conteo de bacterias se hizo al inicio, a los cuatro días, a los ocho días y al finalizar el proceso.

6. Procesamiento y discusión de la información

Una vez obtenido los datos de las dos fases se procedió a procesar, y analizar los datos.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Diseño por bloques completamente al azar: Modelo multifactorial

En la presente investigación se utilizó el diseño en bloques completamente al azar ya que se comparó cuatro tratamientos y dos grupos de control, los cuales influyeron en la variable dependiente que fue el voltaje que se generó en la celda mediante la técnica de la bioelectrogénesis.

Los cuatro tratamientos estuvieron en función de la especie de bacteria y el tipo de electrodo, cuya variable dependiente es la cantidad de voltaje que se produjo por la oxidación del lodo anaerobio, el cual fue realizado por las bacterias inoculadas *P. aeruginosa*, *A. hydrophila* y las que se encuentran en el lodo.

Se realizó en dos fases. La fase de inicio con tres repeticiones por cada tratamiento, obteniendo un total de 12 pruebas, y la fase de proceso.

Tabla 7: Diseño estadístico de las celdas para la fase de inicio

Variable	Tratamientos	N° repeticiones	Variable de respuesta (dependiente)	Total de repeticiones
Especie de Bacteria	<i>Aeromonas hydrophila</i> con electrodo grafito	Repetición 1	Voltaje	12 repeticiones
		Repetición 2		
		Repetición 3		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> con electrodo grafito	Repetición 1		
		Repetición 2		
		Repetición 3		
	<i>Aeromonas hydrophila</i> con electrodo aluminio	Repetición 1		
		Repetición 2		
		Repetición 3		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> con electrodo aluminio	Repetición 1		
		Repetición 2		
		Repetición 3		

Fuente: Elaboración propia

2.2 Variables de Operacionalización

2.2.1 Variable Independiente

Uso de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* por la técnica de la bioelectrogénesis.

2.2.2 Variable Dependiente

Energía alternativa

2.2.3 Matriz de Operacionalización de variables (ver Tabla N° 8)

Tabla 8: Matriz de Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Independiente: Uso de la bacteria <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> por la técnica de la bioelectrogénesis	<p>La bioelectrogénesis es una técnica electroquímica microbiana que consiste en la transformación de energía química a energía eléctrica mediante el metabolismo de organismos vivos. (Alonso, 2017, p. 8) En este caso el uso de las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i></p> <p><i>Pseudomonas aeruginosa</i> Es un bacilo gram negativo aerobio, en su mayoría cuentan con un solo flagelo polar. No crecen en condiciones ácidas (pH menor o igual a 4.5). Poseen metabolismo aerobio estricto con oxígeno como aceptor de electrones, aunque crecen en condiciones anaerobias. En su mayoría la temperatura de crecimiento varía de 30°C a 37°C pero con capacidad de sobrevivir y multiplicarse en diversos ambientes, crecen rápidamente y muestran gran capacidad para metabolizar una gran diversidad de sustratos (Ruiz, 20007, p.43)</p> <p><i>Aeromonas hydrophila</i> Es gram negativo, con flagelos polares, anaerobio facultativo, forma esporas y produce ecotoxinas. Se disemina en aguas dulces y de mar, aguas negras, suelo. Habita en zonas con clima cálido. Puede sobrevivir en medios anaerobios y aerobios. su crecimiento óptimo es a 28°C. (Hayes, 2006, p. 7).</p>	<p>El uso de las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> por la técnica de bioelectrogénesis, se midió a través de las Condiciones de la Celda de Combustible Microbiano (CCM), la misma que está en función al tipo de electrodo (barra de grafito y aluminio), el sustrato (lodo anaerobio-agua residual); así como la temperatura, pH, las cuales fueron medidas durante el experimento. Asimismo, se midió a través de las características de la bacteria en cuanto a la cantidad y especie.</p>	Condiciones de la Celda de Combustible Microbiano (CCM)	Tipo de material del electrodo en el ánodo de la CCM (barra de grafito o aluminio)	-
				Sustrato: lodo anaerobio con agua residual	ml
				Temperatura	°C
				pH	-
			Características de la bacteria	Especie de Bacteria	-
				Cantidad de bacterias	UFC/ml
Dependiente: Energía alternativa	Energía alternativa. Son las técnicas y procedimientos de obtención de energía diferente a las tradicionales, consistente en la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural, etc.) que se asocia con la búsqueda de energías menos contaminantes pero de igual rendimiento. (Mina y Valencia, 2007, p. 9)	La energía alternativa se midió a través de la generación de energía que se registró al medir el voltaje en un tiempo definido.	Generación de energía	Voltaje	V
				Tiempo	Hora

2.3 Población y Muestra

2.3.1 Población

La población estuvo formada por cepas de dos especies de bacterias: *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*.

2.3.2 Muestra

En el desarrollo de la investigación se trabajó con una cantidad de bacterias anaerobias facultativas como son la *Aeromonas hydrophila*. y bacterias aerobias como la *Pseudomonas aeruginosa*. Del cultivo que se realizó de las mismas se tomó 50 ml de dichas cepas bacterianas para la muestra.

2.3.3 Muestreo

El muestreo fue no probabilístico que según Sampieri (2015) selecciona individuos o casos típicos, no toma en cuenta su representatividad estadística de una población y aplicable para diseños que requieren una cuidadosa y controlada elección de casos con determinadas características típicas, especificadas en el planteamiento del problema (p. 189). Por ello se muestreó una cantidad de las dos especies de bacterias que presentaron características anaerobias facultativas o aerobias y que se alimentaban de lodo con capacidad de vivir en medios anaerobios como es la celda del ánodo de condiciones anaerobias.

2.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas que se utilizaron para la recolección de datos fueron:

- Observación

Es una técnica que implica estar atento a los sucesos, eventos e interacciones (Ídem p. 399); ya que se observó el proceso de bioelectrogénesis mediante el funcionamiento de las CCM inoculados con las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* durante las dos fases de la investigación.

2.4.2 Procedimiento para recolección de datos

Se realizó en las siguientes etapas (Tabla N°9)

Tabla 9: *Etapas para la recolección de datos*

Etapa	Fuente	Técnica	Herramienta	Resultados
<i>Construcción de la Celda Microbiana</i>	Documentos y tiendas de venta	Revisión bibliográfica para la adquisición de materiales y ensamblaje de la Celda	Documento elaborado con las indicaciones de su construcción	Celda de combustible microbiano
<i>Análisis del lodo anaerobio</i>	PTAR	Análisis de laboratorio	Cuadro de concentración inicial y final de parámetros físico químicos de lodo	Resultados del análisis de las muestras de 250 ml de lodo.
Cultivo de las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i>	Laboratorio	Experimental	Toma de datos (Instrumento Anexo 1)	Cepa de las bacterias: <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i>
<i>Inoculación en la Celda de Combustible Microbiana</i>	Laboratorio	Experimental	Aplicar procedimiento de laboratorio	Celda inoculada
<i>Toma de datos de voltaje generado y de las condiciones de la CCM.</i>	Ficha de registro	Observación	Ficha de medición de voltaje y condiciones de la CCM respectivamente (anexo 2 y 3).	Voltaje generado

Fuente: elaboración Propia

2.4.3 Instrumentos para la recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron en el desarrollo de la investigación que están en el anexo 2,3 y 4 son:

- **Ficha de recolección de datos del cultivo de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila***

Se registraron el género, especie, medio de cultivo, temperatura de incubación, pH, cantidad de bacterias y observaciones.

- **Ficha de recolección de datos para medir las condiciones de operación**

Se registró la temperatura, pH y Observaciones de cada celda.

- **Ficha de toma de datos para medir el voltaje en la celda de combustible microbiano según la especie y grupo control**

Se registró la medición del voltaje diariamente cada 24 horas en cada celda de combustible de microbiano para la fase de inicio y cada 6 horas en la fase de proceso.

2.4.4 Validez y Confiabilidad de instrumentos

Según Herrera citado por Marroquin (2010) la validez es el grado en que un instrumento mide la variable que debe medir. Dentro de ellas existen tres: la de contenido, constructo y criterio. La validez de contenido, es el grado con que un instrumento refleja un dominio específico de contenido de lo que mide. Por ello, en la presente investigación se realizó la validez de contenido de tres instrumentos mediante juicio de expertos; estos instrumentos se muestran en anexos y que se indica a continuación:

1. Ficha de recolección de datos para el Cultivo de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa*.
2. Ficha de recolección de datos según las condiciones de la Celda de Combustible Microbiano.
3. Ficha de medición de voltaje de la *A. hydrophila*
4. Ficha de medición de voltaje de la *P. aeruginosa*
5. Ficha de medición de voltaje de las dos celdas de grupo control

Los especialistas estuvo conformado por profesionales relacionados al tema y al aspecto metodológico del Trabajo de Investigación (un especialista ambiental, un químico y biólogo), los cuales determinaron en promedio un 91.7% de valoración de la validez de los instrumentos.

Tabla 10: *Datos generales de especialistas*

DATOS GENERALES DE LOS ESPECIALISTAS		CARGO	% de valoración
Dr. Valverde Flores, Jhonny	Especialista Ambiental	Docente - UCV	95 %
Quim. Quintana Paetan, Alexander	Químico	Docente – UCV	95%
Biól. Iziga Goicochea, Roger	Biólogo	Docente – UCV	85%
			91.7%

Fuente: elaboración propia

La confiabilidad se define como la probabilidad de éxito dentro de un sistema, el cual depende de la confiabilidad o éxito de sus distintos componentes (Niebel y Freivalds, 2009). La confiabilidad se mide en forma directa a través de la consistencia interna, que estima la correlación que se da entre los ítems del instrumento. En la presente investigación se midió con el alfa de Cronbach (ver Tabla N° 11), mostrando valores superiores a 0.90, que indica una alta correlación entre los ítems, es decir, miden una misma característica .

Tabla N°11. *Estadística de fiabilidad de los instrumentos*

Ficha	Alfa de Cronbach	N° de elementos
Ficha de recolección según condiciones	0.997	10
Ficha de recolección de cultivo de bacterias	0.997	10
Ficha de recolección de medición del voltaje de las celdas inoculadas con las bacterias según electrodo y su grupo control	0.997	10

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPP Versión 24 (2018)

Por lo tanto, los instrumentos presentaron validez y confiabilidad, ya que existió relación con las variables presentadas y los criterios para su calificación permitiendo establecer que cumplieron con la claridad, objetividad, actualidad, intencionalidad, consistencia, coherencia, metodología y pertinencia.

2.5 Método de análisis de datos

El método de análisis utilizado es el estadístico descriptivo e inferencial por ser una investigación experimental e inferencial causal, debido a que no es necesario que la hipótesis se acepte porque a través de la experimentación probablemente se rechace. Por ello, se utilizó el estadístico Excel para la estadística descriptiva y el SPSS para procesar los datos de estadística inferencial. A fin de ver si dos tratamientos son similares o no, se relacionaron las medias y varianzas usando ANOVA ya que según Sampieri Op. Cit. (p.314) sostiene que esta prueba estadística analiza, si más de dos grupos difieren significativamente entre sí.

2.6 Aspectos éticos

Las fuentes y referencias mencionadas en la presente Investigación fueron debidamente registradas. Así mismo, las mediciones que se realizaron se hicieron con equipos calibrados y certificados por INACAL y los equipos existentes en los laboratorios de la Universidad César Vallejo. Por ello, la investigadora respetó los resultados que obtuvo en las etapas del proceso de experimentación de la presente investigación. Así mismo la presente investigación se sometió al software Turnitin para determinar el porcentaje de similitud.

III. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados tanto de la fase de inicio como la fase de proceso que es el desarrollo experimental obtenido, en lo referente a la medición del voltaje de las seis celdas, la medición de las condiciones de las celdas: pH y Temperatura del ánodo, cátodo y finalmente el conteo de las bacterias en el tiempo. Obteniéndose los siguientes resultados.

3.1 Análisis de resultados procesados con Excel

3.1.1 Condiciones de la Celda

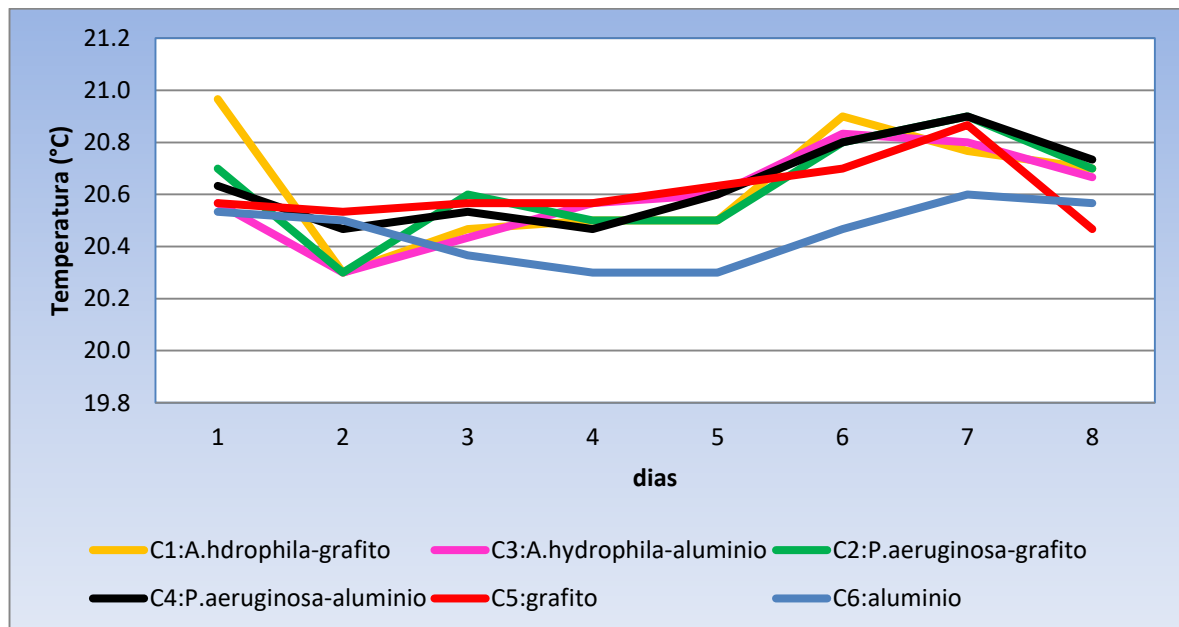
3.1.1.1 Fase de Inicio

- **Temperatura en el ánodo de las Celdas de tratamiento y grupo control**

Tabla 12: *Temperatura promedio de las repeticiones de los tratamientos con su control vs Tiempo.*

Repetición	Tiempo días	Tiempo HORAS	Bacteria A. hydrophila				Bacteria P. aeruginosa				grupos control sin bacteria			
			grafito(C1)		aluminio(C3)		grafito(C2)		aluminio(C4)		grafito(C5)		aluminio(C6)	
			ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO
promedio	1	24	21.0	20.6	20.6	20.6	20.7	20.5	20.6	20.5	20.6	20.5	20.5	20.7
de repet.	2	48	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.5	20.3	20.5	20.3	20.5	20.4
por	3	72	20.5	20.5	20.4	20.5	20.6	20.4	20.5	20.3	20.6	20.6	20.4	20.5
dia	4	96	20.5	20.6	20.6	20.5	20.5	20.2	20.5	20.4	20.6	20.4	20.3	20.5
	5	120	20.5	20.5	20.6	20.6	20.5	20.4	20.6	20.6	20.6	20.5	20.3	20.2
	6	144	20.9	20.5	20.8	20.8	20.8	20.6	20.8	20.8	20.7	20.7	20.5	20.6
	7	168	20.8	20.7	20.8	20.7	20.9	20.8	20.9	20.8	20.9	20.8	20.6	20.7
	8	192	20.7	20.7	20.7	20.8	20.7	20.8	20.7	20.8	20.5	20.7	20.6	20.7

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 13. Comportamiento de la temperatura promedio de los cuatro tratamientos y su grupo control en el ánodo vs tiempo

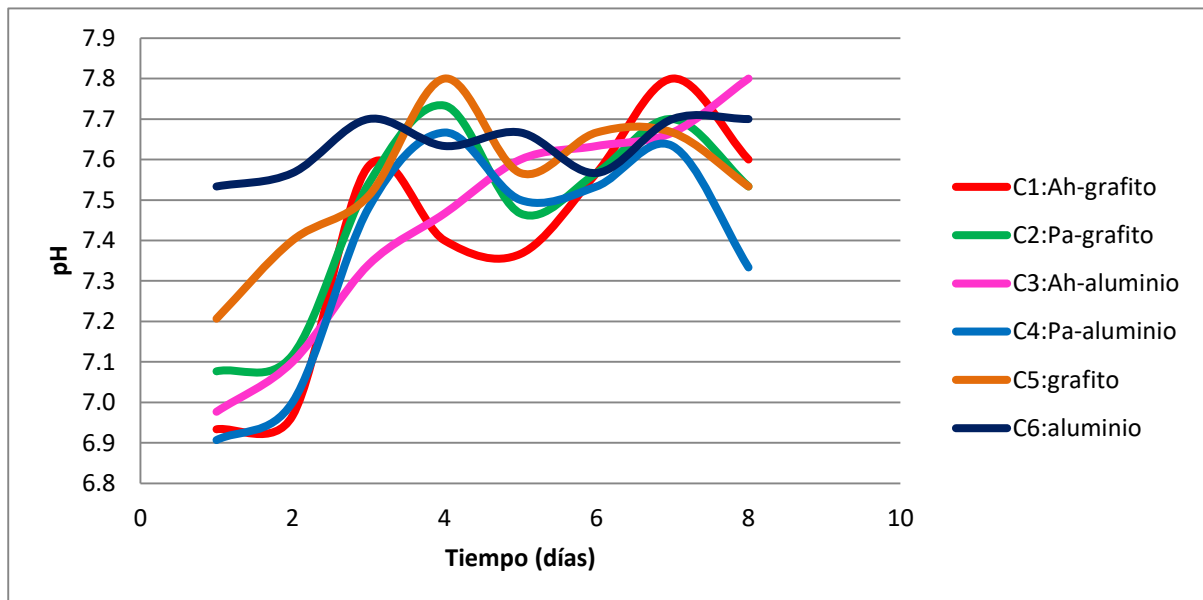
En la **figura 13**, la temperatura de las celdas en el ánodo muestra un comportamiento semejante a partir del segundo día. Así mismo, en las cuatro celdas donde se inoculó las cepas de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* la temperatura decreció en el primer día para luego mostrar un comportamiento similar mientras se acondicionaba la bacteria. Además, la celda 6: control- aluminio muestra la menor temperatura a diferencia de las otras celdas .

- **pH del ánodo de las Celdas de Tratamiento y grupo de control**

Tabla 13: pH promedio de las tres repeticiones de los cuatro tratamientos con su control vs tiempo

Repeticiones	Tiempo días	Bacteria <i>A. hydrophila</i>				Bacteria <i>P. aeruginosa</i>				grupos control sin bacteria			
		grafito(C1)		aluminio(C3)		grafito(C2)		aluminio(C4)		grafito(C5)		aluminio(C6)	
		ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO
promedio	1	6.9	5.8	7.0	5.8	7.1	5.7	6.9	5.7	7.2	7.0	7.5	6.9
de repet.	2	7.0	5.3	7.1	5.2	7.1	5.0	7.0	5.2	7.4	6.4	7.6	6.7
por	3	7.6	5.7	7.3	5.6	7.5	5.8	7.5	5.9	7.5	6.4	7.7	6.5
día	4	7.4	5.2	7.5	5.4	7.7	5.2	7.7	5.2	7.8	6.4	7.6	6.5
	5	7.4	5.2	7.6	5.4	7.5	5.3	7.5	5.2	7.6	6.5	7.7	6.6
	6	7.6	5.1	7.6	5.1	7.6	5.2	7.5	5.2	7.7	6.4	7.6	6.5
	7	7.8	5.0	7.7	5.2	7.7	5.2	7.6	5.1	7.7	6.5	7.7	6.5
	8	7.6	5.2	7.8	5.2	7.5	5.3	7.3	5.2	7.5	6.3	7.7	6.5

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 14. Comportamiento del pH promedio de los tratamientos y su control en el ánodo

En la figura 14, el pH en el ánodo de las cuatro celdas donde fueron inoculadas las bacterias varía entre 6.9 a 7.8. Pero, en los dos primeros días se mantuvo constante

para las celdas C1, C2 a diferencia de las otras, luego se incrementó al igual que las otras. Asimismo, el pH en la celda 3: *A.hydrophila*-aluminio muestra una tendencia a incrementarse en el tiempo.

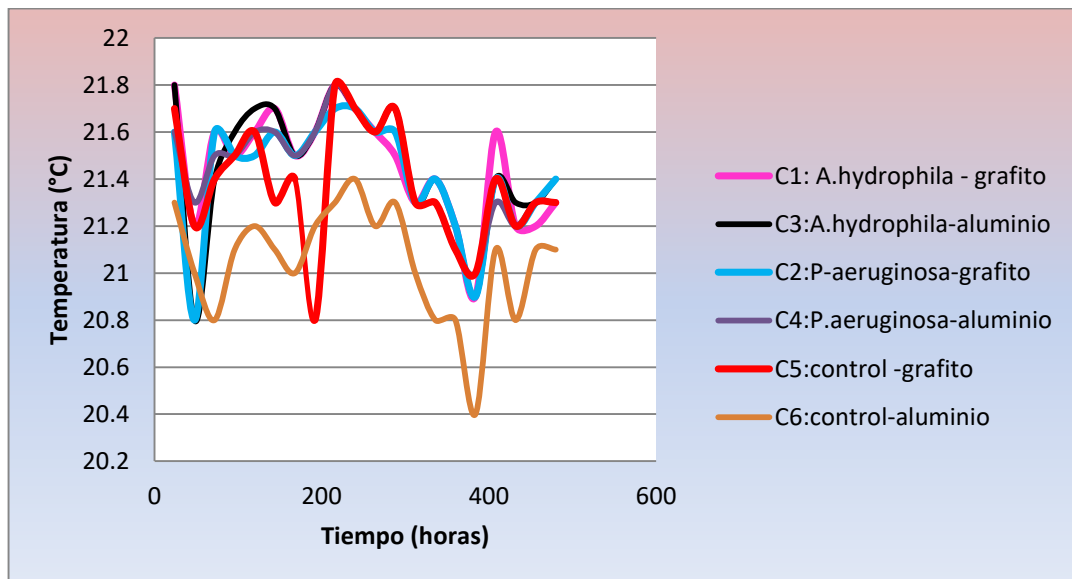
3.1.1.2 Fase de Proceso

- **Temperatura en el ánodo de las Celdas de tratamiento y grupo control**

Tabla 14: Comportamiento de la Temperatura de los tratamientos con su control vs Tiempo

Tiempo (días)	Horas	Bacteria <i>A.hydrophila</i>				Bacteria <i>P. aeruginosa</i>				grupos control sin bacteria			
		grafito(C1)		aluminio(C3)		grafito(C2)		aluminio(C4)		grafito(C5)		aluminio(C6)	
		anodo	catodo	anodo	catodo	anodo	catodo	anodo	catodo	anodo	catodo	anodo	catodo
1	24	21.8	21.8	21.8	21.7	21.6	21.5	21.6	21.7	21.7	21.7	21.3	21.6
2	48	21.2	21.0	20.8	20.8	20.8	20.8	21.3	21.0	21.2	20.9	21.0	21.0
3	72	21.6	21.5	21.4	21.5	21.6	21.2	21.5	21.2	21.4	21.5	20.8	21.4
4	96	21.5	21.6	21.6	21.6	21.5	21.2	21.5	21.4	21.5	21.2	21.1	21.3
5	120	21.6	21.5	21.7	21.6	21.5	21.3	21.6	21.6	21.6	21.3	21.2	21.6
6	144	21.7	21.3	21.7	21.7	21.6	21.3	21.6	21.6	21.3	21.6	21.1	21.5
7	168	21.5	21.2	21.5	21.3	21.5	21.3	21.5	21.5	21.4	21.4	21.0	21.5
8	192	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	20.8	21.6	21.2	21.6
9	216	21.8	21.8	21.8	21.7	21.7	21.8	21.8	21.7	21.8	21.8	21.3	21.6
10	240	21.7	21.7	21.7	21.2	21.7	21.7	21.7	21.6	21.7	21.6	21.4	21.6
11	264	21.6	21.7	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.5	21.6	21.6	21.2	21.5
12	288	21.5	21.5	21.7	21.6	21.6	21.7	21.7	21.5	21.7	21.6	21.3	21.5
13	312	21.3	21.1	21.3	21.2	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.0	21.3
14	336	21.4	21.3	21.4	21.3	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.4	20.8	21.2
15	360	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.1	21.2	21.1	21.2	20.8	21.1
16	384	20.9	20.8	20.9	20.9	20.9	20.8	21.0	21.0	21.0	20.9	20.4	20.9
17	408	21.6	21.6	21.4	21.6	21.4	21.5	21.3	21.5	21.4	21.5	21.1	21.5
18	432	21.2	21.2	21.3	21.2	21.2	21.3	21.2	21.2	21.2	21.2	20.8	21.0
19	456	21.2	21.3	21.3	21.2	21.3	21.3	21.3	21.2	21.3	21.2	21.1	21.2
20	480	21.3	21.3	21.4	21.2	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.2	21.1	21.1

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Comportamiento de la temperatura de los cuatro tratamientos y su control en el ánodo vs tiempo.

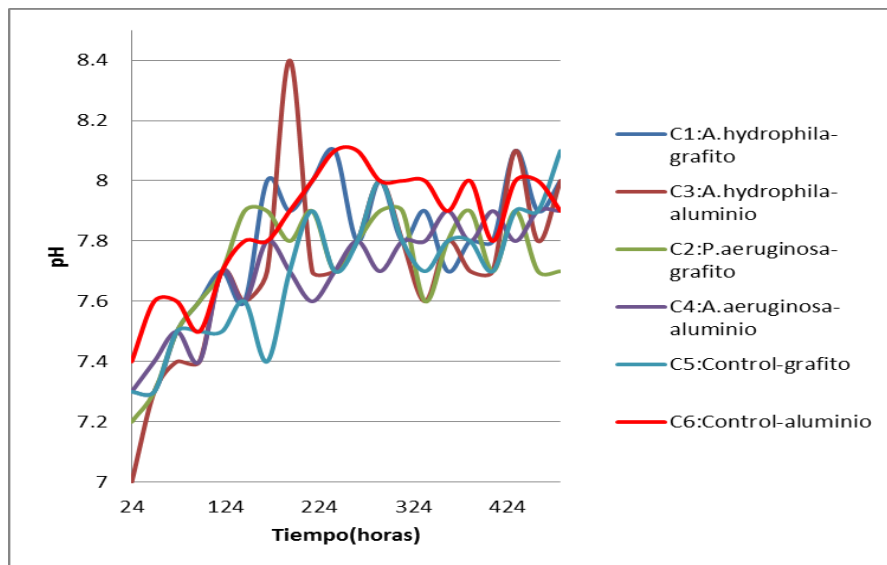
En la **figura 15**, la temperatura varía entre 20.4 a 21.8, presentando la C6 control-aluminio con más baja temperatura con respecto a las otras celdas. Todas las celdas disminuyen la temperatura bruscamente a las 400 horas. Así mismo, la temperatura es variable en el tiempo y entre las 200 horas a 400 horas tiende a disminuir para las celdas de tratamiento a diferencia de las celdas de control cuyo comportamiento es irregular en ese lapso de tiempo.

- **pH del ánodo de las Celdas de Tratamiento y grupo de control**

Tabla 15: pH de los cuatro tratamientos con su grupo control vs tiempo

Tiempo días	Horas	Bacteria A. hydrophila		Bacteria P. aeruginosa		grupos control sin bacteria	
		grafito(C1)	aluminio(C3)	grafito(C2)	aluminio(C4)	grafito(C5)	aluminio(C6)
		ANODO	ANODO	ANODO	ANODO	ANODO	ANODO
1	24	7.3	7.0	7.2	7.3	7.3	7.4
2	48	7.3	7.3	7.3	7.4	7.3	7.6
3	72	7.5	7.4	7.5	7.5	7.5	7.6
4	96	7.6	7.4	7.6	7.4	7.5	7.5
5	120	7.7	7.7	7.7	7.7	7.5	7.7
6	144	7.6	7.6	7.9	7.6	7.6	7.8
7	168	8.0	7.7	7.9	7.8	7.4	7.8
8	192	7.9	8.4	7.8	7.7	7.7	7.9
9	216	8.0	7.7	7.9	7.6	7.9	8.0
10	240	8.1	7.7	7.7	7.7	7.7	8.1
11	264	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	8.1
12	288	8.0	8	7.9	7.7	8.0	8.0
13	312	7.8	7.8	7.9	7.8	7.8	8.0
14	336	7.9	7.6	7.6	7.8	7.7	8.0
15	360	7.7	7.8	7.8	7.9	7.8	7.9
16	384	7.8	7.7	7.9	7.8	7.8	8.0
17	408	7.8	7.7	7.7	7.9	7.7	7.8
18	432	8.1	8.1	7.9	7.8	7.9	8.0
19	456	7.9	7.8	7.7	7.9	7.9	8.0
20	480	8.0	8.0	7.7	7.9	8.1	7.9

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Comportamiento del pH de los cuatro tratamientos y su control en el ánodo vs Tiempo.

Según la **figura 16**, el comportamiento del pH en el ánodo de las celdas de tratamiento y sus respectivas celdas control durante el proceso, es muy similar y casi constante pero la celda C3: *A.hydrophila*-aluminio muestra fluctuaciones de subida y bajada de pH entre 124 -224 horas.

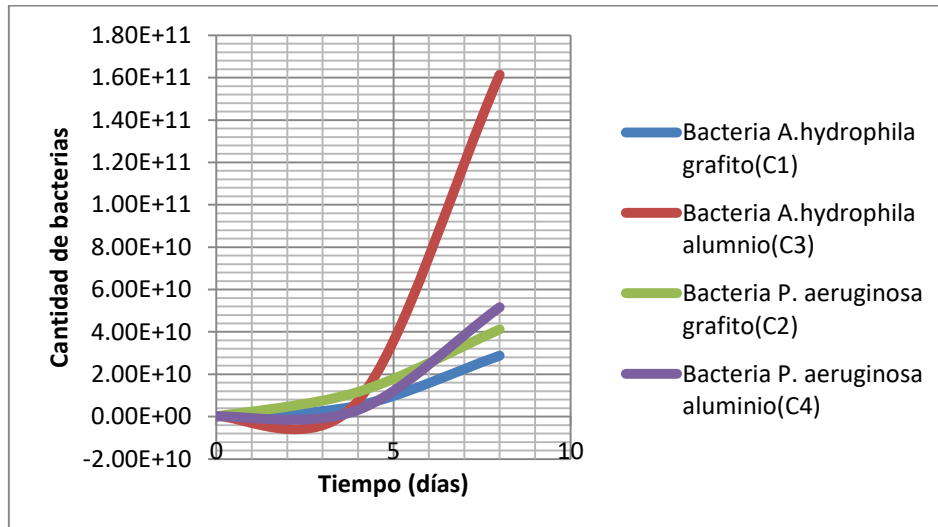
3.1.2 Características de la bacteria

3.1.2.1 Fase de Inicio

Tabla 16: Comportamiento de la cantidad promedio de bacterias vs tiempo

Repeticiones	Tiempo días	Bacteria <i>A.hydrophila</i>		Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	
		grafito(C1)	aluminio(C3)	grafito(C2)	aluminio(C4)
R1-R2-R3	0	1.39E+08	1.77E+08	1.39E+08	1.77E+08
	4	5.17E+09	7.43E+09	1.17E+10	3.14E+09
	8	2.88E+10	1.61E+11	4.12E+10	5.16E+10

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 17. Comportamiento del crecimiento promedio de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa*

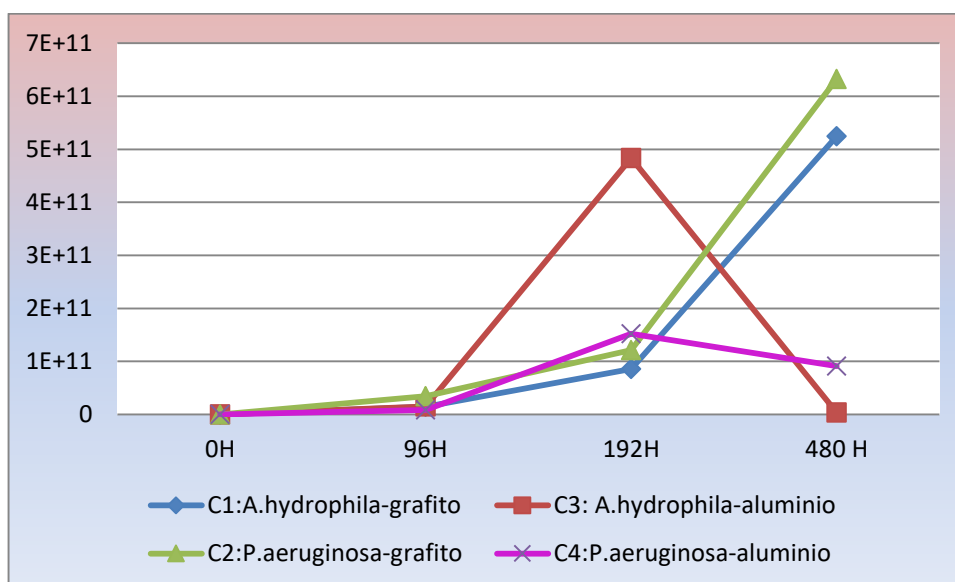
El crecimiento de las bacterias es exponencial y de comportamiento similar, a diferencia de la bacteria *A. hydrophila* con electrodo aluminio, cuyo crecimiento a partir del día 4. es mayor con respecto a las tres celdas con tratamientos.

3.1.2.2 Fase de Proceso

Tabla 17: Comportamiento del crecimiento de las bacterias *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* vs tiempo

Tiempo días	Tiempo HORAS	Bacteria <i>A.hydrophila</i>		Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	
		grafito(C1)	aluminio(C3)	grafito(C2)	aluminio(C4)
0	0H	0.019	0.019	0.019	0.019
4	96H	1.444E+10	1.52E+10	3.42E+10	8.55E+09
8	192H	8.588E+10	4.8336E+11	1.216E+11	1.52E+11
20	480 H	5.244E+11	3.61E+09	6.3232E+11	9.12E+10

Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 18. Comportamiento del crecimiento de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa*

En la **figura 18**, el comportamiento del crecimiento de bacterias es con tendencia al incremento para la C1:*A.hydrophila* –grafito y C2:*P. aeruginosa*-grafito en cambio las celdas C3: *A. hydrophila*-aluminio y C4: *P.aeruginosa*-aluminio muestran un comportamiento variable, así a las 192 horas sufren una disminución brusca principalmente la C3. *P.aeruginosa* –aluminio.

3.1.3 Generación de energía a partir de la bacteria *A. hydrophila* y *P. aeruginosa*

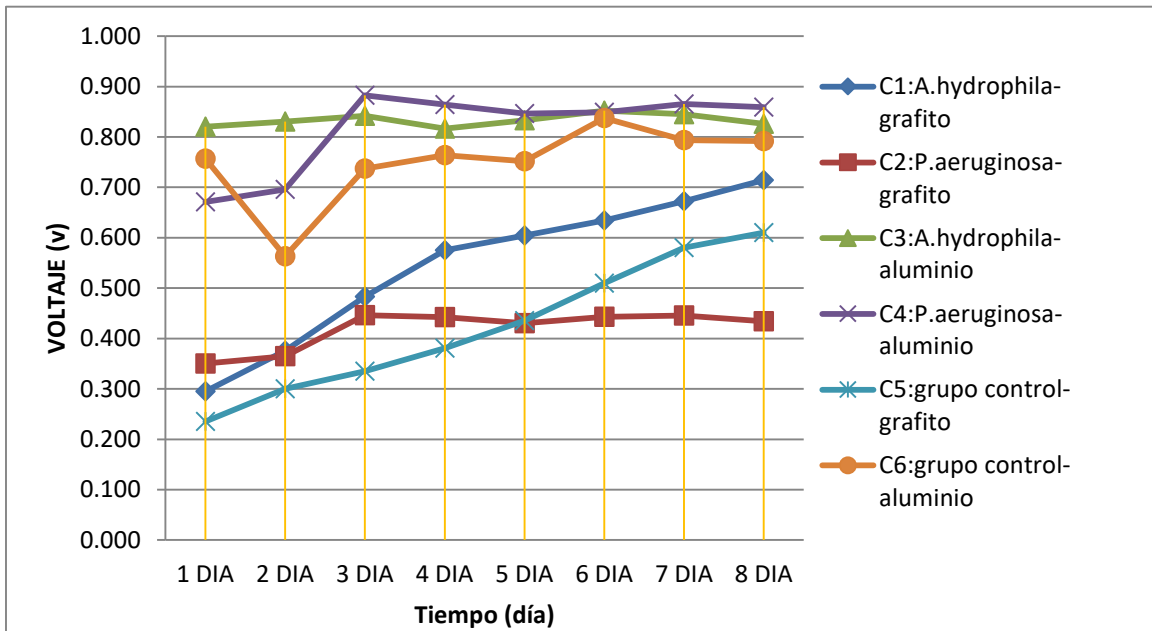
3.1.3.1 Fase de inicio

- Voltaje obtenido a partir de los tratamientos y grupos de control

Tabla 18: Comportamiento de voltaje promedio de los cuatro tratamientos y su grupo control

Repeticiones	Tiempo días	Bacteria A.hydrophila		Bacteria P. aeruginosa		grupos control sin bacteria	
		grafito(C1)	aluminio(C3)	grafito(C2)	aluminio(C4)	grafito(C5)	aluminio(C6)
R1-R3	1	0.295	0.820	0.350	0.671	0.235	0.757
	2	0.376	0.831	0.365	0.696	0.300	0.563
	3	0.483	0.842	0.446	0.883	0.335	0.737
	4	0.575	0.816	0.443	0.864	0.380	0.764
	5	0.604	0.833	0.430	0.846	0.435	0.752
	6	0.634	0.852	0.443	0.849	0.510	0.838
	7	0.672	0.845	0.445	0.866	0.580	0.794
	8	0.714	0.826	0.434	0.859	0.610	0.792

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 19. Comportamiento del voltaje promedio vs el tiempo de los cuatro Tratamientos y dos grupos de control

La figura 19 muestra que el menor voltaje promedio inicial fue de 0.235 V en la C5:control-grafito y el máximo voltaje promedio inicial en C3:A.hydrophila con 0.820 V. Así mismo, el máximo voltaje promedio final se dio en la C4: *P.aeruginosa*-aluminio con 0.859 V y con un mínimo voltaje promedio final se mostró en la C2:*P.aeruginosa*-grafito con 0.434 V.

Por otro lado, la celda C1 y el grupo de control grafito (C5) muestran un crecimiento exponencial. El comportamiento del voltaje promedio generado es más variable en el grupo de control aluminio. En cambio, en la celda 2 y celda 3 muestran un

comportamiento más estable. Del mismo modo la celda 4 tiende a estabilizarse pero a partir del día 3.

Finalmente, en la celda 2 y grupo de control grafito obtienen un voltaje muy semejante de 0.430 V y 0.435 V respectivamente en el día 5. Lo mismo ocurre con la celda 3 y celda 4 en el día 6 cuyos valores son 0.852 V y 0.849 V para cada uno.

En la celda 1 con respecto a la celda 3 muestra un menor voltaje pero un crecimiento exponencial a diferencia del segundo, que es más estable, ambos contienen la cepa de bacteria *Aeromonas hydrophila* en el ánodo pero con diferente electrodo grafito vs aluminio. Ambos crecen pero en diferente intensidad hasta el día 7 donde la celda 1 tiende a disminuir.

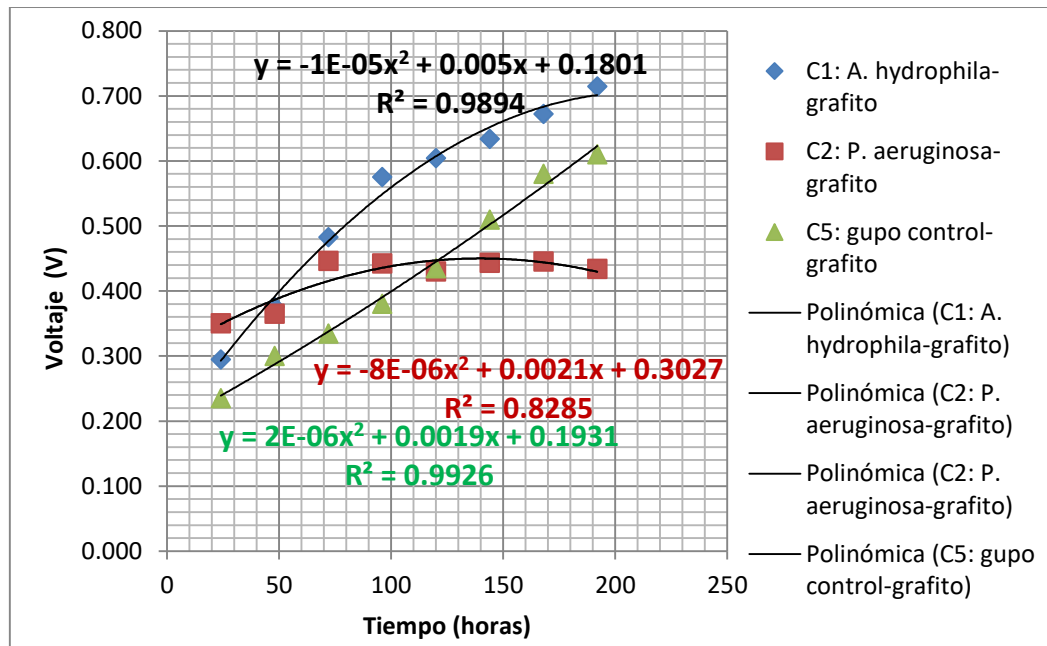
En general, según especie la *A. hydrophila* genera mayor voltaje (ver Tabla 18) ya que su voltaje varía entre 0.295 - 0.714 y 0.820 - 0.852 voltios en cambio la *P. aeruginosa* es menor con voltajes de 0.350- 0.445 y 0.671-0.864 voltios. Así mismo, según electrodo es el aluminio quien genera mayor voltaje.

- **Voltaje generado por la *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* según electrodo: grafito**

Tabla 19: Voltaje según electrodo grafito de C1:*A. hydrophila* , C2:*P. aeruginosa* y su grupo de control C5

TIEMPO	HORAS	C1: <i>A.hydrophila</i>	C2: <i>P.aeruginosa</i>	C5:Grupo control
1	24	0.295	0.350	0.235
2	48	0.376	0.365	0.300
3	72	0.483	0.446	0.335
4	96	0.575	0.443	0.380
5	120	0.604	0.430	0.435
6	144	0.634	0.443	0.510
7	168	0.672	0.445	0.580
8	192	0.714	0.434	0.610

Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Comportamiento de la generación de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* y su grupo control en el tiempo según el electrodo grafito.

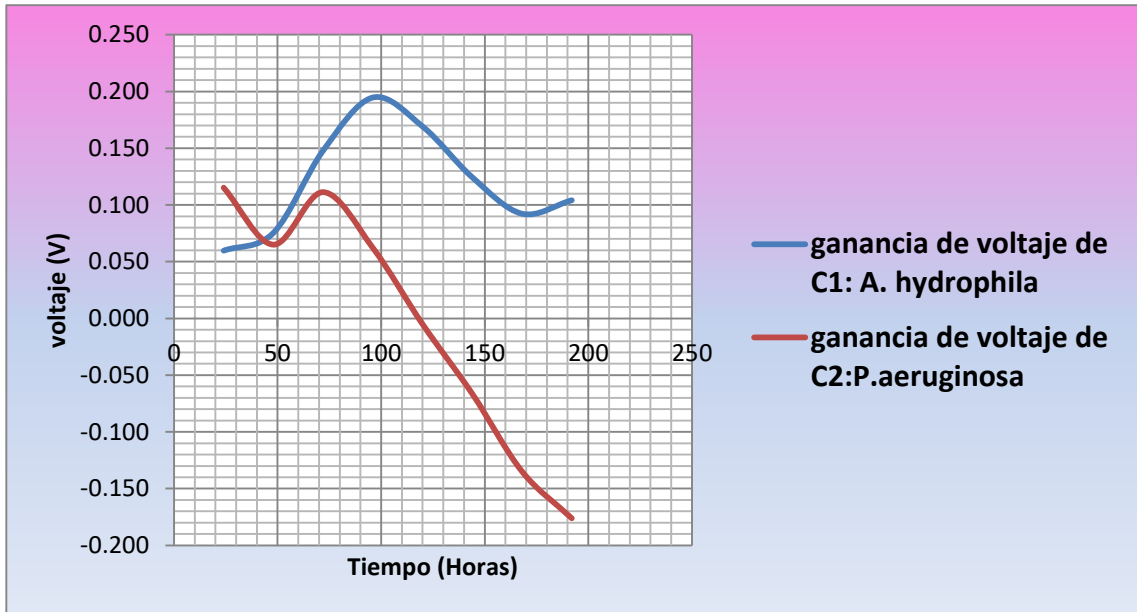
Se puede notar que a las 45 horas la celda con la bacteria *A. hydrophila* superó en energía generada a la celda con la bacteria *P. aeruginosa*. Además, fue la que mayor voltaje generó en el tiempo. También, a las 120 horas la celda con la bacteria *P. aeruginosa* fue superada en energía por la celda control.

- **Ganancia de Voltaje según electrodo: grafito**

Tabla 20: Ganancia de voltaje según electrodo grafito con respecto a su grupo control de C1:*A. hydrophila* y C2:*P. aeruginosa*

TIEMPO	HORAS	C1: <i>A. hydrophila</i> (V)	C2: <i>P.aeruginosa</i> (V)
1	24	0.060	0.115
2	48	0.075	0.065
3	72	0.148	0.111
4	96	0.195	0.062
5	120	0.169	-0.005
6	144	0.124	-0.066
7	168	0.092	-0.135

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Ganancia de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* según electrodo grafito con respecto a su grupo control vs tiempo.

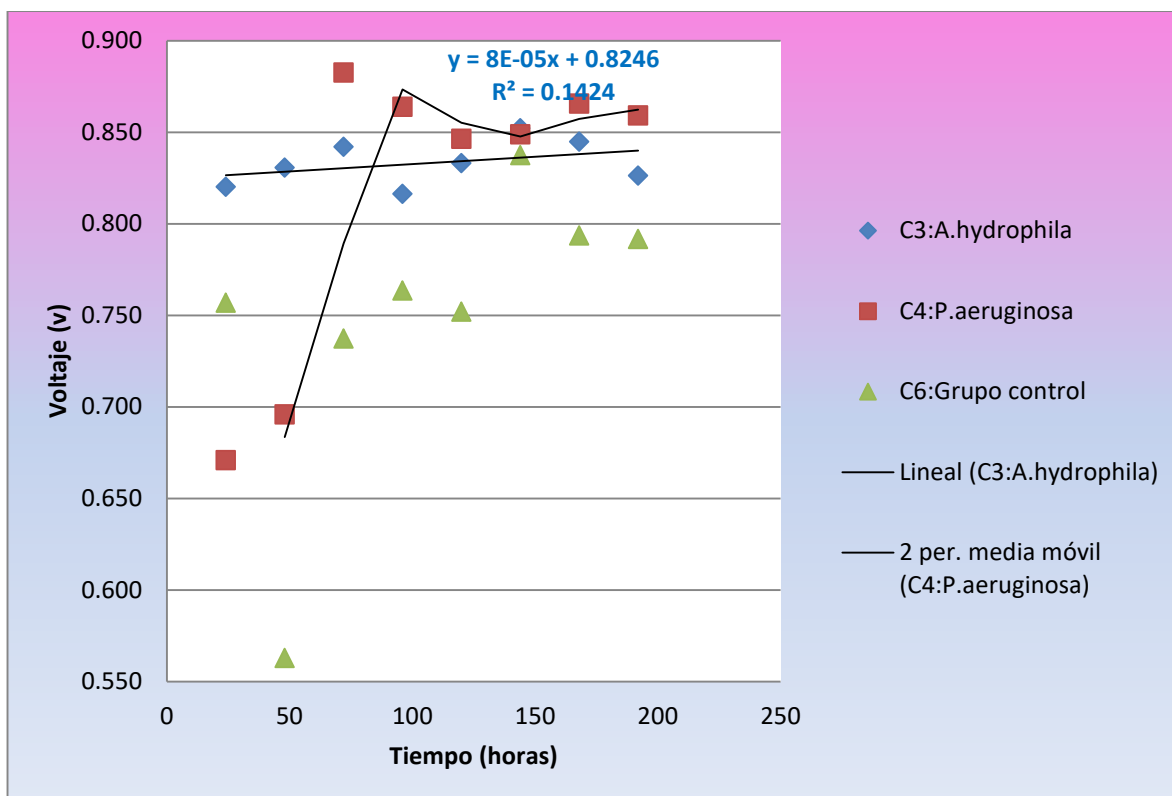
En la **figura 21**, se muestra la ganancia de voltaje de ambas bacterias donde la C1:*A. hydrophila* muestra mayor generación de voltaje en el tiempo en comparación a la C2: *P. aeruginosa*, y esta última tiende a sufrir una pérdida de voltaje a partir de las 120 horas; en cambio, la *A. hydrophila* pese a sufrir una disminución de voltaje entre las 90-170 horas luego tiende a incrementarse, mas no sufre pérdida de voltaje con respecto a la celda control.

- **Voltaje generado por la *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* según electrodo: aluminio**

Tabla 21: Voltaje según electrodo Aluminio de C1:*A. hydrophila* y C2:*P. aeruginosa* y su grupo de control C6

TIEMPO	HORAS	C3: <i>A. hydrophila</i>	C4: <i>P. aeruginosa</i>	C6:Grupo control
1	24	0.820	0.671	0.757
2	48	0.831	0.696	0.563
3	72	0.842	0.883	0.737
4	96	0.816	0.864	0.764
5	120	0.833	0.846	0.752
6	144	0.852	0.849	0.838
7	168	0.845	0.866	0.794
8	192	0.826	0.859	0.792

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 22. Voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* y su grupo control C6, según electrodo vs tiempo

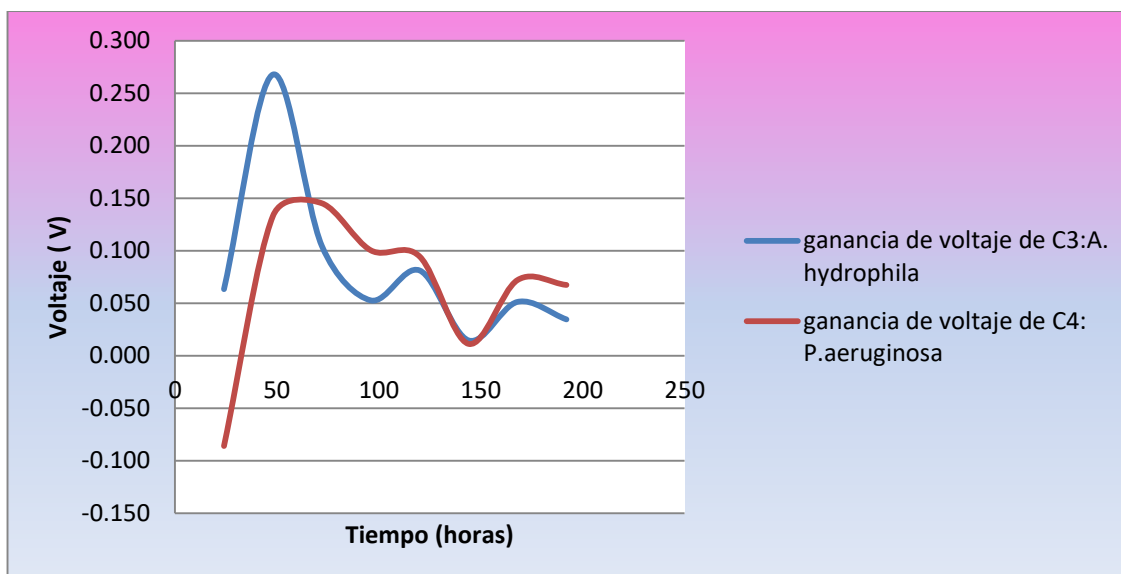
En la **figura 22**, la *P. aeruginosa* muestra una mayor generación de voltaje que la *A. hydrophila* pero, esta es pequeña. Así mismo, la generación de voltaje en el tiempo del grupo control es muy variable en cambio la *A. hydrophila* presenta una generación de voltaje más regular y constante. También, a las 150 horas las tres celdas generan el mismo voltaje.

- **Ganancia de Voltaje según electrodo: aluminio**

Tabla 22: Ganancia de voltaje según electrodo Aluminio con respecto a su grupo control de C3:A. hydrophila y C4:P. aeruginosa

TIEMPO	HORAS	C3: A. hydrophila ganancia de voltaje (V)	C4: P.aeruginosa ganancia de voltaje (V)
1	24	0.063	-0.086
2	48	0.268	0.133
3	72	0.105	0.145
4	96	0.053	0.100
5	120	0.081	0.094
6	144	0.015	0.011
7	168	0.051	0.072
8	192	0.035	0.067

Fuente: elaboración propia



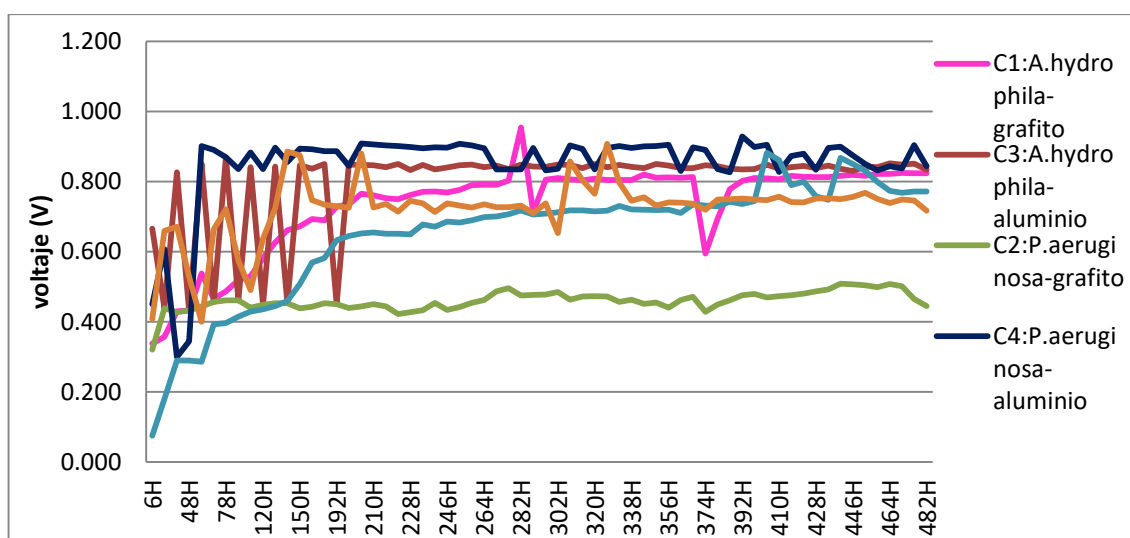
Fuente: elaboración propia

Figura 23. Ganancia de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* según electrodo aluminio con respecto a su grupo control vs tiempo.

Según la figura 23, la *A. hydrophila* muestra un mayor voltaje hasta las 70 horas que la *P. aeruginosa*, luego es superada por esta última, y entre las 120 - 168 horas la ganancia de voltaje de ambas bacterias es muy similar. Estas bacterias muestran un comportamiento semejante de generación de voltaje, pues se incrementa en las primeras 50 horas luego tiende a disminuir con variadas fluctuaciones.

3.1.3.2 Fase de proceso

- Voltaje obtenido a partir de los tratamientos y grupos de control



Fuente: elaboración propia

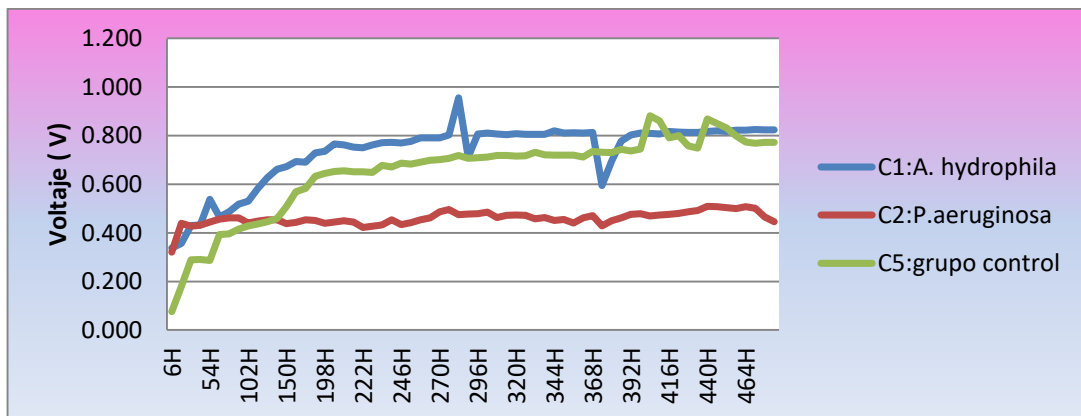
Figura 24. Comportamiento de la generación de voltaje de las cuatro celdas y los dos grupos control vs tiempo.

De acuerdo a la figura 24, la C4: *A. aeruginosa*-aluminio muestra mayor generación de voltaje y es regular en el tiempo, le sigue la celda C3:*A. hydrophila*-aluminio, aunque en las primeras 192 h se muestra muy variable.

El menor voltaje generado fue de la celda C2:*P.aeruginosa*-grafito pero este voltaje generado es más regular, en relación a las otras celdas.

En general, en esta fase según especie la *A. hydrophila* genera mayor voltaje (ver Anexo 8) ya que su voltaje promedio es 0.732 y 0.797 voltios en cambio la *P. aeruginosa* 0.460 y 0.849 voltios. Así mismo, según electrodo es el aluminio quien genera mayor voltaje.

- **Voltaje generado por la *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* según electrodo: grafito**

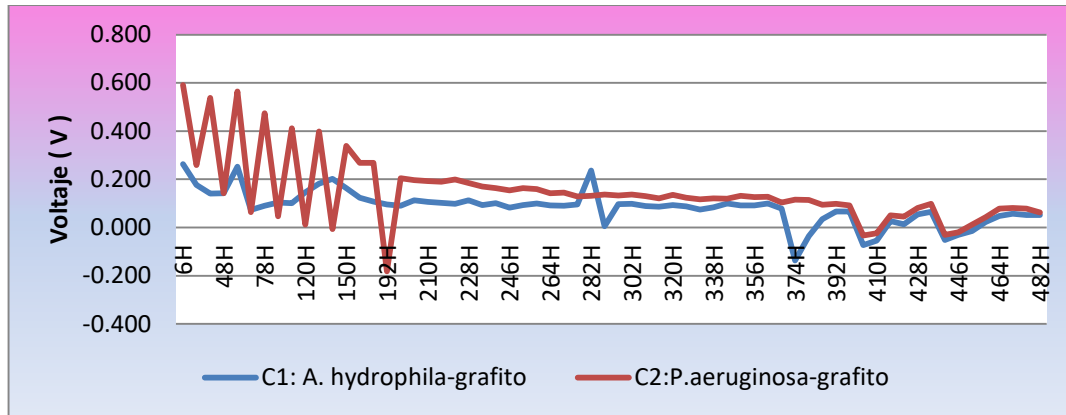


Fuente: elaboración propia

Figura 25. Comportamiento de la generación de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* y su grupo control vs tiempo según el electrodo grafito.

En la **figura 25**, en las celdas con electrodo grafito la celda C1: *A. hydrophila*-grafito genera mayor voltaje en relación a la *P. aeruginosa* y la celda C5: grupo control. A su vez, la *P. aeruginosa* genera menor voltaje con respecto a las otras dos pero es más regular.

- **Ganancia de Voltaje de la *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* según electrodo: grafito**

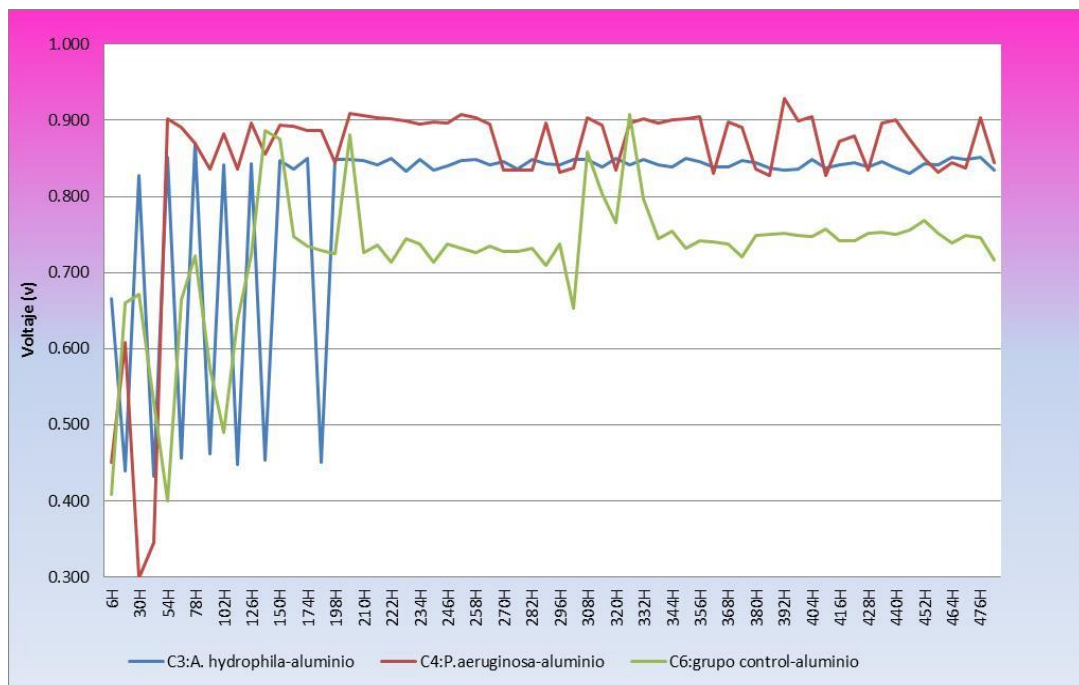


Fuente: elaboración propia

Figura 26. Ganancia de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* según electrodo grafito con respecto a su grupo control vs tiempo.

La celda C2:*P.aeruginosa*-grafito muestra una mayor ganancia de voltaje en las primeras 48 horas. Así mismo, entre las 302-356 y 392-482 horas tiene un voltaje muy próximo al de C1:*A.hydrophila*-grafito, pero esta última muestra una ganancia de voltaje más regular que la primera. También, ambas celdas muestran ganancia de voltaje con tendencia marcada a disminuir en el tiempo.

- **Voltaje generado por la *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* según electrodo aluminio**

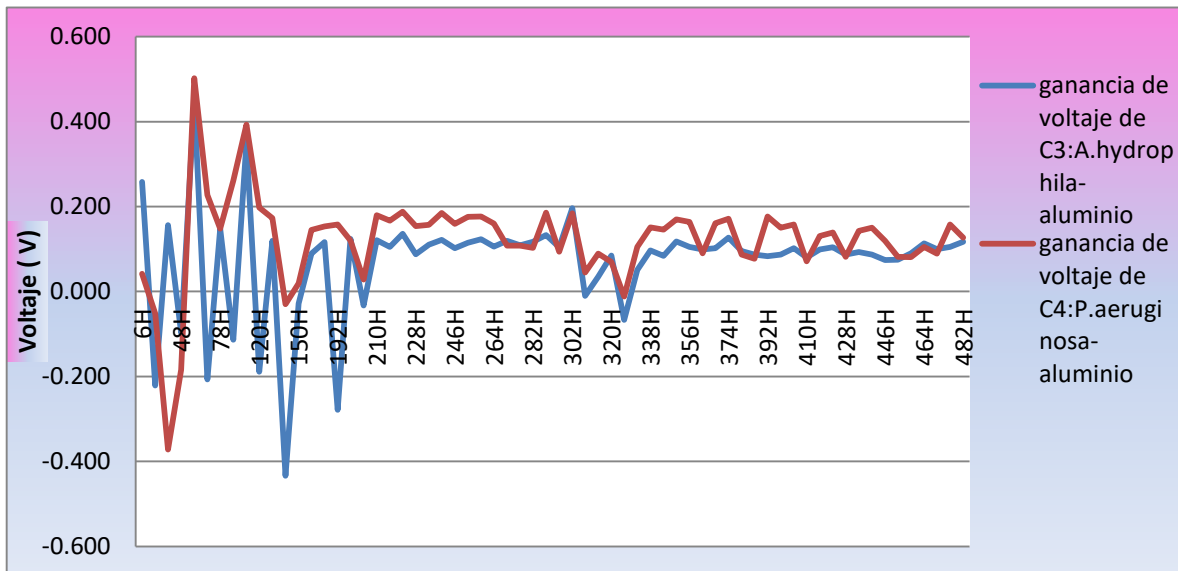


Fuente: elaboración propia

Figura 27. Comportamiento de la generación de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* y su grupo control vs tiempo según electrodo aluminio

Se observa que la celda C4:*P. aeruginosa*-aluminio presenta mayor voltaje con respecto a las otras dos, pero es más inestable a diferencia de la C3:*A. hydrophila*-aluminio que se muestra más estable a partir de las 198 horas. Así mismo, las dos celdas y su control muestran voltaje inestable en las primeras 198 horas.

- **Ganancia de Voltaje por la *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* según electrodo aluminio**



Fuente: elaboración propia

Figura 28. Ganancia de voltaje de las bacterias *A. hydrophila* y *P. aeruginosa* según electrodo aluminio con respecto a su grupo control vs tiempo

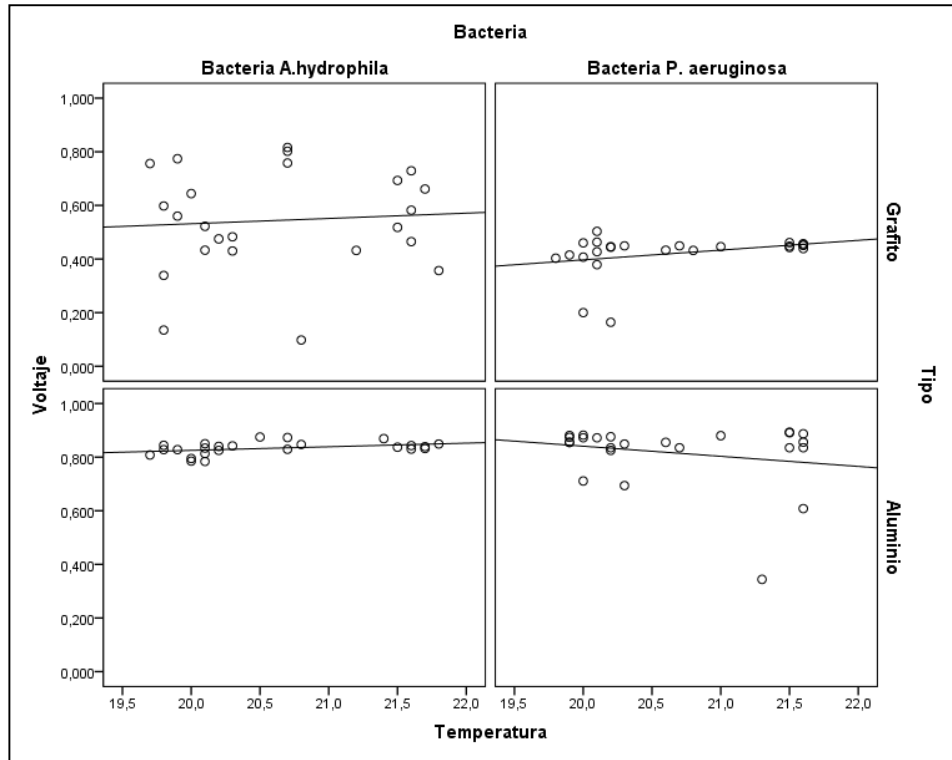
En la **figura 28**, la celda C4:*P. aeruginosa* –aluminio muestra una mayor ganancia de voltaje que la *A. hydrophila* a partir de las 48 horas. Pero, ambas sufren altas pérdidas de voltaje, la primera en las primeras 48 horas y la segunda en las primeras 210 horas. Así mismo, la ganancia de voltaje de ambas especies tiende a estabilizarse a partir de las 210 horas salvo entre las 300 a 320 horas donde se vuelve irregular.

3.2 Contrastación de hipótesis por medio de la estadística inferencial

3.2.1 Prueba de Coeficiente de regresión de las Condiciones de la Celda vs generación de energía

3.2.1.1 Fase de Inicio

- **Temperatura de las celdas y generación de energía (voltaje)**



Fuente: elaboración propia

Figura 29. Diagramas de dispersión de temperatura y generación de energía (voltaje).

En la **figura 29** se observa la relación entre la temperatura y la generación de energía (voltaje) diferenciados por especie de bacteria y tipo de material. Se evidencia que el grupo aluminio/bacteria *A. hydrophila* presenta puntos muestrales más próximos a la recta de ajuste lineal. En cambio, el grupo grafito/bacteria *A. hydrophila* presenta mayor variación de puntos con respecto a la recta lineal.

Tabla 23: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.

Tipo	Bacteria		Coeficientes no estandarizados			Anova	
			B	t	Sig.	F	Sig.
Grafito	Bacteria A.hydrophila	(Constante)	.136	.118	.907	.125	.727
		Temperatura	.020	.354	.727		
	Bacteria P. aeruginosa	(Constante)	-.332	-.693	.495		
		Temperatura	.036	1.570	.131		
Aluminio	Bacteria A.hydrophila	(Constante)	.557	4.213	.000	4.384	.048*
		Temperatura	.013	2.094	.048		
	Bacteria P. aeruginosa	(Constante)	1.596	2.100	.047		
		Temperatura	-.038	-1.026	.316		

* significativa al nivel de 5%.

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 23** se realizó el ajuste lineal mediante el análisis de regresión lineal simple, considerando como variable independiente la temperatura y la variable dependiente es la generación de energía (voltaje).

El único modelo significativo es para el grupo Aluminio/bacteria *A. hydrophila* donde el estadístico F es 4.384 con una probabilidad de p-valor= 0.048 < 0.05.

En la tabla 24 se observa la ecuación para este modelo significativo.

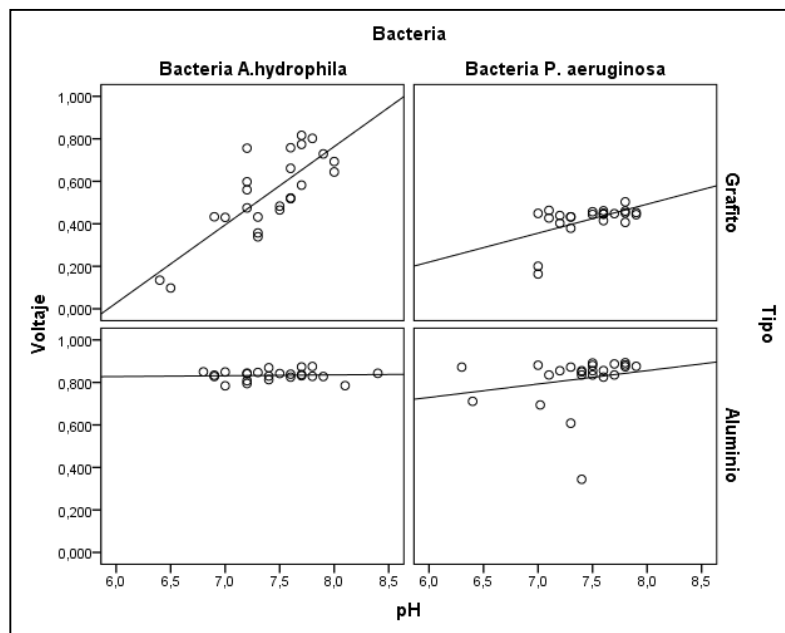
Tabla 24: Ecuación de los modelos significativos de Temperatura vs generación de energía

Aluminio y Bacteria <i>A. hydrophila</i>	
$\hat{y} = 0.557 + 0.013 X$	
Donde:	
•	Y: generación de energía (voltaje)
•	X: temperatura

Fuente: elaboración propia

La pendiente del modelo indica que, cuando la temperatura se incrementa en un grado centígrado, se estima que la generación de energía incrementa en 0.013.

- **pH de las celdas y generación de energía (voltaje)**



Fuente: elaboración propia

Figura 30. Diagramas de dispersión de pH y generación de energía (voltaje).

En la **figura 30** se observa la relación entre pH de las celdas y la generación de energía (voltaje) diferenciados por especie de bacteria y tipo de material. Se evidencia que los grupos grafito/bacteria *A. hydrophila* y grafito/bacteria *P. aeruginosa* presentan puntos muestrales más próximos a la recta de ajuste lineal. En cambio, los puntos en los otros dos grupos presentan mayor variación con respecto al ajuste lineal.

Tabla 25: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.

Tipo	Bacteria		Coeficientes no estandarizados			Anova	
			B	t	Sig.	F	Sig.
Grafito	Bacteria	(Constante)	-2.182	-4.836	.000	36.618	.000*
	<i>A. hydrophila</i>	pH	.368	6.051	.000		
	Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	(Constante)	-.597	-1.741	.096	8.802	.007*
		pH	.136	2.967	.007		
Aluminio	Bacteria	(Constante)	.804	8.533	.000	.099	.756
	<i>A. hydrophila</i>	pH	.004	.315	.756		
	Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	(Constante)	.351	.745	.464	.984	.332
		pH	.063	.992	.332		

* significativa al nivel de 1%.

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 25** se realizó el ajuste lineal mediante el análisis de regresión lineal simple, considerando como variable independiente el pH de las celdas y la variable dependiente es la generación de energía (voltaje).

Los únicos modelos significativos son para los grupos grafito/*A. hydrophila* (F= 36.618; p-valor= 0.000<0.01) y grafito/bacteria *P. aeruginosa* (F= 8.802; p-valor= 0.007<0.01).

En la tabla 26 se observa las ecuaciones para los dos modelos significativos:

Tabla 26: Ecuación de los modelos significativos de pH vs generación de energía

Grafito y Bacteria <i>A. hydrophila</i>	Grafito y Bacteria <i>P. aeruginosa</i>
$\hat{y} = -2.182 + 0.368 X$	$\hat{y} = -0.597 + 0.136 X$
Donde:	Donde:
<ul style="list-style-type: none"> • Y: generación de energía (voltaje) • X: pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Y: generación de energía (voltaje) • X: pH

Fuente: elaboración propia

La pendiente del modelo $\hat{y} = -2.182 + 0.368 X$; indica que, cuando el valor de pH de las celdas se incrementa en uno, se estima que la generación de energía incrementa en 0.368.

La pendiente del modelo $\hat{y} = -0.597 + 0.136 X$; indica que, cuando el valor de pH de las celdas se incrementa en uno, se estima que la generación de energía incrementa en 0.136.

3.2.1.2 Fase de Proceso

- **Temperatura de las celdas y generación de energía (voltaje)**

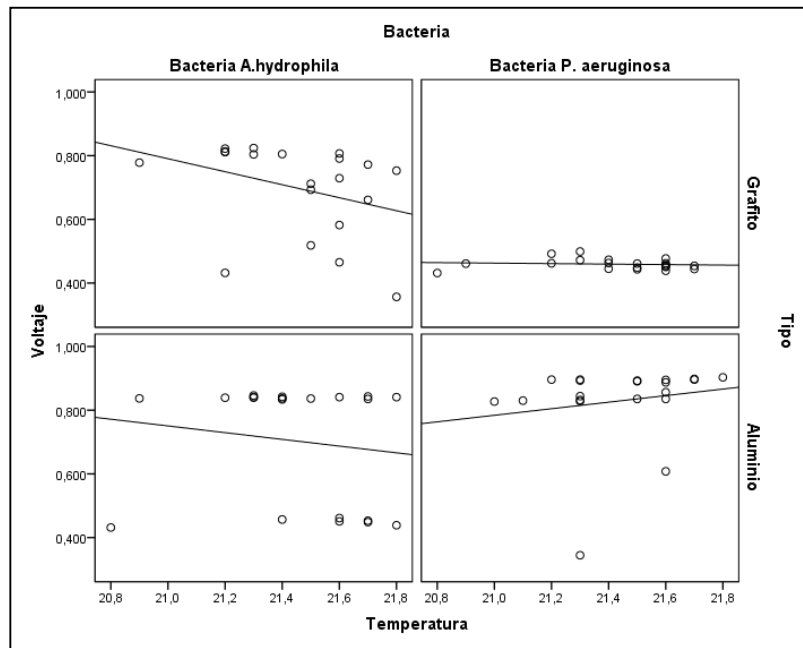


Figura 31. Diagramas de dispersión de temperatura y generación de energía (voltaje) de fase proceso

En la **figura 31** se observa la relación entre la temperatura y la generación de energía (voltaje) diferenciados por especie de bacteria y tipo de material. Se evidencia que, en los cuatro grupos, los puntos tienen gran variación respecto al ajuste lineal.

Tabla 27: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.

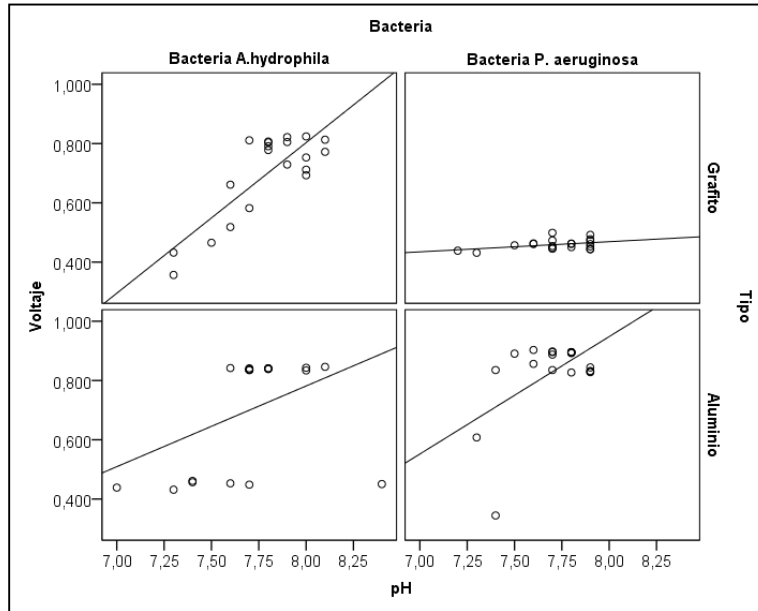
Tipo	Bacteria		Coeficientes no estandarizados			Anova	
			B	t	Sig.	F	Sig.
Grafito	Bacteria	(Constante)	5.076	1.746	.098	2.268	.149
	<i>A. hydrophila</i>	Temperatura	-.204	-1.506	.149		
	Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	(Constante)	.624	1.798	.089		
		Temperatura	-.008	-.473	.642		
Aluminio	Bacteria	(Constante)	2.966	.851	.406	.422	.524
	<i>A. hydrophila</i>	Temperatura	-.106	-.649	.524		
	Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	(Constante)	-1.376	-.454	.655		
		Temperatura	.103	.728	.476		

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 27** se realizó el ajuste lineal mediante el análisis de regresión lineal simple, considerando como variable independiente la temperatura y la variable dependiente es la generación de energía (voltaje).

No se encontró ningún modelo significativo en los grupos (p -valor >0.05), es decir, la temperatura no influye significativamente en la generación de energía.

- **pH de las celdas y generación de energía (voltaje)**



Fuente: elaboración propia

Figura 32. Diagramas de dispersión de pH y generación de energía (voltaje) fase proceso.

En la **figura 32** se observa la relación entre el pH de las celdas y la generación de energía (voltaje) diferenciados por especie de bacteria y tipo de material. Se evidencia que en los grupos grafito/bacteria *A. hydrophila* y aluminio/bacteria *P. aeruginosa* presentan puntos muestrales más próximos a la recta de ajuste lineal. En cambio, los otros grupos presentan mayor variación de puntos con respecto al ajuste lineal.

Tabla 28: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.

Tipo	Bacteria	Coeficientes no estandarizados	Anova			
			B	t	Sig.	F
Grafito	Bacteria (Constante)	-3.262	-5.032	.000	37.328	.000**
	A. hydrophila pH	.508	6.110	.000		
	Bacteria P. aeruginosa (Constante)	.195	1.388	.182		
	pH	.034	1.882	.076		
Aluminio	Bacteria (Constante)	-1.397	-1.336	.198	4.037	.060
	A. hydrophila pH	.272	2.009	.060		
	Bacteria P. aeruginosa (Constante)	-2.222	-2.005	.060		
	pH	.396	2.755	.013*		

** significativa al nivel de 1%.

* significativa al nivel de 5%.

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 28** se realizó el ajuste lineal mediante el análisis de regresión lineal simple, considerando como variable independiente el pH de las celdas y la variable dependiente es la generación de energía (voltaje).

Los únicos modelos significativos son para los grupos grafito/*A.hydrophila* (F= 37.328; p-valor= 0.000<0.01) y aluminio/bacteria *P. aeruginosa* (F= 7.589; p-valor= 0.013<0.01).

En la tabla 29 se observa las ecuaciones para los dos modelos significativos:

Tabla 29: Ecuación de los modelos significativos

Grafito y Bacteria <i>A. hydrophila</i>	Aluminio y Bacteria <i>P. aeruginosa</i>
$\hat{y} = -3.262 + 0.508 X$	$\hat{y} = -2.222 + 0.396 X$
Donde:	Donde:
<ul style="list-style-type: none"> • Y: generación de energía (voltaje) • X: pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Y: generación de energía (voltaje) • X: pH

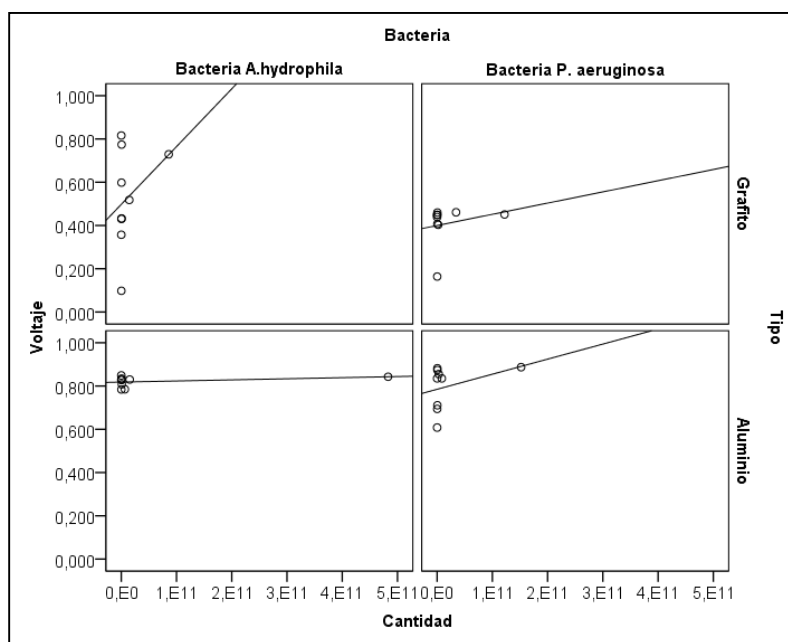
Fuente: elaboración propia

La pendiente del modelo $\hat{y} = -3.262 + 0.508 X$; indica que, cuando el valor de pH de las celdas se incrementa en uno, se estima que la generación de energía incrementa en 0.508.

La pendiente del modelo $\hat{y} = -2.222 + 0.396 X$; indica que, cuando el valor de pH de las celdas se incrementa en uno, se estima que la generación de energía incrementa en 0.396.

3.2.2 Pruebas de Coeficiente de regresión de las Característica de la bacteria vs generación de energía

3.2.2.1 Fase de Inicio



Fuente: elaboración propia

Figura 33. Diagramas de dispersión de la cantidad de bacterias y generación de energía (voltaje).

En la **figura 33** se observa la relación entre la cantidad de bacterias y la generación de energía (voltaje) diferenciados por especie de bacteria y tipo de material. Se evidencia que en todos los grupos los puntos muestrales tienen alta variación con respecto al ajuste lineal o están concentrados en un solo punto.

Tabla 30: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.

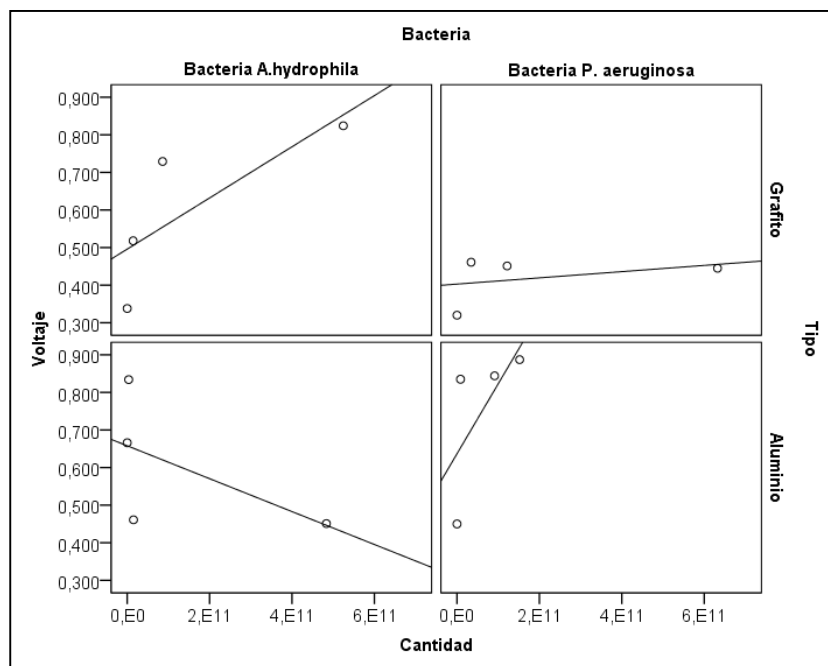
Tipo	Bacteria		Coeficientes no estandarizados			Anova	
			B	t	Sig.	F	Sig.
Grafito	Bacteria A. <i>hydrophila</i>	(Constante)	.498	5.931	.001	.853	,386
		Cantidad	2.670E-12	.924	.386		
	Bacteria P. <i>aeruginosa</i>	(Constante)	.400	11.080	.000	.367	,564
		Cantidad	5.177E-13	.606	.564		
Aluminio	Bacteria A. <i>hydrophila</i>	(Constante)	.818	97.061	.000	.952	,362
		Cantidad	5.106E-14	.976	.362		
	Bacteria P. <i>aeruginosa</i>	(Constante)	.785	21.745	.000	.959	,360
		Cantidad	6.965E-13	.979	.360		

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 30** se realizó el ajuste lineal mediante el análisis de regresión lineal simple, considerando como variable independiente la cantidad de bacterias y la variable dependiente es la generación de energía (voltaje).

No se encontró ningún modelo significativo en los grupos (p -valor >0.05), es decir, la cantidad de bacterias no influye significativamente en la generación de energía.

3.2.2.2 Fase de Proceso



Fuente: elaboración propia

Figura 34. Diagramas de dispersión de la cantidad de bacterias y generación de energía (voltaje).

En la **figura 34** se observa la relación entre la cantidad de bacterias y la generación de energía (voltaje) diferenciados por especie de bacteria y tipo de material. Se evidencia que en todos los grupos los puntos muestrales tienen alta variación con respecto al ajuste lineal.

Tabla 31: Resultados de coeficientes de regresión y validación de modelos lineales.

Tipo	Bacteria		Coeficientes no estandarizados			Anova	
			B	t	Sig.	F	Sig.
Grafito	Bacteria A.	(Constante)	.496	4.778	.041	3.040	,223
	<i>hydrophila</i>	Cantidad	6.808E-13	1.744	.223		
	Bacteria P.	(Constante)	.403	8.420	.014	.311	,633
	<i>aeruginosa</i>	Cantidad	8.281E-14	.558	.633		
Aluminio	Bacteria A.	(Constante)	.658	6.106	.026	.965	,429
	<i>hydrophila</i>	Cantidad	-4.378E-13	-.982	.429		
	Bacteria P.	(Constante)	.637	4.779	.041	1.535	,341
	<i>aeruginosa</i>	Cantidad	1.860E-12	1.239	.341		

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 31** se realizó el ajuste lineal mediante el análisis de regresión lineal simple, considerando como variable independiente la cantidad de bacterias y la variable dependiente es la generación de energía (voltaje).

No se encontró ningún modelo significativo en los grupos (p -valor >0.05), es decir, la cantidad de bacterias no influye significativamente en la generación de energía.

3.2.3 Pruebas de normalidad para generación de energía (voltaje) por las Bacterias *A. hydrophila* y *P.aeruginosa* vs tiempo

3.2.3.1 Fase de inicio

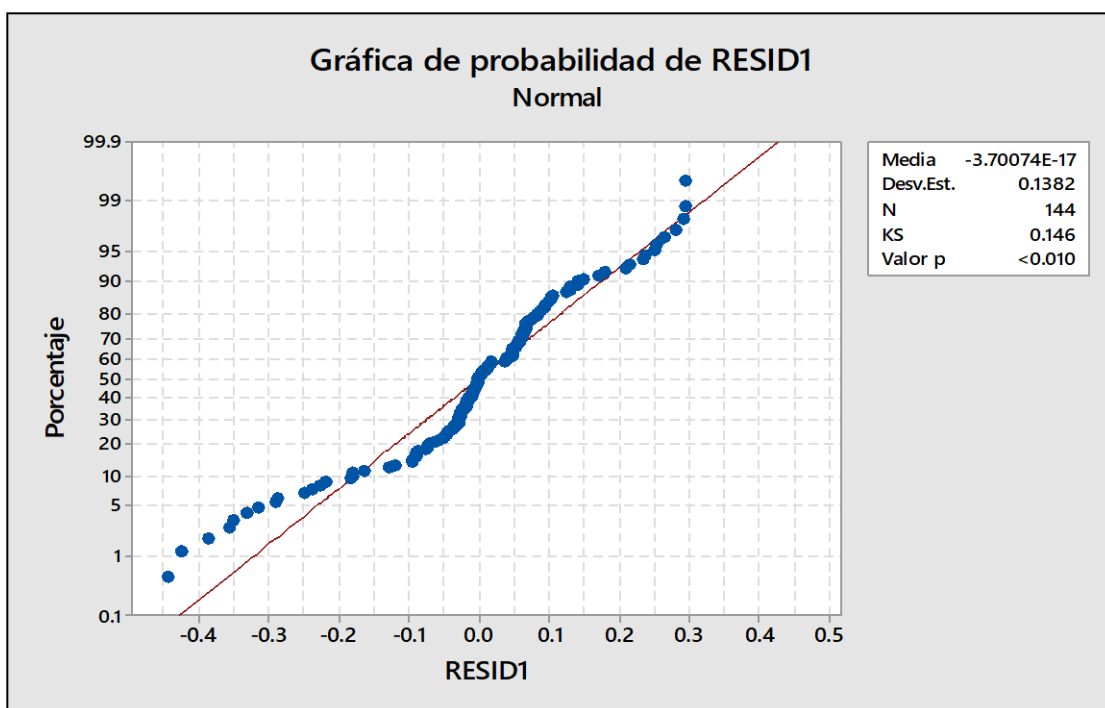
Los resultados para el objetivo general se lograron con la aplicación de pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney. Estos estadísticos se decidieron en base a la comprobación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, inicialmente planteados para el análisis de diseño de bloques al azar con un factor, donde:

- Factor: Especie de bacteria (*Bacteria A. hydrophila*/ *Bacteria P. aeruginosa*)
- Bloques: tipo de material (grafito / aluminio)
- Variable respuesta: generación de energía (voltaje)
- **Verificación de Supuestos para el análisis de varianza.**

Normalidad de residuos.

Ho: Los residuos tienen distribución normal.

H1: Los residuos no tienen distribución normal.



Fuente: elaboración propia

Figura 35. Resultados de la prueba de normalidad mediante el estadístico Kolmogorov-Smirnov.

En la **figura 35** se observa que el estadístico de Komogorov-Smirnov es 0.146, además su p-valor es menor a 0.010, entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 5%, se concluye que los residuos no tienen distribución normal. No cumple el supuesto.

Homogeneidad de varianzas.

Ho: Las varianzas son homogéneas.

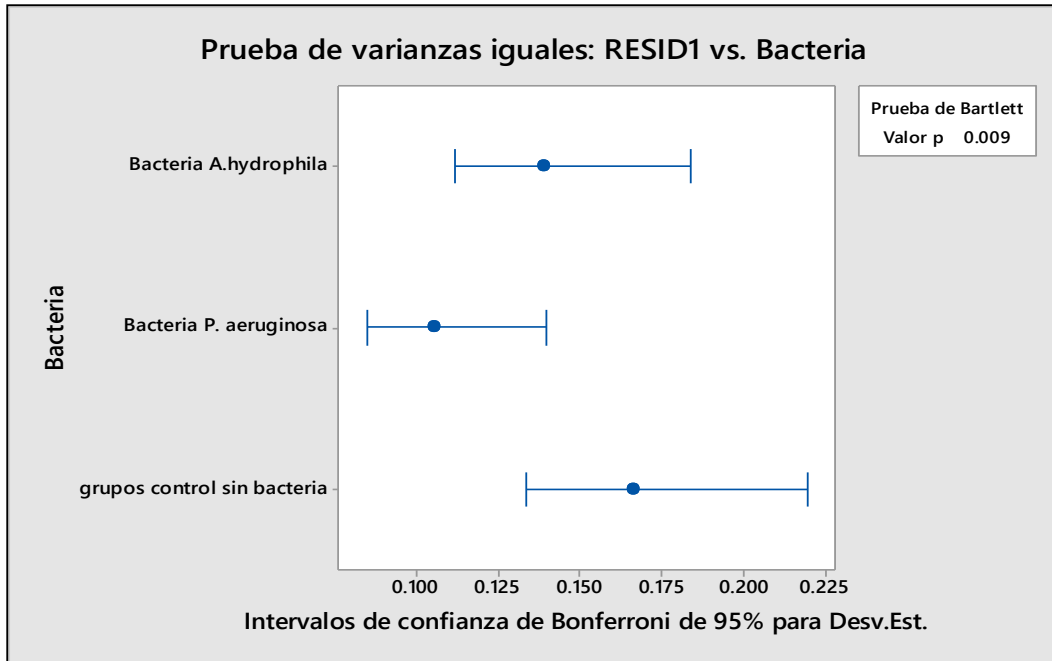
H1: Al menos una varianza es diferente de los demás.

Tabla 32

Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas.

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	9.36	0.009

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 36. Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas mediante el estadístico Bartlett.

En la **tabla 32** y **figura 36** se observa que el estadístico de Bartlett es 9.36 con un p-valor de $0.009 < 0.05$, entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 5%, se concluye que las varianzas no son homogéneas. No cumple el supuesto.

Los dos supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza para el diseño de bloques al azar, no se cumplen, por ello, a continuación, se muestran los resultados de pruebas no paramétricas para comparar la generación de energía (voltaje) según especie de bacteria y tipo de material.

- **Comparación de Generación de energía (voltaje) según Bacteria**

Ho: Las medianas de la generación de energía (voltaje) son iguales para las dos especies de bacterias y el control.

H1: Al menos una bacteria tiene una energía (voltaje) mediana diferente a los demás.

Tabla 33: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis

Bacteria	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
Bacteria A.hydrophila	48	0.7899	82.0	1.93
Bacteria P. aeruginosa	48	0.4830	73.7	0.25
grupos control sin bacteria	48	0.6485	61.8	-2.18
General	144		72.5	

H = 5.69 GL = 2 P = 0.058

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 33** se observa que el estadístico de Kruskal-Wallis es $H= 5.69$, además su p-valor es $0.058 > 0.05$, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 5%, se concluye las medianas de la generación de energía (voltaje) son iguales para las dos especies de bacterias y el control.

- **Comparación de Generación de energía (Voltaje) según Tipo (Bloque)**

Ho: Las medianas de la generación de energía (voltaje) son iguales para los dos tipos de material.

H1: Las medianas de la generación de energía (voltaje) son diferentes para los dos tipos de material.

Tabla 34: Resultados de la prueba U de Mann-Whitney

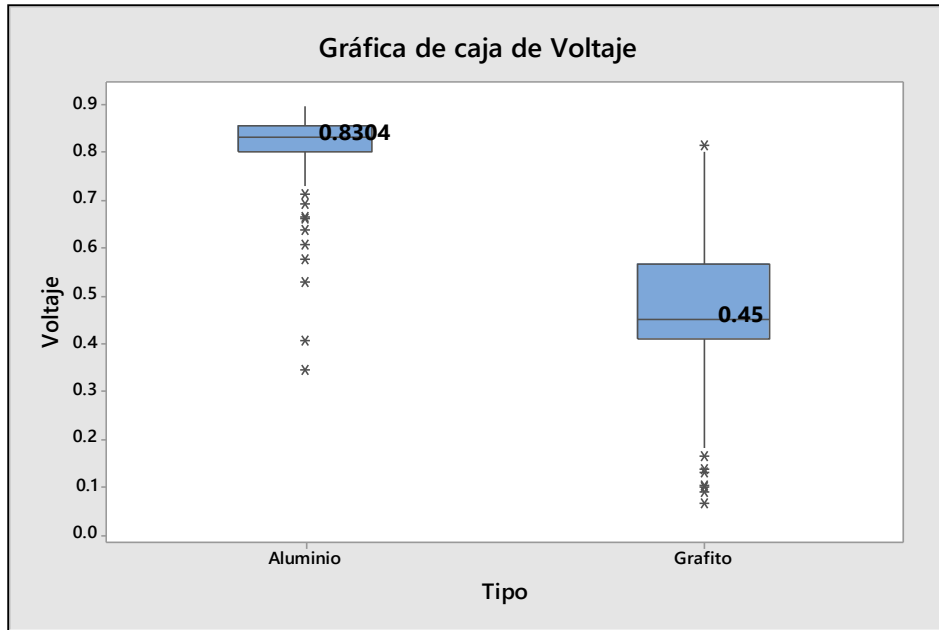
Tipo	N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	Z	Sig. asintót. (bilateral)
Grafito	72	40.03	2882.00	254.000	-9.342	.000*
Aluminio	72	104.97	7558.00			
Total	144					

* significativa al nivel de 1%.

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 34** se observa que el estadístico U de Mann-Whitney es 254, además el estadístico estandarizado es $Z= -9.342$ con p-valor= $0.000 < 0.01$, entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 1%, se concluye las medianas de la generación de energía (voltaje) difieren significativamente en los dos tipos de material.

En la **figura 37** se observa que el aluminio generó una energía mediana de 0.8304, mientras que, con el grafito la energía mediana fue 0.45. Estos resultados apoyados en la prueba U de Mann-Whitney, indican que la generación de energía es mayor cuando el material es el aluminio.



Fuente: elaboración propia

Figura 37. Comparación de la generación de energía (voltaje) según tipo de material.

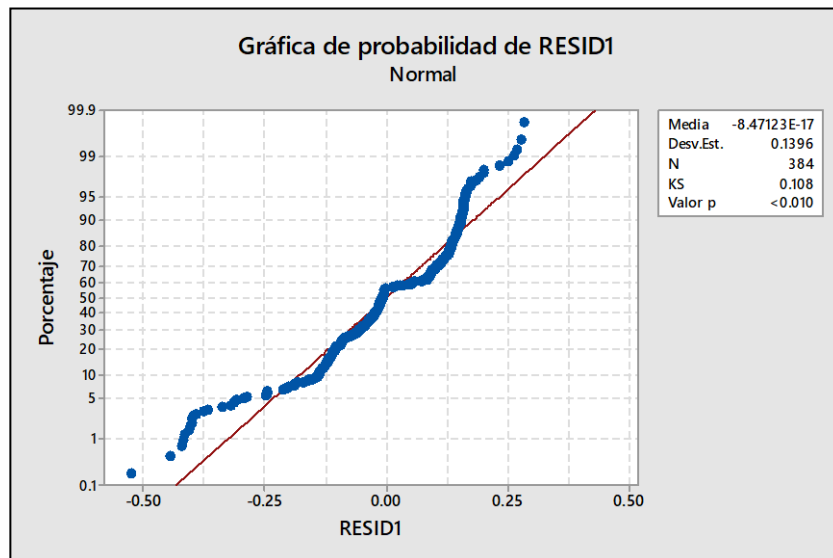
3.2.3.2 Fase de Proceso

A) Verificación de Supuestos

Normalidad de residuos.

Ho: Los residuos tienen distribución normal.

H1: Los residuos no tienen distribución normal.



Fuente: elaboración propia

Figura 38. Resultados de la prueba de normalidad mediante el estadístico Kolmogorov-Smirnov.

En la **figura 38** se observa que el estadístico de Komogorov-Smirnov es 0.108, además su p-valor es menor a 0.010, entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 5%, se concluye que los residuos no tienen distribución normal. No cumple el supuesto.

Homogeneidad de varianzas.

Ho: Las varianzas son homogéneas.

H1: Al menos una varianza es diferente de los demás.

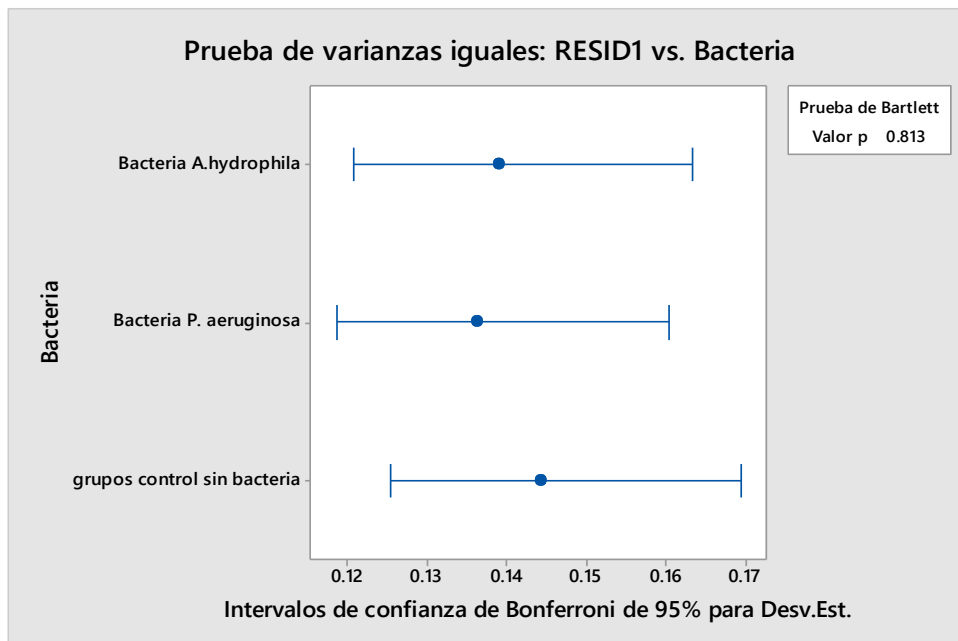
Tabla 35: Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	0.41	0.813

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 35** y **figura 39** se observa que el estadístico de Bartlett es 0.41 con un p-valor de $0.813 > 0.05$, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 5%, se concluye que las varianzas son homogéneas. Si cumple el supuesto.

Uno de los supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza para el diseño de bloques al azar, no se cumple (normalidad), por ello, a continuación, se muestran los resultados de pruebas no paramétricas para comparar la generación de energía (voltaje) según especie de bacteria y tipo de material.



Fuente: elaboración propia

Figura 39. Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas mediante el estadístico Bartlett.

B) Comparación de Generación de energía (voltaje) según Bacteria

Ho: Las medianas de la generación de energía (voltaje) son iguales para las dos especies de bacterias y el control.

H1: Al menos una bacteria tiene una energía (voltaje) mediana diferente a los demás.

Tabla 36: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis

Bacteria	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
Bacteria <i>A. hydrophila</i>	128	0.8180	231.8	4.91
Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	128	0.5055	187.1	-0.67
grupos control sin bacteria	128	0.7270	158.6	-4.24
General	384		192.5	

H = 28.36 GL = 2 P = 0.000*

* significativa al nivel de 1%.

Fuente: Elaboración propia

En la **tabla 36** se observa que el estadístico de Kruskal-Wallis es $H = 28.36$, además su p-valor es $0.000 < 0.01$, entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 1%, se concluye que al menos una bacteria genera una energía (voltaje) mediana diferente a los demás.

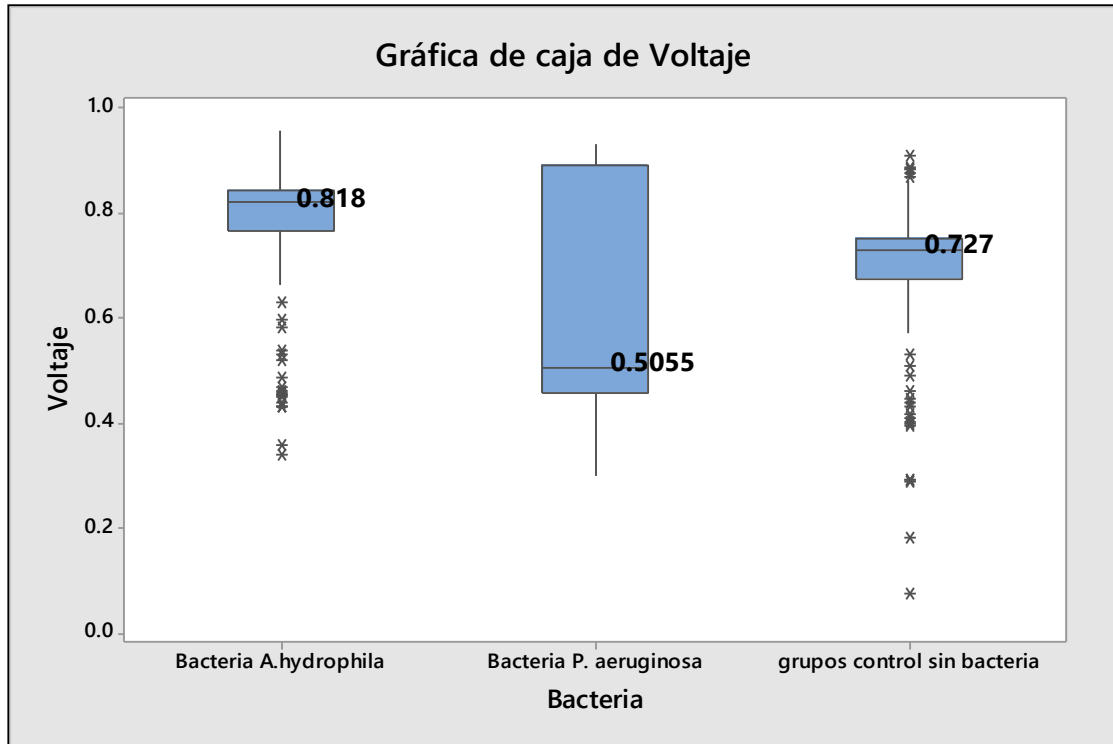
Tabla 37: Resultados de las comparaciones por parejas de Tukey.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%			
Bacteria	N	Media	Agrupación
Bacteria <i>A. hydrophila</i>	128	0.764719	A
grupos control sin bacteria	128	0.687089	B
Bacteria <i>P. aeruginosa</i>	128	0.654039	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia

Considerando los resultados de la **tabla 37**, se observa que la bacteria *A. hydrophila* genera mayor energía promedio (0.764719) y esta difiere significativamente en comparación a la otra bacteria y el grupo control. La bacteria *P. aeruginosa* y el grupo control no tienen diferencias significativas en cuanto a la generación de energía (voltaje).



Fuente: elaboración propia

Figura 40. Comparación de la generación de energía (voltaje) según bacteria.

C) Comparación de Generación de energía (voltaje) según Tipo (Bloque)

Ho: Las medianas de la generación de energía (voltaje) son iguales para los dos tipos de material.

H1: Las medianas de la generación de energía (voltaje) son diferentes para los dos tipos de material.

Tabla 38: Resultados de la prueba U de Mann-Whitney.

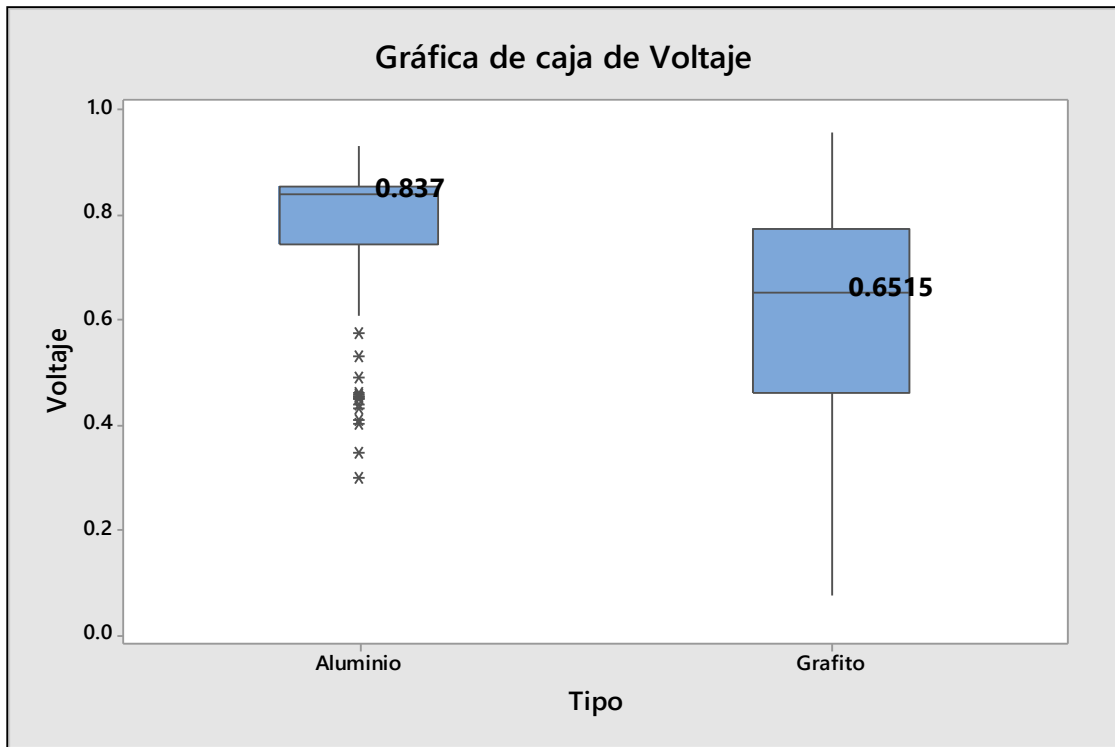
Tipo	N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	Z	Sig. asintót. (bilateral)
Grafito	192	129.71	24904.50	6376.500	-11.085	.000*
Aluminio	192	255.29	49015.50			
Total	384					

* significativa al nivel de 1%.

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 38** se observa que el estadístico U de Mann-Whitney es 6376.5, además el estadístico estandarizado es $Z = -11.085$ con $p\text{-valor} = 0.000 < 0.01$, entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, con un nivel de significación del 1%, se concluye las medianas de la generación de energía (voltaje) difieren significativamente en los dos tipos de material.

En la **figura 41** se observa que el aluminio generó una energía mediana de 0.837, mientras que, con el grafito la energía mediana fue 0.6515. Estos resultados apoyados en la prueba U de Mann-Whitney, indican que la generación de energía es mayor cuando el material es el aluminio.



Fuente: elaboración propia

Figura 41. Comparación de la generación de energía (voltaje) según tipo de material.

IV. DISCUSIÓN

4.1 DISCUSION DE RESULTADOS

En lo que respecta a las condiciones de la celda de combustible microbiano en la relación temperatura y tiempo de los datos analizados y procesados con Excel en fase de inicio, el comportamiento de la temperatura durante los primeros 2 días se mostró inestable, a diferencia de Bermúdez y Bernal (2018) cuya temperatura fue más estable en ese lapso de tiempo, quienes también trabajaron con bacterias mesófilas, microorganismos cuyo crecimiento se encuentra entre los 15 a 45 °C ; pero, a diferencia del estudio las bacterias fueron la *E. coli* y *P. aeruginosa* teniendo como sustrato aguas residuales domésticas. Por ello, el comportamiento de acondicionamiento varía de una especie a otra, así como, el medio donde se encuentra y las condiciones de operación de las celdas variaron. Lo que si corrobora es el comportamiento de la *P. aeruginosa* que se vuelve inestable, similar comportamiento encontrado en esta fase del presente estudio. Así mismo, este resultado se constata en la relación temperatura y voltaje del análisis estadístico inferencial fase inicial, y se determina una relación directa significativa para la celda C3: *A. hydrophila*-aluminio puesto que, a mayor temperatura se genera mayor voltaje lo cual se confirma con lo mencionado por Hayes (2006), que el crecimiento óptimo de la *A. hydrophila* es a 28 °C además, de poseer flagelos que permiten transportar sin mediador los electrones a los electrodos, ya que son nativos de ambiente acuático con capacidad de sobrevivir en ambientes ya sea aerobios o anaerobios. Además, según Lovley (como se citó en Revelo, Hurtado y Ruiz, 2013, p. 20) demuestran buena actividad electrogénica. Pero, en la fase de proceso no existe una relación significativa entre la temperatura y voltaje, debido a que la bacteria se adaptó en los primeros días que comprendió la fase inicial; así como, el incremento de las mismas en el tiempo produce un agotamiento de la materia orgánica disponible en el tiempo tal como lo sostiene Racines y Santander (2016), que a menor carga orgánica menor energía eléctrica producida. Además de poseer estas ventajas la *A. hydrophila* se suma el incremento de su voltaje debido al electrodo utilizado que es el aluminio.

En lo referente a pH vs tiempo de los resultados procesados de Excel fase de inicio muestra un comportamiento constante en los dos primeros días para las

celdas grafito/*A. hydrophila* y *P. aeruginosa*, además de ser más estable salvo pequeñas variaciones en relación a las demás celdas, corroborando este comportamiento en la fase de proceso, así lo demuestra, el análisis inferencial fase de inicio en la relación pH y voltaje donde se da una relación directa significativa para estas dos especies con electrodo grafito, ya que si se incrementa el pH en uno se incrementará en mayor cantidad el voltaje puesto que ambas especies poseen la capacidad de metabolizar compuestos orgánicos como sostiene Ruiz (2007). Además, el grafito no interfiere en la transferencia de protones por la membrana selectiva, esta transferencia es rápida aumentando la actividad bacteriana como sostiene Revelo, Hurtado y Ruiz (2013). Así mismo, Pineda y Rosas (2016) sostiene que al incrementarse en un gradiente el pH anódico podría incrementarse la difusión de protones de la cámara anódica hacia la cámara catódica en cambio las otras celdas donde hay fluctuaciones que se deberían a la acumulación de protones genera disminución de pH e inhibición de la actividad bacteriana y con ello reducción de voltaje. En la fase de proceso, se confirma esta relación para la *A. hydrophila* –grafito que muestra mayor eficiencia y *P. aeruginosa*-aluminio. De ellos, la primera especie es la que muestra mayor relación significativa entre pH y voltaje en ambas fases.

Las características de la bacteria en la relación cantidad de bacterias según especie y tiempo de los resultados analizados en Excel, tanto en la fase inicio y proceso se da una relación directa entre cantidad de bacterias y número de días hasta el octavo día, siendo la celda C3: *A. hydrophila*-aluminio la que presenta mayor crecimiento a partir del día 4 día, pero luego del día 8 disminuye bruscamente en relación a las otras celdas debiéndose este cambio a cantidad de bacterias y disponibilidad de materia orgánica como sostiene Díaz (2011), que si hay cantidad de materia orgánica la *A. hydrophila* crece e incluso coloniza para formar biofilms. Así mismo, en la relación cantidad de bacterias y voltaje en el análisis inferencial no se encontró una relación significativa ya que pese a existir cantidad de bacterias mas no materia orgánica disponible, ya que el lodo que es el sustrato no se cambió, por ello Oyola (2017) menciona que si existe una alta densidad de bacterias estas

agotan la materia orgánica rápidamente y con ello disminuye la generación de voltaje.

En la cantidad de voltaje y tiempo en el análisis de los datos procesados en Excel, el mayor voltaje promedio final obtenido en la fase de inicio fue de 0.859 V y en el proceso de 0.849 V con la bacteria *P.aeruginosa* –aluminio aunque el comportamiento es inestable. Así mismo, en cuanto a la ganancia de voltaje según electrodo grafito con respecto a su grupo control 5 en la fase de inicio, es la *A. hydrophila* quien muestra mayor ganancia de voltaje alcanzando un mínimo de 0.060 V a las 24 horas y un máximo de 0.195 V a las 96 h luego disminuye. En cambio, en la fase de proceso es la *P. aeruginosa*-grafito con mayor ganancia de voltaje con un máximo de 0.591 V a las 6 horas, ya que la primera especie tiende a oxidar rápidamente la materia orgánica presente en el sustrato hasta que se agota como sostiene Guambo y Allauca (2015), corroborándose esta afirmación en la ganancia de voltaje según electrodo aluminio en la fase de inicio donde la *A. hydrophila*, muestra la mayor ganancia de voltaje con un máximo de 0.268 V a las 48 horas y un mínimo de 0.035 V a las 192 horas, es decir, disminuye en el tiempo. Por ello, en el proceso es la *P. aeruginosa*-aluminio quien genera mayor ganancia de voltaje con un máximo de 0.502 V a las 54 h.

Por otro lado, en general según especie, es la *A. hydrophila* que muestra mayor generación de voltaje en ambas fases y según electrodo, es el aluminio. Así mismo, en el análisis estadístico inferencial en fase de inicio las especies no muestran diferencias significativas de generación de voltaje debido al comportamiento irregular, Díaz (2011) indica que se da el error experimental al estudiar organismos vivos ya que, es muy difícil de establecer patrones de comportamiento similares, lo cual se evidenció a lo largo de toda la experimentación y estadísticamente se ratifica. Pero, en la fase de proceso según especie, se da una diferencia de voltaje muy significativa para la *A. hydrophila* cuya energía promedio fue 0.765 V. Así mismo, al comparar por electrodo determinaron la generación mediana de 0.830 V para el aluminio a diferencia del grafito que fue de 0.450 V en la fase de inicio, y en la fase de proceso la mayor energía mediana también es el aluminio con 0.837 V. Dichos datos son mayores a lo obtenido por Martínez et. Al (2016) que fue de 0.179 V quien utilizó como electrodo al grafito y un catalizador de platino en

el ánodo en un plazo de 12 horas. Por ello, se confirma que los metales como el aluminio son buenos conductores de electricidad pese a utilizar lodo anaerobio y agua residual doméstica igual que se utilizó en el presente trabajo y en la misma proporción, solo el tiempo fue diferente. Por otro lado, el voltaje obtenido por Revelo, Hurtado y Ruiz (2015) fue de 0.0037 V cuyo sustrato fue la glucosa, lo que confirma que el lodo anaerobio y las bacterias presentes que degradan la materia orgánica más las condiciones adecuadas así como el tipo de electrodo permiten generar un voltaje mayor. Otro factor para obtener mayor voltaje es el tipo de material de las celdas, pues según Bermúdez y Bernal (2018), el vidrio es mejor para obtener un voltaje neto sin interferencias debido a su baja conductividad que permite el pase de electrones exclusivamente por los electrones seleccionados.

V. CONCLUSIONES

- En el análisis inferencial de generación de voltaje en cuanto a las bacterias de estudio indicó que la *A. hydrophila* muestra mayor voltaje significativo de 0.765 V en contraste a la *P. aeruginosa* cuyo voltaje fue de 0.654 V y su respectivo grupo de control con 0.687 V, debiéndose a su alta capacidad de adaptabilidad en medio acuático así como a sus características de poseer pilis que transportan los electrones al electrodo y su capacidad electrogénica. Así mismo, el electrodo de aluminio demostró ser un buen conductor de electrones que sumado a las características y condiciones de la celda para generar energía eléctrica produjo mayor voltaje mediano de 0.837 V.
 - En el análisis de datos con Excel en relación a ganancia de voltaje con respecto al grupo control según bacteria-electrodo en términos específicos indicó que la *A. hydrophila* en la fase inicio genera una mayor ganancia de 0.195 V a las 96 horas y 0.268 V a las 48 horas para electrodo grafito y aluminio respectivamente. Pero, en el tiempo esta ganancia tiende a disminuir. En cambio, en la fase de proceso la *P. aeruginosa* muestra una mayor ganancia de voltaje en ambos electrodos con 0.591 V a las 6 horas para el grafito y 0.502 V a las 54 horas para el aluminio; sin embargo, esta relación es muy inestable en comparación a la primera especie de estudio. Por ello, en el análisis inferencial la *A. hydrophila* muestra una mayor relación significativa.
- Las celdas de estudio con las bacterias fueron desarrolladas a una temperatura entre 20.3 a 21.8 °C donde en las condiciones de la celda de combustible microbiana por la técnica de bioelectrogénesis, mostrando una relación directa con el voltaje en la fase de inicio para la bacteria *A. hydrophila*-aluminio, la cual indica mayor voltaje a medida que se incrementa la temperatura, por ser propia de ambientes cálidos y por ser al aluminio un buen conductor de electricidad. En cambio, en la fase de proceso ya no se mantiene esta relación porque se adaptó a este medio, y la actividad bacteriana disminuye por la poca disponibilidad de materia orgánica en el tiempo.
- En lo referente a las condiciones de la celda de combustible microbiano pH y voltaje, pH en el ánodo de las celdas varió entre 6.3 y 7.8, las bacterias *A. hydrophila* –grafito y *P. aeruginosa*-grafito muestran una relación significativa para la primera fase debido al incremento de pH que produce la transferencia de protones por la membrana de

intercambio generando mayor voltaje así como la capacidad del grafito de ser un electrodo con transferencia estable y no corrosiva como el aluminio. Pero en la segunda fase la relación significativa se mantiene para la *A. hydrophila*-grafito y cambia en la *P. aeruginosa*- grafito a *P. aeruginosa*-aluminio por la disminución del pH en consecuencia disminuye la actividad bacteriana y con ello el voltaje. Por lo que la primera especie muestra mayor relación significativa entre pH y voltaje.

- La cantidad de bacterias en el tiempo muestra un crecimiento exponencial pero, no existe relación significativa con la cantidad de voltaje que se genera debiéndose a que estas aumentan pero la disponibilidad de la cantidad de materia orgánica disminuye, ya que el sustrato lodo se mantuvo constante en ambas fases conllevando a una menor producción de voltaje en el tiempo por la disminución de actividad bacteriana.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta el tiempo de acondicionamiento de las cepas de bacteria al sustrato así como la formación de biopelículas en el electrodo ya que este permitirá tener estudio más detallado en cuanto a una mejor generación de voltaje.
- Se recomienda inocular el sustrato lodo-agua residual cada cierto periodo de tiempo a fin de generar mayor voltaje así como mejorar la disponibilidad de materia orgánica para las bacterias. Así mismo, tener una medición de materia orgánica del sustrato al inicio y término del experimento para tener una relación materia orgánica generación de voltaje.
- Considerar el uso de celda de combustible microbiano de mayor tamaño así como emplear otros electrodos alternativos como el poliuretano a fin de incrementar el voltaje de las celdas y evaluar diversos tamaños de electrodo en relación a la medición de voltaje.
- Tener en consideración la identificación de la *Aeromonas hydrophila* en muestras de agua residual y lodo, ya que esta especie habita en todo tipo de ambiente permitiendo reutilizarlas para generación de energía. También mejorar las condiciones de temperatura pues esta especie es propia de ambientes cálidos cuya temperatura óptima es 28 ° C y podría generar mayor voltaje.
- Tener en cuenta las condiciones de bioseguridad cuando se trabaja con bacterias a fin de garantizar la salud de las personas que podrían afectarse y del investigador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGIA. Base de Datos del Banco Mundial, Producción de electricidad a partir de fuentes nucleares. 2015. [on line]. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/share/widget?end=2015&indicators=EG.ELC.ACCS.UR.ZS&locations=PE&start=1960>

ALONSO, Elena (24 enero,2017). Bioelectrogénesis Aplicada: Pilas que descontaminan. Recuperado de <https://biotecnologia.fundaciontelefonica.com/2017/01/24/bioelectrogenesis-aplicada-pilas-vivas-que-descontaminan/>

ALZATE, Liliana [et. al.]. Generación de electricidad a partir de una celda de combustible microbiana tipo PEM. Interciencia [en línea] 2008, 33 (julio) : [Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33933706>>
ISSN 0378-1844

ASIFUNCIONA. Recursos de Internet [en línea]. Madrid: Web electrotecnica de José García [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2018]
Disponible en: http://www.asifunciona.com/electrotecnica/ke_voltaje/ke_voltaje_1.htm

BERMUDEZ, María y BERNAL, Erika. Implementación de una celda de combustible microbiana a escala laboratorio para generación de energía eléctrica. Tesis (Ing. Química).Bogotá: Universidad de América, Colombia, 2018.
Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6695/1/6131003-2018-1-IQ.pdf>

BERNA, Juan. Bioelectrogenesis. Instituto IMDEA Agua. Departamento de Bioquímica (2006). Bacterias. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/U6_BacteriasA_20346.pdf

BUENAÑO, Josselyn y CRUZ, Fernanda. Generación de bioelectricidad mediante celdas de combustible microbianas a partir de aguas residuales industriales textiles de Fashion Color, utilizando *Chorella Vulgaris* como biocatalizador en la Cámara Catódica, Pelileo, 2015. Tesis (Biotecnología Ambiental).Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador., 2016.

Disponible en

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.66318634&lang=es&site=eds-live>.

CALLICO, Adriana [*et. al.*] Caracterización fenotípica y serológica de aislamientos clínicos de *Pseudomonas aeruginosa*. *Vaccimonitor* [online]. 2004, vol.13, n.3 [citado 2018-07-30], pp.1-9.

ISSN 1025-028X.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-028X2004000300001&lng=es&nrm=iso

DEPARTAMENTO DE FÍSICO QUÍMICA. Listado de bacterias: *Aeromonas hydrophila*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/bioseguridad/agentes/bacterias/bac_ahidro.html

DIAGNÓSTICO de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Recursos internet [en línea]. Lima: web de la Sunass. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2018].

Disponible en <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

DIAZ, Cynthia .Cinética bacteriana de cinco cepas degradadoras de hidrocarburos y su consorcio, en diferentes condiciones de PH y temperatura, a nivel de laboratorio y biofermentador para la producción piloto semindustrial. PEPDA, Petroproducción, campo Sacha, Ecuador 2007. Facultad de Ingeniería en Biotecnología. ESPE. Sede Sangolquí

Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/220>

ECURED. Recursos de Internet [en línea] Cuba: Web de artículos diversos. [fecha de consulta: 28 de abril del 2018]

Disponible en <https://www.ecured.cu/Voltaje>

ESTEVE, Abraham. Bacterias productoras de electricidad. *Revista española de Microbiología* [en línea]. Junio 2008, n° 45 [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2018].

Disponible en <https://www.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/45/45.pdf>

ENERGIA NUCLEAR. 25 de noviembre del 2016.

Disponible en <https://energia-nuclear.net/definiciones/energia-electrica.html>

ESTRADA, Yulissa [et.al] Remoción de la materia orgánica de efluentes de la industria cafetalera usando una Celda de Combustible Microbiano. Tesis (Ing. Ambiental).Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2016.

Disponible en <https://es.slideshare.net/kevinalejandrорuizbalcazar/celdas-de-combustible-microbiano>

FERREIRA, Emilio., [et. al] Energy by Microbial Fuel Cells: Scientometric global synthesis and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 65, 2016, Pages 832-840,

ISSN 1364-0321,

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.050>

FINNERAN, Kevin; JOHNSEN, Claudia; LOVLEY, Derek (2003). " Rhodoferrax ferrireducens sp. Nov., Una bacteria psicrotolerante, facultativamente anaerobia que oxida el acetato con la reducción de Fe (III)". Revista Internacional de Microbiología SISTEMÁTICA Y EVOLUTIVA. 53 (3): 669 – 673. Recuperado de <http://ijs.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijs.0.02298-0>

8vo. FORO *mundial del agua. Brasilia: 2018. Compartiendo agua.* [en línea] Lima: ANA. [fecha de consulta: 20 de mayo del 2018].

Disponible en

<http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/935/ANA0000717.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

GARCÍA DE LA CRUZ, José . (2017). La Energía. Retos y problemas. Economistas sin fronteras Recuperado de <http://ecosfron.org/wp-content/uploads/Dossieres-EsF-24-La-energ%C3%ADa.pdf>

GARCIA, Francisco. Minimización de la carga orgánica de efluentes municipales típicos

empleando Celdas de Combustible Microbiano. Tesis (Ingeniero Industrial). Instituto Federal de México : Instituto Politécnico Nacional de México, 2014.

Disponible en <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17309/1/25-1-16719.pdf>

GUEVARA, Maria y REYNOSA, Luz. Caracterización Física y Química de lodos industriales de las empresas. Zona franca de las Mercedes, Managua. Tesis (Maestría en Ciencias Ambientales). Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2013.

Disponible en

https://books.google.com.pe/books?id=kJObBQAAQBAJ&pg=PA9&dq=DEFINICI%C3%93N+DE+LODOS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiqq-CA-4_cAhVNslMKHXHFCgcQ6AEIQzAF#v=onepage&q=DEFINICI%C3%93N%20DE%20LODOS&f=false

GUAMBO, Alex y ALLAUCA, Gabriela. Estudio de la influencia de la demanda bioquímica de aguas residuales en la producción de bioelectricidad de una celda de combustible microbiana. Tesis (Ing. Química). Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador, 2015.

Disponible en

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4075/1/236T0130%20UDCTFCL.pdf>

GUANGYIN, Zhen [*et. al.*]. Microbial electrolysis cell platform for simultaneous waste biorefinery and clean electrofuels generation: Current situation, challenges and future perspectives, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 63, 2017, Pages 119-145.

ISSN 0360-1285, <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2017.07.003>.

HAYES, John. (2006). *Aeromonas hydrophila*. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20060907035849/http://hmsc.oregonstate.edu/classes/MB492/hydrophilahayes/>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. *Metodología de la investigación*. 6.^a ed. México: Macgraw-Hill, 2014. 600 pp.

ISBN: 978-1-4562-2396-0

HUARACHI, Ronald [*et. al.*]. Bioelectrogenesis with microbial fuel cells (MFCs) using the microalga *Chlorella vulgaris* and bacterial communities. *Electronic Journal of Biotechnology* 31 (2018) 34–43

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.10.013>

IAÑEZ, Enrique. Acción de los agentes físicos sobre las bacterias. Universidad de Granada. [en línea] Mayo, 2005.

Disponible en <https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/index.htm>

IPCC (2011). Fuente de energía renovable y mitigación del Cambio Climático.

Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf

ISLAS, Jorge y MARTINEZ, Alfredo. Bioenergía. *Revista mexicana de ciencia. Universidad Nacional Autónoma de México.* [en línea]. Abril-Junio, 2010. N° 39.[Fecha de consulta: 2 de junio de 2018].

Disponible en

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergia.pdf

LEE, Yoonhwa [*et. al.*] *Biotechnol Bioproc E* (2015) 20: 894.

ISSN 1226-8372

<https://doi.org/10.1007/s12257-015-0031-2>

LOGROÑO, Washington [*et. al.*] . Bioconversión de residuos sólidos orgánico con suelos de la región Amazónica y Altoandina del Ecuador en celdas de combustible microbiano de cámara simple. [en línea].Noviembre, 2014. Vol. 26(2), 61-68 (2015). [Fecha de consulta: 15 agosto del 2018].

Disponible en

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=1d5b535d-fbd8-4eff-b7af-fb9846f6ec19%40sessionmgr102>

MARTÍNEZ, Cindy [*et. al.*]. Tratamiento de agua residual domestica mediante un reactor RAFA y una Celda Microbiana de Combustible. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 32, núm. 3, 2016, pp. 267-279.Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

ISSN: 0188-4999

Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37046488002>

MARROQUIN, Roberto. (2010). Validez y Confiabilidad. Universidad Guzmán y Valle, Perú. Recuperado de <http://www.une.edu.pe/Titulacion/2013/exposicion/SESSION-4-Confiabilidad%20y%20Validez%20de%20Instrumentos%20de%20investigacion.pdf>

MEDINA, Alix, et al. Consistencia interna y estructura interna del cuestionario AUDIT en amerindios. En: Investigaciones Andina. [en línea]. No. 28 Vol. 16 – pp. 877 [consulta: 30-10-2018]. ISSN 0124-8146. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inan/v16n28/v16n28a02.pdf>

MORA, Alexander y BRAVO, Enrique, (2017). Diversidad Bacteriana Asociada a Biopelículas Anódicas en Celdas de Combustible Microbianas Alimentadas Con Aguas Residuales. Acta Biológica Colombiana, vol. 22, no. 1, pp. 77-84. ProQuest Central. ISSN 0120548X.

MORALES, Raúl. Tratamiento de aguas residuales. [en línea]. Puebla: Universidad de las Américas de Puebla, 2015 [fecha de consulta 12 de junio] Disponible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/capitulo4.pdf

NATURE REVIEWS.(2006). ¿Pueden las bacterias producir electricidad?. Departamento de Microbiology. CSIS (Consejo Superior de Investigaciones Científicas).Madrid,España.Recuperado de <http://www.icp.csic.es/bec/semana%20ciencia%20Malki.pdf>

OYOLA, Vanessa. Cambios químicos en una celda de combustible microbiana generadora de electricidad a partir de tiosulfato. Tesis (Ing. Química). Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú, 2018. Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6695/1/6131003-2018-1-IQ.pdf>

PINEDA, Ana y ROSAS, Martha . Estado del Arte en Celdas de Combustible Microbianas para producción de energía. Tesis (Ing. Ambiental). Bogotá: Universidad distrital Francisco

José de Caldas, Colombia, 2016.

Disponible

en

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3837/2/PinedaMar%C3%ADnAnadelPilarRosasTafurMarthaLizeth2016.pdf>

RACINES, Yirley y SANTANDER, Marylin. Implementación de una Celda de Combustible Microbiano a partir de aguas residual doméstica. Tesis (Ing. Ambiental). Barranquilla: Universidad de la Costa, Colombia, 2016.

Disponible en:

<http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/950/IMPLEMENTACION%20DE%20UNA%20CELDA%20DE%20COMBUSTIBLE%20MICROBIANO%20A%20PARTIR%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20DOMESTICA..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

REVELO, Dolly, HURTADO, Nelson y RUIZ, Jaime. Celda de Combustible Microbianos: Un reto para la remoción de carga de materia orgánica y la generación de energía eléctrica [en línea]. Junio, 2013 Vol. 24(6), 17-28 (2013). [Fecha de consulta: 2 abril del 2018].

Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n6/art04.pdf>

RUIZ, Lidia. *Pseudomonas aeruginosa*: Aportación al conocimiento de su estructura y al de los mecanismos que contribuyen a su resistencia a los antimicrobianos. Tesis (Doctoral) Barcelona.: Universidad de Barcelona, España, 2007.

Disponible en https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2521/LRM_TESIS.pdf

SALAS, Jhon. (Enero, 2018). Agua y calambres II: ¿Bioelectro... qué? ¡Bioelectrogénesis!. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/agua-y-calambres-ii-bioelectro-que-bioelectrogenesis>

VALDIVIESO, Nataly. Evaluación de mecanismos de reactivación en celdas de combustible microbianas para la producción de bioelectricidad. Tesis (Ing. Biotecnología ambiental). Chimborazo.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2017.

Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7866>

VELEZ, Juan. Modelo de ánodo y validación experimental para una Celda de Combustible Microbiano. Tesis (Magister en Ingeniería Química). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014.

Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/18260/1/3396590.2014.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema de Investigación	Objetivos de Investigación	Hipótesis de Investigación	Variable	Metodología
<p>Problema General ¿Cuánto de energía alternativa se genera por la técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i>?</p> <p>Problemas Específicos ¿De qué manera las condiciones de la celda de combustible microbiano intervienen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis? ¿De qué manera las características de la bacteria intervienen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis?</p>	<p>Objetivo General Determinar la cantidad de energía alternativa que se genera por la técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i></p> <p>Objetivos Específicos Determinar las condiciones de la celda de combustible microbiano para la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis. Evaluar las características de la bacteria para la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis.</p>	<p>Hipótesis General Ha: La técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> genera energía alternativa a la convencional. Ho: La técnica de bioelectrogénesis usando las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> no genera energía alternativa a la convencional.</p> <p>Hipótesis Específicas •Las condiciones de la celda de combustible microbiano influyen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis. •Las características de la bacteria intervienen en la generación de energía alternativa por la técnica de bioelectrogénesis.</p>	<p>Variable Dependiente Energía Alternativa</p> <p>Variable Independiente Uso de las bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> por la técnica de bioelectrogénesis</p>	<p>Tipo: Aplicativo.</p> <p>Enfoque: Cuantitativo.</p> <p>Nivel: Explicativo.</p> <p>Diseño: Tipo Experimental, Subtipo Pre-experimental.</p> <p>Población: cepa de Bacterias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i></p> <p>Muestra: Inóculo de 50 ml de la bacteria <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i>.</p> <p>Técnicas e instrumentos: Observación, Medición directa y fichas de registro.</p>

ANEXO 2: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CULTIVO DE LA BACTERIA

INSTRUMENTO N° 1								
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CULTIVO DE BACTERIAS						
Bacteria : <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ()			Bacteria : <i>Aeromonas hydrophila</i> ()					
Fecha y Hora	Código	Género	Especie	Medio de Cultivo	Temperatura de incubación (°C)	pH	Cantidad de bacterias (UFC)	Observaciones
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								
Fecha:								
Hora:								

Fuente: Elaboración propia								
Nombre:		Nombre:			Nombre:			
Firma:		Firma:			Firma:			


ANEXO 3: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS SEGÚN LAS CONDICIONES DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO

INSTRUMENTO N° 2					
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS SEGÚN CONDICIONES DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO					
N° CCM		Tratamiento (T) T1= Pa + aluminio (); T2= Pa + grafito (); T3= Ah + aluminio (); T4= Ah + grafito ()			
Condiciones operación					
N° días	Anodo		Temperatura (°C)	pH	Observaciones
	Aluminio	Barra grafito			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Leyenda: CCM: Celda de Combustible Microbiano T=Tratamiento Pa=Pseudomonas aeruginosa Ah=Aeromonas hydrophila


Fuente: Elaboracion Propia					
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:		Firma:		Firma:	

ANEXO 4-a: MEDICION DE VOLTAJE DE LA *Aeromonas hydrophila*

INSTRUMENTO N° 3-a						
FICHA DE MEDICION DE VOLTAJE DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO						
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO						


Bacteria <i>Aeromonas hydrophila</i>						
N° días	E. Anodo barra de grafito (C1)			E. Anodo lámina de aluminio (C3)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
Nombre:				Nombre:		
Firma:				Firma:		

ANEXO 4-b: MEDICION DE VOLTAJE DE LA *Pseudomonas aeruginosa*

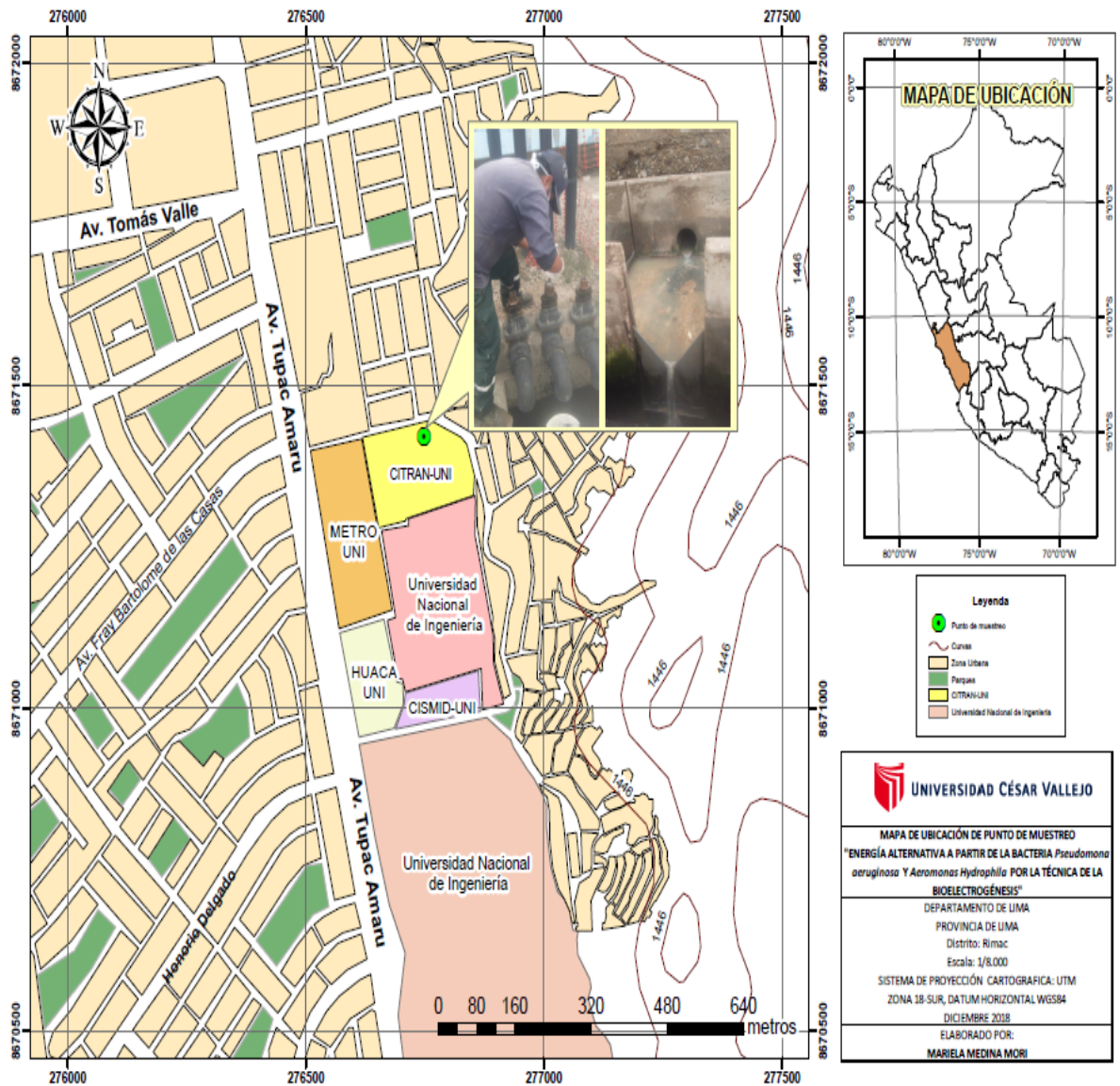
INSTRUMENTO N° 3-b						
FICHA DE MEDICION DE VOLTAJE DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO						
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO						

Bacteria <i>Pseudomonas aeruginosa</i>						
N° días	E. Anodo barra de grafito (C2)			E. Anodo lámina de aluminio (C4)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
Nombre:				Nombre:		
Firma:				Firma:		

ANEXO 4-c: MEDICION DE VOLTAJE DE LAS CELDAS CONTROL

INSTRUMENTO N° 3-c						
FICHA DE MEDICION DE VOLTAJE DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO						
		UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO				
GRUPO CONTROL						
N° días	E. Anodo barra de grafito (C5)			E. Anodo lámina de aluminio (C6)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
Nombre:			Nombre:		Nombre:	
Firma:			Firma:		Firma:	

ANEXO 5: Mapa de Ubicación de la toma de muestra del sustrato lodo



ANEXO 6: FASE DE PROCESO. RESULTADOS DE LA MEDICION DE TEMPERATURA

TEMPERATURA VS TIEMPO													
Tiempo días	Horas	Bacteria A. hydrophila				Bacteria P. aeruginosa				grupos control sin bacteria			
		grafito(C1)		aluminio(C3)		grafito(C2)		aluminio(C4)		grafito(C5)		aluminio(C6)	
		anodo		anodo		anodo		anodo		anodo		anodo	
1	24	21.8	21.8	21.8	21.7	21.6	21.5	21.6	21.7	21.7	21.7	21.3	21.6
2	48	21.2	21	20.8	20.8	20.8	20.8	21.3	21	21.2	20.9	21.0	21.0
3	72	21.6	21.5	21.4	21.5	21.6	21.2	21.5	21.2	21.4	21.5	20.8	21.4
4	96	21.5	21.6	21.6	21.6	21.5	21.2	21.5	21.4	21.5	21.2	21.1	21.3
5	120	21.6	21.5	21.7	21.6	21.5	21.3	21.6	21.6	21.6	21.3	21.2	21.6
6	144	21.7	21.3	21.7	21.7	21.6	21.3	21.6	21.6	21.3	21.6	21.1	21.5
7	168	21.5	21.2	21.5	21.3	21.5	21.3	21.5	21.5	21.4	21.4	21	21.5
8	192	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	20.8	21.6	21.2	21.6
9	216	21.8	21.8	21.8	21.7	21.7	21.8	21.8	21.7	21.8	21.8	21.3	21.6
10	240	21.7	21.7	21.7	21.2	21.7	21.7	21.7	21.6	21.7	21.6	21.4	21.6
11	264	21.6	21.7	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.5	21.6	21.6	21.2	21.5
12	288	21.5	21.5	21.7	21.6	21.6	21.7	21.7	21.5	21.7	21.6	21.3	21.5
13	312	21.3	21.1	21.3	21.2	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.0	21.3
14	336	21.4	21.3	21.4	21.3	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.4	20.8
15	360	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.1	21.2	21.1	21.2	20.8	21.1
16	384	20.9	20.8	20.9	20.9	20.9	20.8	21.0	21.0	21.0	20.9	20.4	20.9
17	408	21.6	21.6	21.4	21.6	21.4	21.5	21.3	21.5	21.4	21.5	21.1	21.5
18	432	21.2	21.2	21.3	21.2	21.2	21.3	21.2	21.2	21.2	21.2	20.8	21
19	456	21.2	21.3	21.3	21.2	21.3	21.3	21.3	21.2	21.3	21.2	21.1	21.2
20	480	21.3	21.3	21.4	21.2	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.2	21.1	21.1
	PROMEDI	21.5	21.4	21.5	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.1	21.4

ANEXO 7: FASE DE PROCESO. RESULTADOS DE LA MEDICION DEL PH

PH VS TIEMPO													
Tiempo días	Horas	Bacteria A. hydrophila				Bacteria P. aeruginosa				grupos control sin bacteria			
		grafito(C1)		aluminio(C3)		grafito(C2)		aluminio(C4)		grafito(C5)		aluminio(C6)	
		ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO	ANODO	CATODO
1	24	7.3	5.1	7.0	5.2	7.2	5.1	7.3	4.8	7.3	7.1	7.4	6.7
2	48	7.3	5.7	7.3	5.3	7.3	5.3	7.4	5.5	7.3	6.4	7.6	6.2
3	72	7.5	5.0	7.4	5.2	7.5	5.3	7.5	5.3	7.5	6.5	7.6	6.3
4	96	7.6	5.1	7.4	5.4	7.6	5.2	7.4	5.2	7.5	5.9	7.5	6.2
5	120	7.7	5.1	7.7	5.7	7.7	5.2	7.7	5.2	7.5	6.1	7.7	6.3
6	144	7.6	5.0	7.6	5.3	7.9	5.3	7.6	5.4	7.6	6.1	7.8	6.4
7	168	8.0	5.0	7.7	5.2	7.9	5.2	7.8	5.3	7.4	6.2	7.8	6.2
8	192	7.9	5.2	8.4	5.3	7.8	5.3	7.7	5.4	7.7	6.2	7.9	6.2
9	216	8.0	5.0	7.7	5.4	7.9	5.2	7.6	5.2	7.9	6.1	8.0	6.2
10	240	8.1	5.2	7.7	5.3	7.7	5.3	7.7	5.4	7.7	6.7	8.1	7.2
11	264	7.8	5.3	7.8	5.2	7.8	5.4	7.8	5.2	7.8	6.2	8.1	6.9
12	288	8.0	5.0	8	5.2	7.9	5.4	7.7	5.2	8.0	6.0	8.0	6.2
13	312	7.8	5.3	7.8	5.2	7.9	5.3	7.8	5.1	7.8	6.7	8.0	6.8
14	336	7.9	5.1	7.6	5.2	7.6	5.3	7.8	5.2	7.7	6.3	8.0	6.3
15	360	7.7	5.1	7.8	5.3	7.8	5.3	7.9	5.3	7.8	6.1	7.9	6.3
16	384	7.8	5.2	7.7	5.3	7.9	5.4	7.8	5.3	7.8	5.3	8.0	6.2
17	408	7.8	5.2	7.7	5.3	7.7	5.4	7.9	5.3	7.7	6.2	7.8	6.3
18	432	8.1	4.9	8.1	4.2	7.9	5.1	7.8	5.1	7.9	6.0	8.0	6.2
19	456	7.9	5.6	7.8	5.5	7.7	5.7	7.9	5.5	7.9	6.1	8.0	6.5
20	480	8.0	4.1	8.0	4.8	7.7	4.7	7.9	5.1	8.1	5.9	7.9	6.2
	PROM	7.8	5.1	7.7	5.2	7.7	5.3	7.7	5.3	7.7	6.2	7.9	6.4

**ANEXO 8: FASE DE PROCESO. RESULTADOS DE LA MEDICION DEL
VOLTAJE**

Tiempo días	t HORAS	Bacteria A.hydrophila		Bacteria P. aeruginosa		grupos control sin bacteria	
		grafito(C1)	aluminio(C3)	grafito(C2)	aluminio(C4)	grafito(C5)	aluminio(C6)
1	6H	0.338	0.666	0.320	0.450	0.075	0.408
1	24H	0.357	0.439	0.439	0.608	0.180	0.660
2	30H	0.430	0.827	0.427	0.299	0.289	0.671
2	48H	0.432	0.432	0.432	0.344	0.290	0.529
3	54H	0.538	0.851	0.444	0.902	0.286	0.400
3	72H	0.465	0.457	0.457	0.891	0.392	0.664
4	78H	0.487	0.870	0.461	0.870	0.396	0.722
4	96H	0.518	0.461	0.461	0.835	0.415	0.575
5	102H	0.530	0.841	0.440	0.883	0.429	0.490
5	120H	0.582	0.448	0.448	0.835	0.436	0.637
6	126H	0.627	0.843	0.453	0.897	0.445	0.724
6	144H	0.661	0.453	0.453	0.856	0.459	0.886
7	150H	0.672	0.847	0.438	0.894	0.508	0.875
7	168H	0.693	0.837	0.443	0.893	0.569	0.748
8	174H	0.690	0.850	0.453	0.887	0.582	0.734
8	192H	0.729	0.451	0.451	0.887	0.633	0.729
9	198H	0.735	0.849	0.439	0.845	0.645	0.725
9	204H	0.765	0.848	0.444	0.909	0.652	0.881
9	210H	0.761	0.847	0.450	0.906	0.655	0.726
9	216H	0.753	0.841	0.444	0.903	0.651	0.736
10	222H	0.750	0.850	0.422	0.902	0.651	0.714
10	228H	0.762	0.833	0.427	0.899	0.649	0.745
10	234H	0.771	0.848	0.433	0.895	0.678	0.738
10	240H	0.772	0.835	0.454	0.898	0.671	0.713
11	246H	0.769	0.840	0.434	0.897	0.686	0.738
11	252H	0.776	0.847	0.442	0.908	0.683	0.732
11	258H	0.790	0.849	0.454	0.903	0.690	0.726
11	264H	0.791	0.841	0.462	0.895	0.699	0.735
12	270H	0.791	0.846	0.487	0.835	0.701	0.727
12	276H	0.803	0.836	0.496	0.835	0.707	0.727
12	282H	0.955	0.849	0.475	0.835	0.718	0.732
12	290H	0.712	0.843	0.477	0.896	0.706	0.710
13	296H	0.806	0.842	0.478	0.832	0.709	0.738
13	302H	0.810	0.849	0.485	0.837	0.712	0.653
13	308H	0.807	0.848	0.463	0.903	0.718	0.858
13	314H	0.804	0.839	0.472	0.893	0.718	0.804
14	320H	0.808	0.850	0.473	0.835	0.715	0.765
14	326H	0.805	0.841	0.472	0.896	0.717	0.908
14	332H	0.805	0.848	0.457	0.902	0.731	0.797
14	338H	0.805	0.842	0.463	0.896	0.721	0.745
15	344H	0.820	0.839	0.451	0.901	0.720	0.755
15	350H	0.811	0.850	0.455	0.902	0.719	0.732
15	356H	0.812	0.846	0.440	0.905	0.720	0.741
15	362H	0.811	0.839	0.462	0.830	0.711	0.740
16	368H	0.813	0.839	0.471	0.898	0.735	0.737
16	374H	0.595	0.847	0.428	0.891	0.732	0.720
16	380H	0.694	0.844	0.449	0.836	0.730	0.749
16	386H	0.778	0.837	0.461	0.827	0.743	0.750
17	392H	0.802	0.835	0.476	0.929	0.736	0.752
17	398H	0.810	0.836	0.479	0.899	0.744	0.749
17	404H	0.809	0.849	0.469	0.905	0.882	0.747
17	410H	0.807	0.837	0.473	0.828	0.861	0.757
18	416H	0.817	0.841	0.476	0.873	0.790	0.742
18	422H	0.814	0.845	0.480	0.880	0.800	0.741
18	428H	0.813	0.839	0.487	0.834	0.758	0.752
18	434H	0.813	0.846	0.492	0.896	0.748	0.753
19	440H	0.817	0.837	0.509	0.900	0.868	0.750
19	446H	0.819	0.830	0.507	0.875	0.850	0.756
19	452H	0.817	0.843	0.504	0.850	0.831	0.768
19	458H	0.822	0.841	0.499	0.832	0.799	0.751
20	464H	0.822	0.852	0.508	0.844	0.774	0.739
20	470H	0.825	0.849	0.501	0.838	0.768	0.749
20	476H	0.824	0.851	0.465	0.904	0.772	0.746
20	482H	0.824	0.834	0.445	0.844	0.772	0.717
	Promedio	0.732	0.797	0.460	0.849	0.649	0.725

ANEXO 9 : Determinación de gram negativos y positivos del contenido del sustrato de las seis celdas al final del proceso

Av. El Triunfo Mz. B Lt. 15 A.H. Flores de Villa 1era Etapa
(Alt. Paradero Parque Zonal) - S.J.M.
Telf.: (511) 777-3934
E-mail: informes@incalab.com.pe



INFORME DE ENSAYO N° MA18110009

DATOS DEL CLIENTE

Nombre del Cliente : MARIELLA MEDINA MORI
Domicilio Legal : Calle Panamá D17 - San Martín de Porres
Solicitado Por : MARIELLA MEDINA MORI
Referencia : O/S 18110008

DATOS DE LA MUESTRA

Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
Cantidad de Muestras : 6
Producto : Lodo
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados
Proyecto : Trabajo Experimental de Tesis
Procedencia : Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR FIA UNI)

Fecha de Muestreo : 23/11/18
Fecha de Ingreso : 23/11/18
Fecha Inicio Ensayo : 24/11/18

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Bacterias Gram positiva	ICMSF Tinción por el método Gram. Pág. 353-354, 2da Ed. 2000
Bacterias Gram negativa	ICMSF Tinción por el método Gram. Pág. 353-354, 2da Ed. 2000

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



Av. Paradero Parque Zonal - S.J.M.
Telf.: (511) 777-3934
E-mail: informes@incalab.com.pe



INFORME DE ENSAYO N° MA18110009

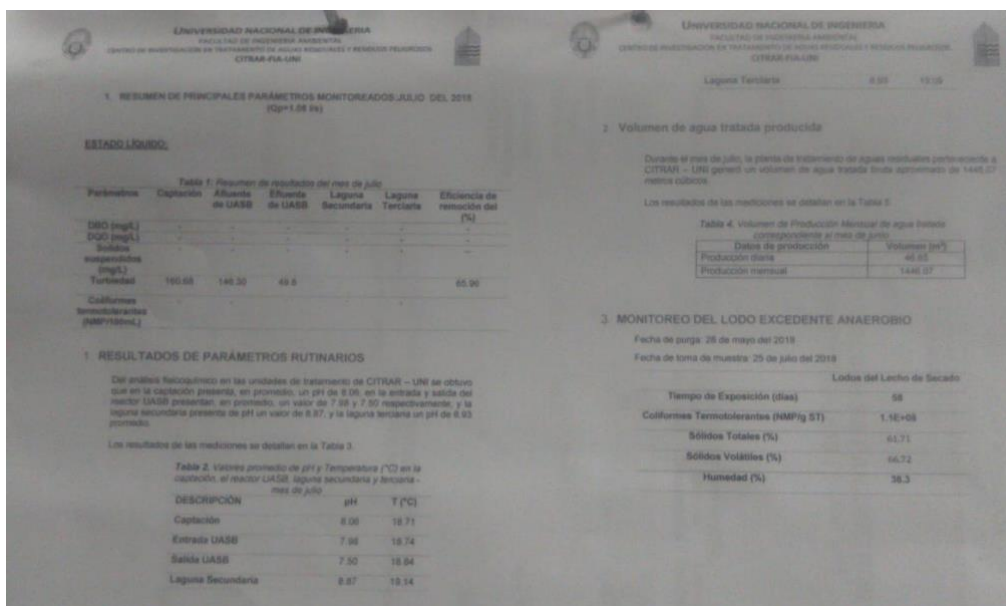
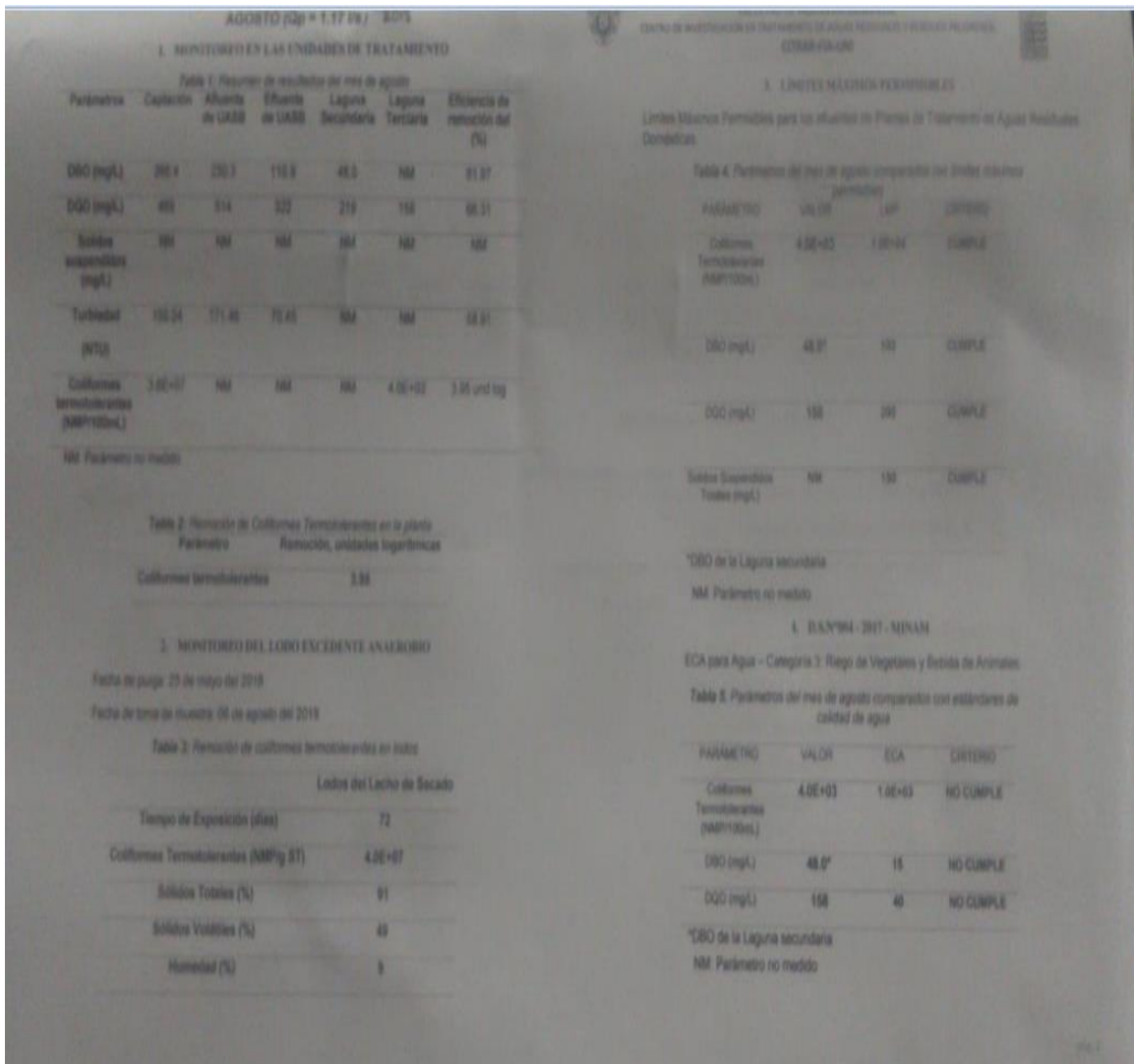
Cod. Cliente	M1-AH-G	M2-PA-G	M3-AH-AL	M4-PA-AL	M5-G
Cod. Lab.	18110009-01	18110009-02	18110009-03	18110009-04	18110009-05
Tipo de Producto	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Descripción del Punto	Celda 1 Aeromonas Hidrophila - Grafito	Celda 2 Pseudomonas Aeruginosa - Grafito	Celda 3 Aeromonas Hidrophila - Aluminio	Celda 4 Pseudomonas Aeruginosa - Aluminio	Celda 5 - Grafito
Fecha de Muestreo	23/11/18	23/11/18	23/11/18	23/11/18	23/11/18
Hora de Muestreo	09:00:00	09:00:00	09:00:00	09:00:00	09:00:00
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados	Resultados	Resultados
Bacterias Gram Negativa	-	-	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Bacterias Gram Positiva	-	-	Escaso	Escaso	Escaso

Leyenda: L.D = Límite de detección N.A. = No aplica

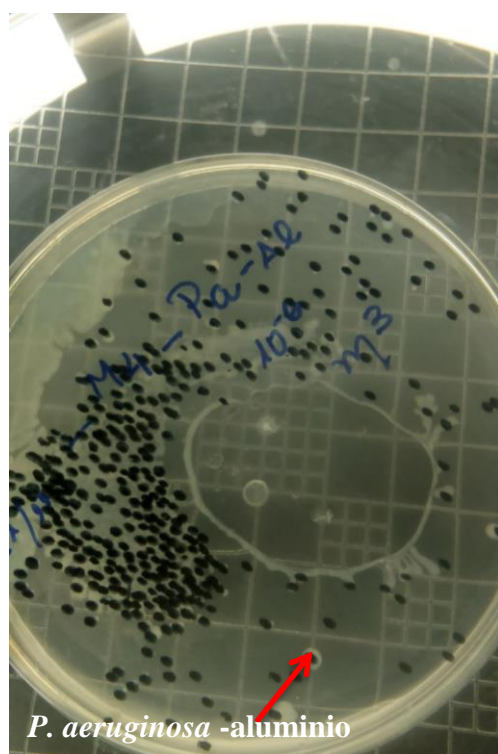
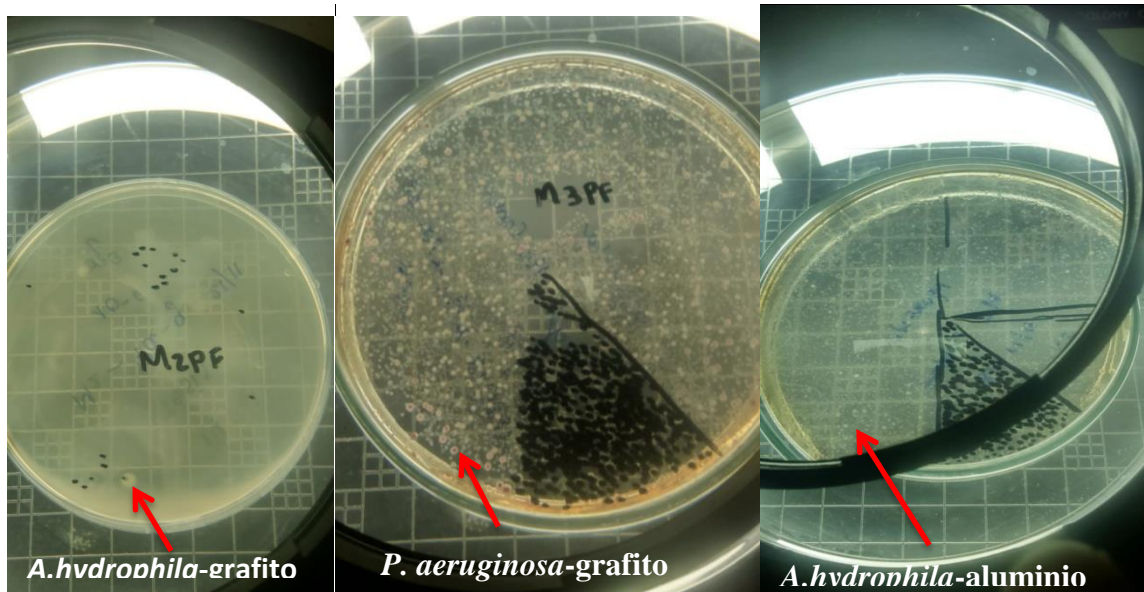
Cod. Cliente	M6-AL		
Cod. Lab.	18110009-06		
Tipo de Producto	Lodo		
Descripción del Punto	Celda 6 - Aluminio		
Fecha de Muestreo	23/11/18		
Hora de Muestreo	09:00:00		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Bacterias Gram Negativa	-	-	Abundancia
Bacterias Gram Positiva	-	-	Escaso

Leyenda: L.D = Límite de detección N.A. = No aplica

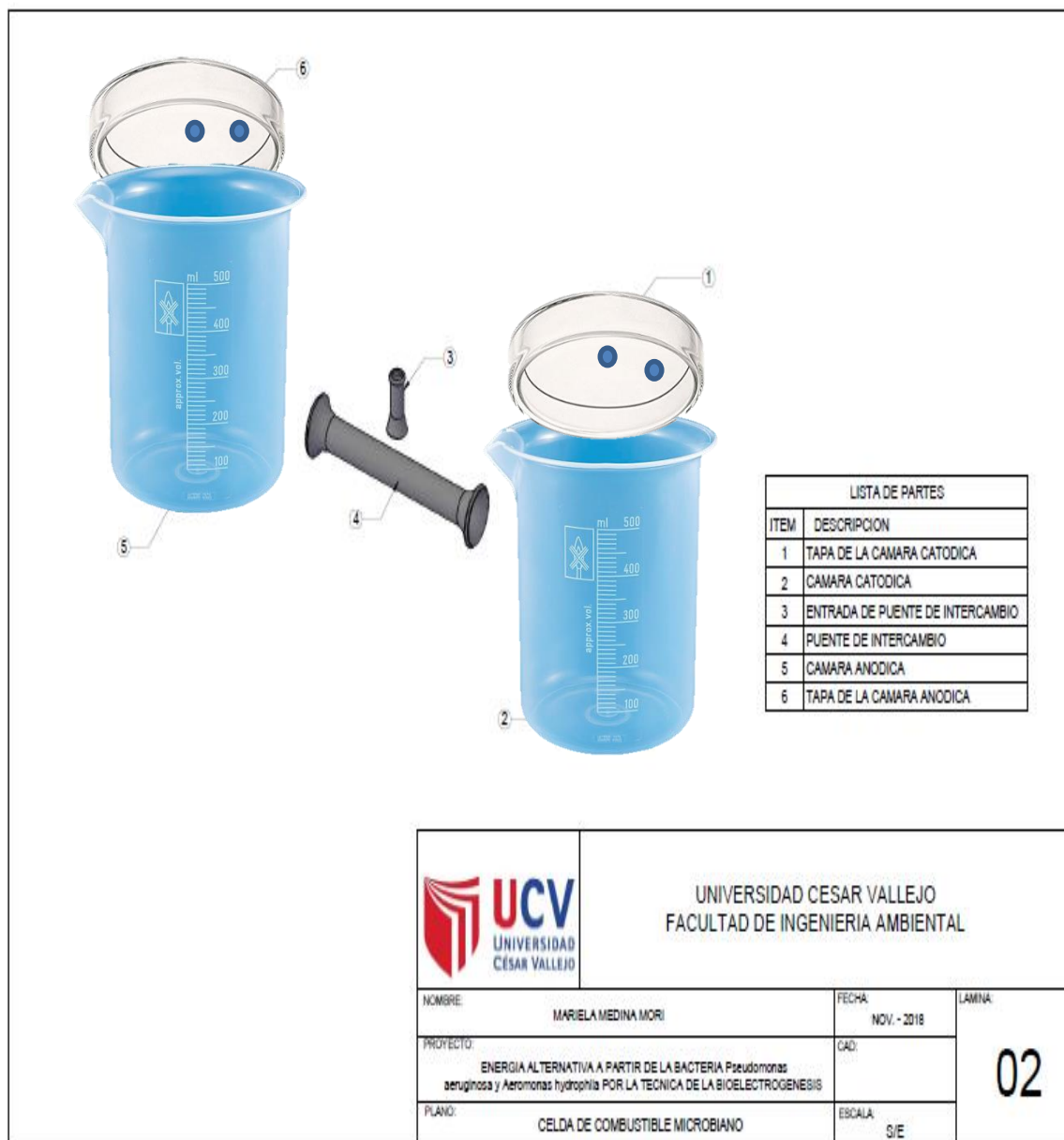
ANEXO 10: DATOS DE MONITOREO DE LODO DE CITRAR –UNI



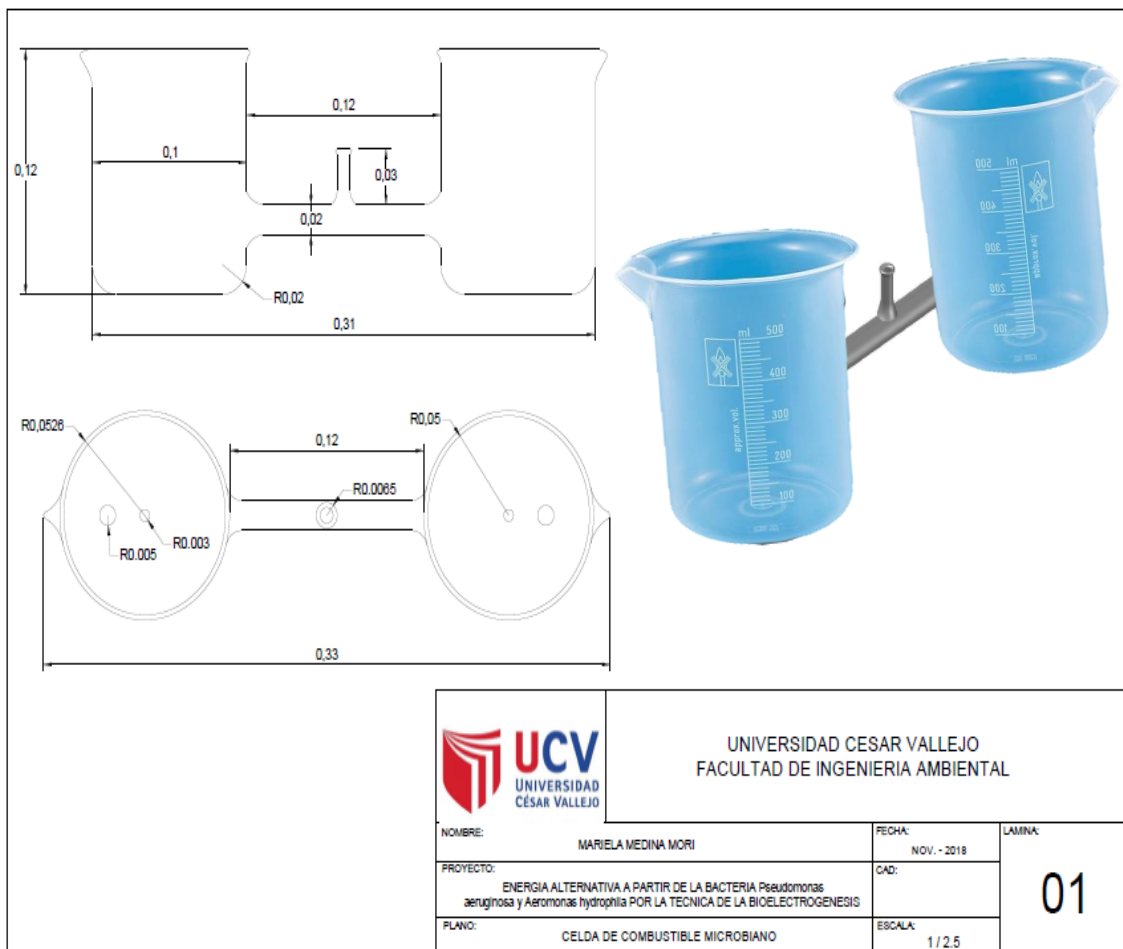
ANEXO 11: CONTEO DE BACTERIAS POR PLACAS



ANEXO 12: DISEÑO DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO EN 3D



ANEXO 13: VISTA DE PLANTA DEL DISEÑO DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO



ANEXO 14: INFORME DE RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL LODO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL – UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE RESULTADOS DE MEDICION DE PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

Nombre: Medina Mori, Mariela

Dirección: Calle Panamá D-17 San Martin de Porres

Teléfono: 966720337

Tipo de ensayo: Análisis físico químicos

Identificación de muestras: Tratamientos

Número de muestras: 4

Tipo de muestras: Lodo anaerobio

Parámetros	Unidades	Método	Equipo	Código interno
pH	-	APHA-AWWA-WEF (2012)5210 B	Multiparámetro o Hanna Edge	6053633
Temperatura	°C			
Conductividad	μS/cm			
Turbidez	NTU			
OD	ppm			

Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 1- Fechas: 17 de Octubre del 2018

Parámetros	Inicial	Final			
		C1:A.hydrophila -grafito	C3:A.hydrophila -aluminio	C2:P.aeruginosa -grafito	C4:P.aeruginosa -aluminio
pH	7.82	7.8	8.02	7.90	8.09
Temperatura (°C)	20.5	20.6	20.7	20.2	20.8
Conductividad (μS/cm)	0.264	9.60	4.92	5.50	1.82
Turbidez (NTU)	122	100.2	83.1	101.2	85.2
OD (ppm)	7.01	2.15	7.33	9.51	7.25
DQO	347	-	-	-	-

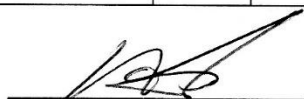
DBO ₅ (mg/l)	179	-	-	-	-
SST (mg/l)	237	-	-	-	-

Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 2-Fecha: 24 de octubre del 2018

Parámetros	inicial	Final			
		C1:A.hydrophila -grafito	C3:A.hydrophila -aluminio	C2:P.aeruginosa -grafito	C4:P.aeruginosa -aluminio
pH	8.0	8.00	8.06	7.95	8.11
Temperatura (°C)	22.6	22.8	22.9	22.4	22.9
Conductividad (μS/cm)	3.13	13.82	7.83	8.48	3.71
Turbidez (NTU)	77.9	50.1	33.0	61.6	35.4
OD (ppm)	5.12	0.64	5.49	8.24	5.46

Parámetros físico-químicos del sustrato (lodo-agua residual) de los tratamientos para la Repetición 3- Fecha: 31 de Octubre del 2018

Parámetros	inicial	Final			
		C1:A.hydrophila -grafito	C3:A.hydrophila -aluminio	C2:P.aeruginosa -grafito	C4:P.aeruginosa -aluminio
pH	8.0	8.05	8.04	7.90	8.15
Temperatura (°C)	22.3	22.4	22.7	22.5	22.7
Conductividad (μS/cm)	3.10	13.80	7.80	8.40	3.70
Turbidez (NTU)	77.0	50.0	33.6	61.0	35.1
OD (ppm)	5.19	0.60	5.59	8.34	5.56




Hilder Román Pérez

ASISTENTE DE LABORATORIO

UCV-LIMA NORTE

ANEXO 15: FICHAS VALIDADAS POR EXPERTOS



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: V. Alverde V. Johnny

1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la U.C.V.

1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recol. datos según condiciones

1.4. Autor(A) de Instrumento: Mariela Medina Mori

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												✓	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												✓	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												✓	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												✓	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												✓	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												✓	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												✓	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

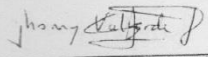
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 08 de Jun. del 2018



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 18120253 Telf: 949585952



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Volverde Velarde, Johnny
 1.2. Cargo e institución donde labora: U.C.V. (Docente)
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recolección de datos adaptada bacteria
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Marcela Medina Morán

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 08 de Julio del 2018

Johnny Velarde
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

18120253 94958592
DNI No..... Telf:.....



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Valverde V., Thony
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la U.C.V.
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de rec. dato medición voltage.
 1.4. Autor(A) de Instrumento:

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 08 de Julio del 2018

Thony Valverde V.
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

1812023 999885912
DNI No. Telf.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: Iziga Guicodora Rogur
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente T.P
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recolección según condiciones de operación
 1.4. Autor(A) de Instrumento: M. Sc. E. P. J. S. C. J. S. C. J. S. C.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										/			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										/			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										/			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										/			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										/			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										/			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										/			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										/			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										/			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										/			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

/

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85 %

Lima, 8 de mayo del 2016


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 09647362 Telf.: 991669738

CBP 12446



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Iziga Guicochea Roger
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente T.P.
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha recol. datos para adaptación Baderio
 1.4. Autor(A) de Instrumento:

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.									✓				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.									✓				
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.									✓				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.									✓				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales									✓				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.									✓				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.									✓				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									✓				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									✓				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.									✓				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

✓

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

80 %

Lima, 8 de mayo del 2018

Roger Iziga
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 09647567 Telf.: 991669738



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:..... Izige Ocicochea Roger.....
 1.2. Cargo e institución donde labora:..... Docente T.P......
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación:..... Ficha de recolección datos medición voltaje.....
 1.4. Autor(A) de Instrumento:..... Martela Medina M.O.N......

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										/			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										/			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										/			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										/			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										/			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										/			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										/			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										/			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										/			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										/			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

✓

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85 %

Lima, 8 de mayo del 2016

Roger Izige
FIRMA DEL EXPERTO INFCRMANTE

DNI No. 09647562 Telf: 991605738



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Quintana, Daitan
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha recolección datos para la aceptación bacteria
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Marcela Medina Mari

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												✓	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												✓	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												✓	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												✓	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												✓	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												✓	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												✓	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

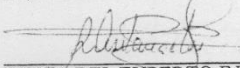
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

✓

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, del 2018


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 07491144 Telf.: 9709-14337



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Quintana Paiton, I
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente U.C.V.
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recolección según copacalinos
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Martela Medina Mori

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												✓	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												✓	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												✓	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												✓	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												✓	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												✓	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												✓	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

✓

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, del 2018

Quintana Paiton, I
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 07491144 Telf.: 9709-14337



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Quintana Paitan
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente U.C.V.
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recolección de datos según condic. op. (Medición Voltaje)
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Mariela Medina Mori

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

✓

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, del 2018


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

 DNI No. 07491144 Telf.: 9709-14334

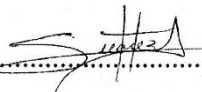
Yo, ...Chay deé... Puarez Calvites....., docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional de Ing. Ambiental, de la Universidad César Vallejo Ln (precisar filial o sede), revisor(a) de la tesis titulada:

" Energía alternativa a partir de la bacteria Pseudomonas aeruginosa y Aeromonas hydrophila por la técnica de la bioelectrogénesis "

del (de la) estudiante **Mariela Medina Mori** constató que la investigación tiene un índice de similitud de 4.3.. % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Los olivos7... de ...diciembre... de 2018

Firma de Docente

DNI: 07088154.....

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SCC	Aprobó	Vicerrectorado Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	------------------------------





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“ENERGÍA ALTERNATIVA A PARTIR DE LA
BACTERIA *Pseudomonas aeruginosa* Y *Levomonas
hydrophila* POR LA TÉCNICA DE LA
BIOELECTROGÉNESIS”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**



AUTORA:
Mariela Mori, Mariela

ASESORA:
Mg. Hupacé Suarez Alvites

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
Gestión de riesgos y adaptación al Cambio Climático

Página: 1 de 133

Número de palabras: 23734

Text-only Report

High Resolution Activado

Resumen de coincidencias

13 %

1	www.redalyc.org	1 %
2	repository.uamerica.ed...	1 %
3	2fwww.redalyc.org	1 %
4	www.slideshare.net	<1 %
5	Entregado a Pontificia ...	<1 %



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV

Código : F08-PP-PR-02.02
 Versión : 09
 Fecha : 23-03-2018
 Página : 1 de 7

Yo, M. Medina, María Y. Susilo identificado con DNI N° 33429441
 Egresado(a) de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL. De la
 Universidad César Vallejo, autorizo (X), No autorizo () la divulgación y
 comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado:

"Energía alternativa a partir de la bacteria
 Paucidamonas aeruginosa y Aeromonas hydrophila
 por la técnica de la bioelectrogeneración";

en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>),
 según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derechos de
 Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

 FIRMA

DNI: 33429441.....



[Handwritten signature]

FECHA: Los Olivos7.....de diciembre del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

MEDINA MORI, Mariela

INFORME TÍTULADO:

**“Energía alternativa a partir de la bacteria Pseudomonas aeruginosa y
Aeromonas hydrophila por la técnica de la bioelectrogénesis”**

”

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERA AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: 07/12/2018

NOTA O MENCIÓN:




FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Elmer Benites Alfaro