



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de  
combustible microbiana en un humedal

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Damian Macha, Danny Robert (ORCID: 0000-0002-5609-2798)

**ASESOR:**

Mg. Suárez Alvites, Haydeé (ORCID: 0000-0003-2750-0980)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA- PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

A Dios, por encaminarme en el camino del bien para mantener la ayuda al prójimo y ayudarnos a alcanzar nuestros sueños.

A mis queridos padres Francisco de Paula Damian Bruno y Eugenia Victoria Macha Bruno, por su enorme cariño y ser mi apoyo, consejo y motivación constante para cumplir las metas de la vida por ser el motivo por el cual me sigo esforzando para ser mejor profesional y mejor persona. A mi hermano Milán por ser como mis padres perseverar y conseguir lo que uno se propone a mis apreciados familiares que siempre me aconsejan a seguir teniendo metas y trabajar duro para alcanzarlas

**Damian Macha, Danny Robert**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios Todo poderoso por mantenernos con salud y bienestar para seguir luchando para alcanzar nuestras metas.

A mis padres, familiares y amigos por estar siempre ahí acompañándome y guiándome para ser mejor persona, gracias a mis maestros por el conocimiento que me brindaron y ser mejor profesional, agradecer también a la universidad Cesar Vallejo que nos da la oportunidad de crecer profesionalmente y seguir adelante

## Índice de Contenidos

|   |      |
|---|------|
| DEDICATORIA   | i    |
| AGRADECIMIENTO  | ii   |
| Índice de Contenidos  | iii  |
| Índice de tablas  | v    |
| Índice de gráficos y figuras  | vi   |
| RESUMEN   | viii |
| ABSTRACT  | ix   |
| I. INTRODUCCIÓN   | 1    |
| II. MARCO TEÓRICO   | 5    |
| III. METODOLOGÍA  | 29   |
| 3.1. Tipo, diseño y nivel de la investigación   | 29   |
| 3.2. Variables y Operacionalización   | 29   |
| 3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis  | 29   |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos  | 30   |
| 3.5. Procedimiento  | 31   |
| 3.6. Método de análisis de datos  | 39   |
| 3.7. Aspectos éticos  | 40   |
| IV. RESULTADOS  | 41   |
| 4.1. Caracterización del agua natural de la Laguna de Paca.   | 41   |
| 4.2. Efecto de la distancia entre los electrodos en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. | 41   |
| 4.3. Efecto del volumen del agua en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.                 | 48   |
| 4.4. Evaluación del tiempo del proceso para la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.         | 54   |
| 4.5. Producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.                                     | 58   |
| V. DISCUSIÓN  | 66   |
|   | iii  |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1. Efecto de la distancia entre los electrodos en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. | 66  |
| 5.2. Efecto del volumen del agua en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.                 | 66  |
| 5.3. Evaluación del tiempo del proceso para la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.         | 67  |
| 5.4. Producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.                                     | 68  |
| VI. CONCLUSIONES  | 71  |
| VII. RECOMENDACIONES  | 73  |
| REFERENCIAS   | 74  |
| ANEXOS FALTA LA CONSTANCIA DEL TURNITIN   | 82  |
| Anexo N° 1. Declaración de originalidad de las autoras  | 82  |
| Anexo N° 2. Matriz de operacionalización de variables   | 83  |
| Anexo N° 3. Instrumentos  | 84  |
| Anexo N° 4. Validación de instrumentos  | 90  |
| Anexo N° 5. Reporte del laboratorio LABECO  | 108 |
| Anexo N° 6. Resultados de porcentaje de similitud según el Turnitin   | 116 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Fichas de recolección de datos  | 30 |
| <b>Tabla 2</b> Validación de instrumentos   | 31 |
| <b>Tabla 3</b> Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua.   | 41 |
| <b>Tabla 4</b> Voltaje (mV).  | 42 |
| <b>Tabla 5</b> Intensidad de corriente (mA)   | 43 |
| <b>Tabla 6</b> Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> )   | 44 |
| <b>Tabla 7</b> Potencia (mW)  | 45 |
| <b>Tabla 8</b> Densidad de potencia (mW/m <sup>2</sup> )  | 46 |
| <b>Tabla 9</b> Voltaje (mV)   | 49 |
| <b>Tabla 10</b> Intensidad (mA)   | 50 |
| <b>Tabla 11</b> Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> )  | 51 |
| <b>Tabla 12</b> Potencia (mW)   | 52 |
| <b>Tabla 13</b> Densidad de corriente (mW/m <sup>2</sup> )  | 53 |
| <b>Tabla 14</b> Voltaje (mV)  | 55 |
| <b>Tabla 15</b> Cálculos obtenidos del voltaje con relación al tiempo del proceso de producción de electricidad | 57 |
| <b>Tabla 16</b> Datos obtenidos en la producción de electricidad.   | 58 |
| <b>Tabla 17</b> Resumen del diseño  | 61 |
| <b>Tabla 18</b> Información del factor  | 61 |
| <b>Tabla 19</b> Análisis de varianza de la producción de electricidad.  | 61 |

## Índice de gráficos y figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Humedal de superficie de agua libre (FWS).   | 21 |
| <b>Figura 2.</b> Humedal de flujo subsuperficial horizontal (SSF), alimentado por subsuperficial, común en los EE. UU. La vista es una sección a lo largo de la cama. | 23 |
| <b>Figura 3.</b> SSF horizontal, alimentado en superficie, común en el Reino Unido. La vista es una sección a lo largo de la cama.                                    | 23 |
| <b>Figura 4.</b> SSF vertical, alimentado en superficie, común en Alemania. La vista es una sección a lo largo de la cama.  | 24 |
| <b>Figura 5.</b> Diagrama generalizado de una pila de combustible microbiana.   | 25 |
| <b>Figura 6.</b> El principio de funcionamiento de la vía del metabolismo energético  | 26 |
| <b>Figura 7.</b> Diagrama del procedimiento del proyecto de investigación.  | 32 |
| <b>Figura 8.</b> Plantas de totora en la laguna de Paca.  | 32 |
| <b>Figura 9.</b> Recojo de las plantas de totora en la laguna de Paca.  | 33 |
| <b>Figura 10.</b> Toma de muestra de agua.  | 33 |
| <b>Figura 11.</b> Georreferenciación de la toma de muestra del agua.  | 34 |
| <b>Figura 12.</b> Traslado de las totoras.  | 34 |
| <b>Figura 13.</b> Cámaras de poliestireno.  | 35 |
| <b>Figura 14.</b> Dimensionamiento de las PMFC.   | 35 |
| <b>Figura 15.</b> Construcción de las PMFC.   | 36 |
| <b>Figura 16.</b> Rellenado de PMFC.  | 37 |
| <b>Figura 17.</b> Distancia entre el ánodo y cátodo.  | 38 |
| <b>Figura 18.</b> Puesto en funcionamiento del PMFC.  | 38 |
| <b>Figura 19.</b> Medición de la generación de electricidad en la PMFC.   | 39 |
| <b>Figura 19.</b> Medición del voltaje generado en la PMFC.   | 39 |
| <b>Figura 8</b> Variación del voltaje con relación a la distancia de los electrodos.  | 42 |
| <b>Figura 9</b> Variación de la intensidad de corriente con relación a la distancia de los electrodos.  | 43 |
| <b>Figura 10</b> Variación de la densidad de corriente con relación a la distancia de los electrodos  | 45 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 11</b> Variación de la potencia con relación a la distancia de los electrodos.            | 46 |
| <b>Figura 12</b> Variación de la densidad potencial con relación a la distancia de los electrodos.  | 47 |
| <b>Figura 13</b> Grafica de efectos principales para la producción de electricidad.                 | 48 |
| <b>Figura 14</b> Variación del voltaje con relación al volumen de agua                              | 49 |
| <b>Figura 15</b> Variación de la intensidad de corriente con relación al volumen de agua.           | 50 |
| <b>Figura 16</b> Variación de la densidad de corriente con relación al volumen de agua.             | 51 |
| <b>Figura 17</b> Variación de la potencia con relación al volumen de agua.                          | 52 |
| <b>Figura 18</b> Variación de la densidad potencial con relación al volumen de agua.                | 53 |
| <b>Figura 19</b> Grafica de efectos principales para la producción de electricidad – Volumen        | 54 |
| <b>Figura 20</b> Variación del voltaje con relación al tiempo de proceso en horas.                  | 56 |
| <b>Figura 21</b> Variación del voltaje con relación al tiempo de proceso en días.                   | 57 |
| <b>Figura 22</b> Producción de electricidad.  | 59 |
| <b>Figura 23</b> Variación de la densidad de corriente en función del voltaje y densidad potencial. | 60 |
| <b>Figura 23</b> Producción de electricidad.  | 62 |
| <b>Figura 24</b> Diagrama de Pareto de la producción de electricidad.                               | 63 |

## RESUMEN

Los humedales artificiales (HA) y las pilas de combustible microbianas (MFC) son tecnologías compatibles, ya que ambas dependen de las acciones de las bacterias para eliminar los contaminantes de las aguas residuales. Los MFC requieren que el ánodo permanezca anaeróbico con el cátodo expuesto al oxígeno, mientras que estas condiciones redox pueden desarrollarse de forma natural en las HA. Por esta razón, la investigación para combinar las dos tecnologías (denominada HA-MFC) ha surgido en los últimos años con el objetivo de producir energía eléctrica. Por tal motivo se evaluó la producción de electricidad en una pila de combustible microbiana en un humedal. Se manejó distancia de separación entre los electrodos de 10 cm a 20 cm; volumen del agua de 100 mL a 200 mL y un tiempo de 15 días a 30 días. Antes de tomar las medidas del voltaje producido se esperaron 20 días de aclimatación de la totora en el humedal diseñado, pasados esos días recién se empezó a realizar la toma del voltaje con una resistencia constante de 1000  $\Omega$  y un área de los electrodos de grafito circulares de 10.93mm<sup>2</sup>. Se produjo electricidad a un valor máximo de 9.66 W/m<sup>2</sup> en la densidad potencial, un voltaje de 105.6 mV, el cual se obtuvo a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm; volumen del agua de 100 mL y un tiempo de 15 días.

Palabras clave: Pila de combustible microbiana, Humedal, electricidad y producción.

## **ABSTRACT**

Constructed wetlands (HA) and microbial fuel cells (CFM) are compatible technologies, as they both rely on the actions of bacteria to remove pollutants from wastewater. MFCs require the anode to remain anaerobic with the cathode exposed to oxygen, whereas these redox conditions can develop naturally in HAs. For this reason, research to combine the two technologies (called HA-MFC) has emerged in recent years with the aim of producing electrical energy. For this reason, the production of electricity in a microbial fuel cell in a wetland was evaluated. Separation distance between the electrodes was managed from 10 cm to 20 cm; water volume from 100 mL to 200 mL and a time of 15 days to 30 days. Before taking the measurements of the voltage produced, 20 days of acclimatization of the reed in the designed wetland were waited, after those days, the voltage measurement began with a constant resistance of 1000  $\Omega$  and an area of circular graphite electrodes. 10.93mm<sup>2</sup>. Electricity was produced at a maximum value of 9.66 W/m<sup>2</sup> in potential density, a voltage of 105.6 mV, which was obtained at a separation distance between the electrodes of 10 cm; 100 mL water volume and a time of 15 days.

Keywords: Microbial fuel cell, Wetland, electricity and production.

## I. INTRODUCCIÓN

Las crecientes demandas de energía, junto con las preocupaciones sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y el agotamiento de los combustibles fósiles, han llevado a estrictos objetivos de política de energía renovable en todo el mundo (Castresana, Martinez, Freeman, Eslava, y Di Lorenzo, 2019). Además, el consumo de energía a nivel mundial se duplicó entre 1971 y 2001 (Talebian-Kiakalaieh, Amin, y Mazaheri, 2013) y se espera que muestre un aumento del 48 % para 2040 (Wan Alwi, Klemeš, y Varbanov, 2016). En Europa, por ejemplo, la Directiva de Energía Renovable ha establecido una meta de 20 % de generación de energía a partir de fuentes renovables para 2020, estos objetivos fuerzan el interés en el desarrollo de tecnologías innovadoras de energía que puedan ayudar a garantizar su logro (Castresana et al. 2019).

Actualmente no todos los peruanos cuentan con energía eléctrica, ya que requieren una gran inversión por parte del sector público o privado para dar este servicio, asimismo la población más perjudicada que no cuenta con este servicio son los que tienen bajos recursos y viven en zonas alejadas y con poca población (Flores et al. 2018). Las energías renovables proponen una opción a estas personas para poder tener acceso a la electricidad. La visión que se tiene para alcanzar un desarrollo constante del Perú, tiene que partir cumpliendo las necesidades básicas de sus poblaciones esencialmente brindar energía a lugares alejados. Cuando la población tenga electricidad teniendo como fuente al panel solar, una turbina eólica o cualquier tipo de energía que al ser combinado con una batería. La energía al ser almacenada en la batería tendrá un mejor uso por la población, cumpliendo sus actividades esenciales y de desarrollo personal, es así que las energías renovables de pequeña escala es lo propicio para lugares rurales debido a que son económicos para su operación (Flores et al. 2018).

El acoplamiento de humedales construidos (CW) y las pilas de combustible microbianas (MFC) se ha estudiado durante los últimos 5 años y todavía está en la etapa de desarrollo para el tratamiento de aguas residuales y la generación de bioelectricidad (Doherty et al. 2015b). La mayoría de los estudios con CW e MFC están diseñados para obtener la máxima electricidad al optimizar el alto gradiente redox dentro del CW e MFC utilizando aguas residuales sintéticas, aguas

residuales de lodos porcinos o aguas residuales municipales (Doherty et al. 2015b).

En ese contexto, las MFC son sistemas bioelectroquímicos que generan corriente por medio de microorganismos electroquímicamente activos como catalizadores. En una MFC, los sustratos orgánicos e inorgánicos son oxidados por bacterias y los electrones son trasladados al ánodo. Donde electrones pasan por un material conductor y una resistencia a un receptor de electrones (rèdox superior), como el oxígeno, en el cátodo (Logan et al. 2006).

Para el desarrollo de la siguiente investigación, se planteó el siguiente **problema general**: ¿Cuánto fue la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal? También se planteó las siguientes **interrogantes específicas**: ¿Cómo afecto la distancia de los electrodos en la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal?, ¿Cómo el volumen del agua afecto en la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal? y ¿Cómo el tiempo del proceso influyó en la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal?

Existe una necesidad urgente de abordar los problemas gemelos del mundo moderno que son la inseguridad energética y el cambio climático causados por el agotamiento de los combustibles fósiles y el calentamiento global, respectivamente, el uso de combustibles fósiles en los últimos años se ha acelerado, lo que condujo a una crisis energética mundial (Lovley 2006). La energía renovable se considera una forma sostenible de aliviar la actual crisis del calentamiento global. Sin embargo, se han dedicado esfuerzos para desarrollar mecanismos alternativos para la generación de electricidad, también se desea que el mecanismo de producción de electricidad provenga de recursos renovables sin una emisión neta de dióxido de carbono (Anastasiou, Lorentz, Stein, y Mitchell, 2014).

La producción de electricidad a partir de materia orgánica con celdas de combustible microbianas es un concepto que se remonta a casi 100 años (Shukla, Suresh, Berchmans, y Rajendran, 2004). En síntesis, una pila de combustible microbiana (MFC) es un dispositivo bioelectroquímico que puede

generar electricidad utilizando electrones los que son obtenidas de la oxidación anaeróbica de sustratos, asimismo el MFC consta de dos partes: un ánodo y un cátodo, los que se encuentran separados por una membrana de intercambio de protones (PEM). La oxidación anaeróbica de sustancias orgánicas como acetato, glucosa, lactato, etanol (Pant, Van Bogaert, Diels, y Vanbroekhoven, 2010), se da en el compartimento anódico, donde son liberados: protones, electrones y dióxido de carbono. Seguidamente, los protones y electrones se transfieren de la cámara del ánodo hacia la cámara del cátodo por medio del PEM y un circuito externo, respectivamente. Esta transferencia de electrones del ánodo al cátodo produce una corriente eléctrica (Logan et al. 2006).

Se está prestando mucha atención a la generación de bioelectricidad empleando humedales construidos (CW) combinados con celdas de combustible microbianas (MFC) como una tecnología alternativa y ecológica en todo el mundo y está ganando prominencia debido a su naturaleza limpia, eficiente y renovable.

La información recopilada y procesada servirá de antecedente ya que se obtendrá datos de la producción de energía eléctrica a partir de la construcción de un humedal, además de los efectos de los factores que determinan sus propiedades físicas y químicas en la obtención de bioelectricidad como una alternativa verde y sostenible.

Las energías renovables a pequeña escala es lo más recomendable para zonas rurales debido a que son económicos

En base a ello, el **objetivo general** de la investigación fue determinar la producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. Asimismo, los **objetivos específicos** son: determinar el efecto que tendrá la distancia entre los electrodos en la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal, determinar el efecto que tendrá el volumen de agua en la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal y evaluar el tiempo del proceso para la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.

La **hipótesis general** de la investigación fue: La producción de electricidad producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal está determinada por la distancia entre electrodos, el volumen del agua y el tiempo del proceso. Asimismo, las **hipótesis específicas** son: La distancia entre electrodos influye en la captación de oxígeno y sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal, El volumen del agua influye en las condiciones redox más altas en los humedales haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal y el tiempo del proceso influye en la generación de mayores sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

## II. MARCO TEÓRICO

Obileke et al. (2021) evaluaron la producción de electricidad a partir de los electrones que se liberaban por reacciones bioquímicas que eran generadas fácilmente por la presencia de microbios. La celda de combustible microbiana (MFC) representa un enfoque ecológico para generar electricidad mientras se purifican las aguas residuales al mismo tiempo, logrando hasta un 50 % de eliminación de la demanda de oxígeno químico y densidades de potencia en el rango de  $420 \text{ mW/m}^2$  –  $460 \text{ mW/m}^2$ . El sistema hace uso de la cualidad metabólica de las bacterias para producir electricidad. Esta pequeña revisión es bastante integrada. Diferente de otras revisiones, incluye y se centra en tipos de MFC: sustratos y microbios; áreas de aplicación; actuaciones del dispositivo; diseño y configuración tecnológica. Todos estos fueron evaluados, presentados y discutidos a los que ahora se puede acceder en un solo artículo. Se descubrió que se podía lograr una mayor densidad de potencia y eficiencia coulombica mediante la selección adecuada de microbios, el modo de funcionamiento, un material adecuado para la construcción y tipos de MFC mejorados. Además, la aplicación a gran escala de MFC se ve obstaculizada por el costo de los materiales y la baja capacidad de almacenamiento de las aguas residuales. Si bien la electricidad generada aún se encuentra en etapa de demostración, hasta la fecha no existe una aplicación industrial.

Krithika et al. (2021) buscaron un posible consorcio bacteriano ligninolítico decolorante de tinte para la degradación de la mezcla de tinte azo con la generación de electricidad en una celda de combustible microbiana de doble cámara. En el presente estudio, se investigó al consorcio bacteriano WGC-D por su capacidad para producir electricidad con la degradación de la mezcla de colorantes directos azo. Para ello, se montó una pila de combustible microbiana de doble cámara. El consorcio bacteriano WGC-D se inoculó en la cámara del ánodo y el MFC se hizo funcionar durante 7 días. Los estudios espectrales UV-visible y FTIR fortalecieron el mecanismo de biodegradación de los componentes del tinte por parte del consorcio. El estudio de GCMS reveló la biotransformación de moléculas de tinte en varias moléculas más pequeñas durante el proceso de degradación. El MFC generó hasta 673 mV durante el período de operación, lo que reveló la naturaleza electrogénica del consorcio bacteriano. La formación de

biopelículas bacterianas en el ánodo de tela de carbono se observó mediante análisis FESEM. El estudio voltamétrico cíclico confirmó la transferencia de electrones extracelulares (EET) del consorcio al ánodo.

Wang et al. (2020) las pilas de combustible microbianas de humedales construidas (CWL-MFC) son una tecnología ecológica y sostenible que implementa simultáneamente la eliminación de contaminantes y la producción de electricidad. Según una investigación intensiva durante los últimos cinco años, esta revisión sobre el mecanismo de operación se llevó a cabo para una comprensión profunda y una guía de aplicación de los CWL-MFC. El mecanismo electroquímico basado en la oxidación anódica y la reducción catódica es el núcleo para un tratamiento mejorado en CWL MFC en comparación con CWL. Como comunidad bacteriana dominante, la abundancia y los patrones de expresión génica de las bacterias electroactivas responden a los potenciales de los electrodos y las cargas de contaminantes, lo que afecta aún más la eficiencia operativa de las CWL-MFC. Las plantas se benefician de la eliminación de DQO y N al suministrar oxígeno para la degradación aeróbica y secreciones de la rizosfera para los microorganismos. La configuración de múltiples electrodos, los electrodos a base de carbono y los sustratos porosos ricos afectan la resistencia de transferencia y las comunidades bacterianas. Las posibilidades de que los CWL-MFC se dirijan a contaminantes recalcitrantes como los retardadores de llama y las interacciones entre cadenas entre los componentes del efecto necesitan una investigación sistemática.

Chu et al. (2021) su objetivo fue mejorar la eficiencia de las membranas tradicionales de intercambio de protones mediante la sustitución mediante el uso de membranas cerámicas por cátodos de microalgas bajo diversos campos magnéticos (MF) de 100 mT e 300 mT en una pila de combustible microbiana cerámica (CMFC). Los resultados experimentales mostraron que la generación de energía se puede mejorar en un 61 % al implementar un MF de 200 mT. La aplicación de una intensidad de MF más alta, hasta 200 mT, aumentó la generación de carga eléctrica, pero la disminuyó con un valor de MF más alto. Además, el MF tenía la capacidad de mejorar la densidad de potencia del CMFC, y se logró una densidad de potencia máxima de  $35.9 \text{ mW m}^{-2}$  y una densidad de corriente máxima de  $158.7 \text{ mA m}^{-2}$  con el MF de 200 mT. Además, el biocátodo

mantiene un valor de pH estable que obtuvo más biomasa de microalgas mediante la estimulación de 200 mT MF. El trabajo adicional se centrará en optimizar la intensidad de MF adecuada junto con la capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por microalgas en CMFC.

Martinez y Di Lorenzo (2019a) desarrollaron un dispositivo de celda de combustible microbiana de cátodo de aire flotante y demostrar la generación de electricidad a partir de digestato fresco, recolectado directamente del efluente de un digestor anaeróbico sin tratamiento previo, utilizado como electrolito, combustible y fuente de bacterias electroactivas. Las pilas de combustible flotantes se caracterizan por un diseño no tan complejo pero innovador. No se utiliza aceleradores metálicos en el cátodo y no se requiere hacer uso de la membrana debido a la creación de capas verticales natural de microorganismos en el digestato que evita el transporte de oxígeno al ánodo. Tanto la cantidad de humedad como el área superficial del ánodo son mejorados con un pretratamiento de dos pasos, que mejora el rendimiento electroquímico del electrodo, que produce la llegada a un pico de oxidación dos veces mayor que el del electrodo sin tratamiento. Una celda de combustible microbiana generó un pico de potencia de  $0.043 \pm 0.001$  Mw. Dicha potencia aumentó linealmente cuando se conectaron varias unidades eléctricamente en paralelo en una pila y llegó a un valor de 0.43 mW (correspondiente a  $51 \pm 2$  mW m<sup>-3</sup>) lo que se hizo con diez unidades. Teniendo en cuenta la simplicidad y la facilidad de encontrar los insumos para la construcción MFC del diseño propuesto, este trabajo deja antecedentes para una alternativa prometedora y amigable con el medio ambiente.

Long et al. (2019) construyeron un sistema de celda de combustible microbiana de flujo continuo (MFC) para tratar aguas residuales de colorante azoico durante 400 días. Se analizaron las propiedades eléctricas del MFC después de 400 días de funcionamiento y las eficiencias de eliminación del MFC después de un funcionamiento a largo y corto plazo con respecto a las concentraciones de cosustrato. La potencia de salida del sistema MFC disminuyó de 586 mV a 330 mV con el aumento del tiempo de operación, y las eficiencias de remoción del MFC permanecieron estables después de una operación a largo plazo en comparación con las de una operación a corto plazo, incluso cuando el

cosustrato se redujo la concentración. El análisis de los productos de degradación mostró que los productos generados por el funcionamiento a largo plazo del MFC estaban presentes en concentraciones bajas. El análisis de la cantidad de microorganismos mostro que su abundancia parcial de microorganismos se relacionó con la degradación de materia orgánica en el MFC. Que aumentó después del funcionamiento a largo plazo, y los microorganismos en relación con la generación de electricidad fue disminuyendo.

An et al. (2020) evaluaron la comparación de la densidad de potencia máxima y la eficiencia de eliminación de etanolamina utilizando dos reactores en una MFC con diferentes volúmenes de trabajo. Se hicieron experimentos utilizando un MFC ampliado con diferentes tasas de carga orgánica (OLR) de forma continua para tener una producción de electricidad sostenible en la operación y una capacidad de tratamiento que se mejora con un tiempo de retención hidráulica fijo (HRT) de 6.2 h. En experimentos comparativos para investigar los efectos de aumento de escala, la densidad de potencia máxima disminuyó significativamente de  $0.24 \text{ W m}^{-2}$  a  $0.085 \text{ W m}^{-2}$  debido al aumento del área de superficie en el electrodo de  $25 \text{ cm}^2$  a  $180 \text{ cm}^2$ . Sin embargo, se obtuvieron eficiencias de eliminación satisfactorias de la demanda química de oxígeno (DQO) y amoníaco en los experimentos de MFC a escala en el modo de alimentación por lotes con diferentes concentraciones de etanolamina (es decir,  $100 \text{ mg L}^{-1}$  y  $250 \text{ mg L}^{-1}$ ). Además, las eficiencias de eliminación de DQO y amoníaco tuvieron influencia de las condiciones experimentales en el modo continuo con diferentes OLR ( $0,27$ ,  $0,66$  y  $1,33 \text{ g DQO L}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ). Estos resultados ponen en evidencia cuán importante es de garantizar OLR óptimos como factor esencial para escalar un MFC en modo prolongado.

Barua et al. (2019) la pila de combustible microbiana (MFC), hace poco tiempo, se considera una alternativa prometedora a las fuentes de energía tradicionales-no renovables, ya que utiliza microorganismos para transformar la energía química de los compuestos orgánicos en electricidad. En un futuro, la producción electricidad por parte de los microorganismos puede convertirse en una forma importante de bioenergía debido a que la producción de electricidad es posible a través de MFC haciendo uso de variedad de desechos orgánicos complejos

solubles o insolubles como la biomasa renovable. En este estudio, se utilizaron MFC de cámara única y MFC de doble cámara para producir y enriquecer un consorcio microbiano para la generación de electricidad a partir de muestras de desechos orgánicos. También se aislaron, analizaron y evaluaron posibles bacterias electrogénicas del ánodo. La mayoría de ellos eran organismos gramnegativos y fermentativos. Su función electrogénica era prometedora y generaba hasta 5.05 voltios y 4.72 mA cuando se combinaban cinco cámaras dobles en conexión en serie. El aislamiento de estas bacterias y su empleo para la generación de electricidad puede generar un esfuerzo potencial en el sector energético en el futuro.

Páez et al. (2019) las pilas de combustible microbianas (MFC) son una alternativa para la producción de energía eléctrica basada en la oxidación de materia orgánica, por lo que las aguas residuales son consideradas como fuente de materia orgánica que puede ser transformada por microorganismos con capacidad de generar energía eléctrica. En síntesis, el uso de esta tecnología, hace posible cumplir con dos objetivos primero la producción de electricidad y la segunda la disminución de contaminantes que se encuentra en las fuentes que se van a tratar. En este trabajo, se montó un MFC de dos cámaras y se operó en modo discontinuo para evaluar los parámetros de producción de electricidad y reducción de DQO en un agua residual sintética (con una composición nutricional invariante), utilizando cepas de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. Se hizo uso de tela de carbón y grafito como electrodos y el azul de metileno como mediador. Los valores iniciales de pH de las aguas residuales sintéticas utilizadas como sustrato variaron en las pruebas. De acuerdo con las condiciones de operación descritas anteriormente, se obtuvo un valor promedio máximo de 464 mV para el voltaje en circuito abierto y una densidad potencial de 3.98 mW/m<sup>2</sup>, utilizando *Escherichia coli* con un valor de pH de 6.5, un mediador, y con grafito como el material para electrodos. Además, se logró una disminución significativa en la demanda química de oxígeno (DQO) con un 11.53 % para *E. coli* siendo la más alta. Por último, se realizaron la cuantificación microbiana, obteniendo un menor tiempo de crecimiento también para *Escherichia coli*.

Fakhiruddin et al. (2018) la celda de combustible microbiana (MFC) es un enfoque alternativo en la generación de energía renovable mediante la utilización

de bacterias que oxidarán sustratos orgánicos o inorgánicos, produciendo electrones producidos como energía eléctrica. Se han identificado varias especies de bacterias exoelectrogénicas que pueden generar electricidad en la MFC, haciendo uso de varios compuestos orgánicos como combustible. Se ha comprobado que la muestra de suelo tomada de un campo de arroz contiene bacterias exoelectrogénicas, por lo que se estudia la generación de electricidad utilizando el cultivo mixto originalmente encontrado en el suelo y el cultivo puro aislado del suelo. Esta investigación aislará las especies de bacterias exoelectrogénicas en el suelo de los arrozales responsables de la generación de energía. El crecimiento de bacterias separadas del MFC se observó midiendo la densidad óptica (DO), el peso de la densidad celular (CDW) y el recuento de células aptas. Las especies bacterianas mixtas que se encuentran en el suelo de los arrozales generan una potencia máxima de 77,62  $\mu\text{W}$  y 0,70 mA de corriente. Además, la investigación también muestra que la bacteria pura en el suelo de los arrozales puede producir la máxima potencia y corriente a 51,32  $\mu\text{W}$  y 0,28 mA respectivamente.

Según Tharali, Sain y Osborne (2016) la producción de bioelectricidad implica la generación de electricidad por digestión anaeróbica de sustratos orgánicos por microbios. Una pila de combustible microbiana (MFC) es un dispositivo que convierte la energía química liberada como resultado de la oxidación de fuentes complejas de carbono orgánico que los microorganismos utilizan como sustratos para producir energía eléctrica, demostrando así ser un medio eficiente de producción de energía sostenible. Los electrones que se liberaron a consecuencia del metabolismo microbiano se captaron para mantener una densidad de potencia constante, sin emitir carbono efectivo en el ecosistema. Los diversos parámetros involucrados en la tecnología MFC para la generación de energía incluyen la máxima densidad de energía, las eficiencias culómbicas y, a veces, la tasa de eliminación de la demanda química de oxígeno que evalúa la efectividad del dispositivo. La aplicación de microbios para la biorremediación al mismo tiempo que da como resultado la generación de electricidad hace que la tecnología MFC sea una propuesta muy ventajosa que se puede aplicar en varios sectores de la gestión de residuos industriales, municipales y agrícolas. Aunque la eficiencia de los MFC en la generación de energía inicialmente era

baja, las modificaciones recientes en el diseño, los componentes y el funcionamiento han mejorado la potencia de salida a un nivel significativo, permitiendo así la aplicación de los MFC en varios campos, incluido el tratamiento de aguas residuales, los biosensores y la biorremediación.

Según Wetser, Dieleman, Buisman, y Strik, (2017) diseñaron un humedal tubular con el ánodo directamente entre las raíces de la planta y un biocátodo reductor de oxígeno dentro del tubo. El oxígeno se debe suministrar pasivamente al cátodo a través de una capa de difusión de gas. En esta investigación, la silicona se utilizó con éxito como capa de difusión de gas. Las pilas de combustible microbianas de planta (PMFC) con un biocátodo se iniciaron con éxito en el suelo de turba. La reducción de oxígeno está claramente catalizada, probablemente por microorganismos en los cátodos, ya que el potencial excesivo disminuyó, lo que resulta en una mayor densidad de corriente y potencial de cátodo. La generación de energía máxima promedio diario del mejor suelo de turba PMFC fue de 22 mW/m<sup>2</sup>. Los PMFC con un biocátodo en la marisma salina solo comenzaron con difusión de oxígeno puro, alcanzando una generación de energía promedio diaria máxima de 82 mW/m<sup>2</sup>. Ambos PMFC de humedales se iniciaron con éxito con microorganismos naturales en el ánodo y el cátodo. Los cálculos muestran que la densidad de potencia puede aumentarse mejorando el diseño de PMFC limitando el cruce de oxígeno y sustrato.

Chaturvedi y Verma (2016) las fuentes de energía no renovables se están agotando y las fuentes de energía renovable no se utilizan adecuadamente. Hay una preocupación que se debe solucionar en el corto tiempo para buscar alternativas para la generación de energía. La tecnología de pila de combustible microbiana (MFC), que hace uso de microorganismos para transformar la energía química de los compuestos orgánicos en electricidad, es considerado una alternativa innovadora que a largo plazo puede sustituir las energías tradicionales. Amplios estudios han corroborado nuevos conocimientos sobre MFC, que muestran que se puede emplear una amplia gama de fuentes de carbono, incluidos los desechos, utilizando una variedad de microbios. Por lo tanto, el uso de microorganismos de desechos mediante la biorremediación es una tecnología novedosa como el uso MFC para la generación de energía es considerado como un enfoque eficiente y amigable con el ambiente..

De acuerdo a Türker y Yakar, (2017) estudiaron la evaluación del rendimiento de una celda de combustible microbiana de humedal construida híbrida (HCW-MFC) para el tratamiento de boro (B) y la producción bioeléctrica. Nuestro innovador HCW-MFC es el primer informe de la literatura sobre las pruebas de eliminación de boro y producción bioeléctrica al mismo tiempo en términos de una perspectiva ecotecnología. Los resultados indicaron que se logró una eliminación de boro de 63,4 % para aguas residuales que contenían un flujo promedio de 12,3 mgL<sup>-1</sup> de concentraciones de boro. Además, HCW-MFC pudo eliminar 47,5 % y 19,1 % de nitrato y nitrito de las aguas residuales, respectivamente. La potencia máxima se registró con 78 mWatt/m<sup>2</sup> y la densidad de corriente y 105 mA/m<sup>2</sup> para la última unidad del sistema híbrido, lo que propone que la potencia y la densidad de corriente disminuyo con la gran cantidad de boro presente en la fuente. Descubrimos que algunas enzimas del suelo, como la deshidrogenasa y la ureasa en la matriz del humedal, se correlacionan fuertemente con la producción bioeléctrica, por lo que estas enzimas podrían desempeñar un papel importante en la producción bioeléctrica con HCW-MFC.

Yoshimura et al. (2018) construyeron celdas de combustible microbianas de cámara única (MFC) utilizando salvado de arroz (fuente de carbono) y lodo del fondo del estanque (fuente microbiana). La carga eléctrica total obtenida en el MFC que combina el salvado de arroz con el lodo del fondo del estanque fue cuatro veces mayor que en el MFC que usa solo salvado de arroz. Los análisis filogenéticos mostraron un mayor crecimiento de bacterias fermentativas como las especies *Bacteroides* y *Clostridium*, y especies de *Geobacter* exoelectrogénicas en las biopelículas del ánodo, lo que provoca que la ayuda independiente entre las bacterias es un factor clave para la generación de electricidad efectiva en el MFC. Asimismo, el salvado de arroz es un polisacárido persistente, fue pretratado por el sistema de cavitación hidrodinámica para aumentar la digestibilidad y mejorar la eficiencia en MFC, lo que produjo un aumento del 26% en la producción total de electricidad en sistema mencionado.

El tratamiento de los desperdicios de alimentos recolectados de una cantina china fueron investigados por Asefi et al. (2019) utilizando pilas de combustible microbiana (MFC) en diferentes condiciones. Se observó que el voltaje de

circuito cerrado más alto y la densidad de potencia máxima obtenida fueron  $775 \pm 21$  mV y  $422$  mWm<sup>-2</sup>, respectivamente, cuando se usaban desechos alimenticios con medio nutriente como anolito y permanganato como catolito. Bajo esta condición, los procesos de biodegradación en los MFC posiblemente podrían lograr  $69 \pm 18$  % de DQO,  $88 \pm 5$  % de carbohidratos,  $76 \pm 9$  % de proteínas,  $65 \pm 8$  % de TOC y  $71 \pm 8$  % de supresión total de nitrógeno en fuente de agua tratada. Se usó un sistema de administración de energía para demostrar que la electricidad de los MFC alimentados con FW se puede cosechar con éxito para proporcionar electricidad intermitente a las cargas. En general, este estudio demostró el potencial del uso de MFC para el tratamiento de residuos de alimentos para lograr la producción de electricidad y la reducción de residuos.

Corbella, Guivernau, Viñas, y Puigagut (2015) determinaron la cantidad de energía que se puede cosechar mediante la implementación de celdas de combustible microbianas (MFC) en humedales horizontales construidos bajo la superficie (HSSF-CW) durante el tratamiento de aguas residuales domésticas reales. Con este objetivo, se implementaron MFC en una planta piloto basada en dos HSSF CW, uno alimentado con aguas residuales sedimentadas primarias (línea Settler) y el otro alimentado con el efluente de un reactor de manto de lodos de flujo ascendente hidrolítico (línea HUSB). Se obtuvieron las densidades máximas de corriente ( $219$  mA/m<sup>2</sup>) y de potencia ( $36$  mW/m<sup>2</sup>) para la línea HUSB. El patrón de producción de energía se correlacionó bien con las fluctuaciones del nivel del agua dentro de los humedales, mientras que el tipo de tratamiento primario implementado tuvo un impacto significativo en la diversidad y abundancia relativa de las comunidades de eubacterias que colonizan MFC. Por lo tanto, los MFC son prometedores para la producción de energía en humedales construidos que reciben el efluente de un reactor HUSB.

Según Yang, Chen, Majidzadeh, y Chow (2018) utilizaron las celdas de combustible microbianas sin membrana y que contienen biocátodo (MLBC-MFC) para la producción de energía eléctrica de diferentes humedales, y los mecanismos correspondientes se exploraron en función de las características de las materias orgánicas disueltas (DOM) en este estudio. La salida de voltaje promedio en MLBC-MFC interiores fue de  $60$  mV para el agua de humedal de marisma (SWW),  $48$  mV para el agua de humedal de bosque (FWW) y  $71$  mV

para el FWW suplementado con cloruro de sodio (FWWS). Para los experimentos de campo, se obtuvieron hasta 800 mV de los MLBC-MFC instalados en el humedal del bosque y la salida de voltaje que varía entre 200 mV y 800 mV se mantuvo aproximadamente durante medio año, excepto durante unos días con una temperatura extremadamente baja, mientras que la salida de voltaje de los MLBC-MFC instalados en el humedal de marisma bajó a menos de 10 mV en 37 días probablemente debido a la marea.

De acuerdo a Oon et al. (2015) utilizaron un diseño innovador de celdas de combustible microbianas de humedales construidas de flujo ascendente (UFCW-MFC) plantadas con espadaña. Los electrodos usados en el estudio fueron de fiebra de carbono. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el rendimiento del acoplamiento UFCW con MFC en términos de capacidad para tratar las aguas residuales y la capacidad de generar bioelectricidad. El potencial de reducción de oxidación (ORP) y el perfil de oxígeno disuelto (DO) mostraron que la región anaeróbica y aeróbica estaba bien desarrollada en el lecho inferior y superior, respectivamente, de UFCW-MFC. Se investigó la biodegradación de la materia orgánica, la nitrificación y la desnitrificación y las eficiencias de eliminación de DQO,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  fueron del 100 %, 40 % y 91 %, respectivamente. La densidad de potencia máxima de  $6,12 \text{ mWm}^{-2}$  y la eficiencia coulombiana de 8,6 % se lograron con la separación del electrodo del ánodo 1 (A1) y el cátodo (15 cm).

Los humedales artificiales (CW) y las celdas de combustible microbianas (MFC) son tecnologías compatibles de acuerdo a Doherty et al., (2015b), ya que ambos dependen de las acciones de las bacterias para eliminar los contaminantes de las aguas residuales. Los MFC requieren que el ánodo permanezca anaeróbico con el cátodo expuesto al oxígeno, mientras que estas condiciones redox pueden desarrollarse naturalmente en los CW. Por esta razón, la investigación sobre la combinación de las dos tecnologías (denominada CW-MFC) ha surgido en los últimos años con el objetivo de mejorar la capacidad de tratamiento de aguas residuales de los humedales y, al mismo tiempo, producir energía eléctrica. Basado en el trabajo publicado (aunque limitado), esta revisión tiene como objetivo proporcionar un estado actual y oportuno en CW-MFC mientras explora desafíos futuros y direcciones de investigación.

Santagata, Viglia, Fiorentino, Liu, y Ripa (2019) El camino lineal extracción-producción-consumo-desperdicio, impuesto por los humanos a los ecosistemas naturales, donde todos los movimientos de materiales son circulares, se ha vuelto insostenible. Comprender el valor potencial de algunos de estos subproductos, para explotar de manera efectiva en una perspectiva de biorrefinería, puede ayudar a superar la escasez de recursos y disminuir los impactos ambientales. Este estudio tiene por objetivo investigar la renovación de energía y los recursos de los subproductos animales. Los desechos del matadero a veces son un proceso de procesamiento para separar la comida residual y la grasa. Este último se quema en una planta de cogeneración para producir electricidad y calor. El proceso se evalúa utilizando el enfoque de Contabilidad de Emergencia con el objetivo de evaluar los beneficios y la carga ambiental del proceso de evaluación de las ventajas logradas en la comparación con la demanda de servicios del ecosistema y el agotamiento del capital natural. Además, el caso tiene como objetivo explorar tres supuestos metodológicos diferentes que se seleccionan a las cargas aguas arriba llevadas por el sistema de gestión de residuos, proponiendo una regla de asignación basada en ejercicio modificado. La electricidad generada muestra rendimientos en términos de valores de unidad de emergencia que son determinados entre  $2,7E+05$  sej/ J,  $2,2E+06$  sej/J y  $3,1E+07$  sej/J entre los diferentes casos investigados, se comparó la energía de combustibles fósiles y energías renovables. Esta tecnología proporciona una alternativa amigable con el medioambiente para eliminar r residuos convencionales.

La generación de electricidad a partir de pilas de combustible microbianas que son alimentadas con hidrolizada unidad del tratamiento hidrotermal de la paja de trigo puede producir energía, así mismo purificar las aguas residuales domésticas. Por lo tanto Thygesen et al. (2011) el hidrolizado contenía principalmente xilano, ácidos carboxílicos y compuestos fenólicos. Se comparó la generación de energía y la utilización del sustrato a partir del hidrolizado con las obtenidas con sustratos sintéticos definidos. La densidad de potencia aumentó de  $47 \text{ mW m}^{-2}$  a  $148 \text{ mW m}^{-2}$  con la relación hidrolizado: agua residual ( $R_{HW}$  en  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) aumentando de 0 a 0,06 (correspondiente a 0 - 0,7  $\text{g dm}^{-3}$  de carbohidratos). La densidad de potencia con el hidrolizado fue más alta que con

solo xilano ( $120 \text{ mW m}^{-2}$ ) y ácidos carboxílicos como combustible. La mayor densidad de potencia se puede dar por la presencia de compuestos fenólicos en los hidrolizados, que podrían ayudar el transporte de electrones. La generación de electricidad con el hidrolizado produjo la disminución del 95 % del xilano y el glucano. El estudio demuestra que el hidrolizado lignocelulósico puede ser utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas y también la generación de energía en las pilas de combustible microbianas.

Cao et al. (2011) la glucosa, el acetato de sodio y el etanol se examinaron por separado como co-sustratos para la generación simultánea de bioelectricidad y la degradación del rojo Congo en un MFC de cámara única de cátodo de aire con membrana de intercambio de protones (PEM). Los resultados de la prueba por lotes mostraron que se logró más del 98 % de decoloración a la concentración de tinte de 300 mg/L en 36 h para todos los cosustratos probados durante la generación de electricidad. La tasa de decoloración fue diferente con los sustratos utilizados. La tasa de decoloración más rápida se logró utilizando la glucosa seguida de etanol y en menor medida usando acetato de sodio. Se observaron intermedios acumulados durante la degradación del rojo Congo, que se demostró mediante espectros UV-Visible y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) La generación de electricidad se mantuvo constante y tuvo poca afectación por la degradación del rojo Congo. La glucosa, el acetato de sodio y el etanol produjeron densidades de potencia máximas de  $103 \text{ mW/m}^2$ ,  $85,9 \text{ mW/m}^2$  y  $63,2 \text{ mW/m}^2$ , respectivamente, y la salida de voltaje máxima disminuyó solo entre un 7 % y un 15 %. Nuestros resultados demostraron que se puede usar varios co-sustratos para la decoloración simultánea del rojo Congo y la generación de bioelectricidad usando las MFC y mostraron que la glucosa era el co-sustrato más usado.

Cada año se generan más de mil millones de toneladas de desperdicio de alimentos en todo el mundo según Martínez y Di Lorenzo, (2019), estos desechos representan una parte sustancial de los desechos sólidos municipales y generalmente se incineran. La integración efectiva del proceso del digestor anaeróbico con la tecnología de celdas de combustible microbianas es una solución ecológica y prometedora para el tratamiento de desperdicios de alimentos, lo que conduce a la generación de energía limpia y subproductos de

interés industrial. En este contexto, aquí informamos el desarrollo de un dispositivo de celda de combustible microbiano de cátodo de aire flotante y demostramos la generación de electricidad a partir de digestato fresco, directamente recogido de un efluente del digester anaeróbico sin pretratamiento, utilizado como electrolito, combustible y fuente de electroactividad. bacterias Las celdas de combustible flotantes se caracterizan por un diseño simple pero innovador.

El agotamiento de los combustibles fósiles, el aumento de las demandas de energía y las preocupaciones sobre las emisiones de gases de efecto invernadero hacen mucho hincapié en la búsqueda de alternativas de energía verde y sostenible por ello Castresana et al., (2019). Las células de combustible microbiano de las plantas (PMFC) son una atractiva tecnología de conversión de energía neutra en carbono que puede generar electricidad útil a partir de microorganismos presentes naturalmente en el suelo y de la materia orgánica producida por las plantas durante la fotosíntesis. Presentamos un innovador PMFC sin membrana y que funciona con luz y demostramos su capacidad para cosechar energía del musgo. El PMFC implementa un fotocatalizador de CuO-Cu<sub>2</sub>O en el cátodo, lo que lleva a una salida de potencia máxima aproximadamente 14 veces mayor que el caso de no fotocatalizador y una reducción en las pérdidas óhmicas de aproximadamente el 50 %. Se observa una tendencia del ciclo de luz / oscuridad, que ayuda a distinguir entre la contribución anódica y fotocatalítica a la corriente global generada. También se prueba el uso de una capa protectora para evitar la lixiviación del fotocatalizador. La simplicidad y la rentabilidad del diseño propuesto superan las limitaciones de costos de otros PMFC previamente informados, lo que facilita su escalamiento futuro.

Definir lo que califica como humedal puede ser un desafío de acuerdo a Fitch, (2014), generalmente se acepta que los humedales tienen suelo o sedimento, que está saturado con agua durante el tiempo suficiente para producir condiciones anaeróbicas, y con el tiempo suficiente para que las plantas de humedales predominan en ese sitio. Debido a la importancia ecológica de los humedales, muchas naciones tienen políticas que protegen dichos humedales. Los humedales artificiales se incluyen como una forma de tales humedales, pero

los humedales construidos para tratar las aguas residuales están ampliamente excluidos de consideración porque no se centran en los servicios del ecosistema sino en la eliminación de contaminantes. Debido a que los humedales construidos están estrechamente relacionados con los humedales naturales, en varias ocasiones también se les conoce como un sistema de tratamiento natural.

Vineetha y Shibu (2013) las pilas de combustible microbianas (MFC) produce de forma directa de electricidad a partir de diferentes fuentes de aguas residuales, alcanzando en paralelo el tratamiento de las aguas residuales. MFC convierte la materia orgánica en electricidad ayudándose de microorganismos usados como biocatalizadores. Si bien se sabe que la generación de electricidad utilizando bacterias es posible durante más de una década, solo estudios recientes han demostrado que no se requieren mediadores. Este desarrollo puede impulsar una tecnología de tratamiento de aguas residuales completamente nueva basada en pilas de combustible microbianas. El objetivo de este estudio es mejorar la eficiencia de producción de energía de una celda de combustible microbiana sin mediador de una sola cámara a partir de aguas residuales utilizando ánodos modificados. Se observó que esta celda de combustible microbiana sin mediador de cámara única era capaz de proporcionar una mayor eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO). Así mismo se comparó de la generación de electricidad con varillas de carbono simples y varillas de carbono recubiertas de hierro usados como ánodos. La generación máxima de electricidad ( $71 \mu\text{A}$ ) y la producción máxima de voltaje ( $351 \mu\text{A}$ ) se obtuvieron de MFC con carbón revestido de hierro calentado como ánodo.

Passos et al. (2016) En las pilas de combustible microbianas (MFC), la oxidación de compuestos orgánicos catalizada por microorganismos (ánodo) genera electricidad a través de la transferencia de electrones a un circuito externo que actúa como aceptor de electrones (cátodo). Las pilas de combustible microbianas difieren en términos de los microorganismos empleados y la naturaleza del compuesto orgánico oxidado. En este estudio, un consorcio de microorganismos anaerobios ayudó a tratar los lodos secundarios obtenidos de una planta de tratamiento de aguas residuales. Los microorganismos se cultivaron en un biorreactor de 250 mL que contenía una tela de carbón. El

reactor se alimentó con medio que contenía acetato (como fuente de carbono) durante 48 días. Al mismo tiempo, los datos electroquímicos se midieron con la ayuda de un multímetro digital y un sistema de adquisición de datos. Al empiezo del funcionamiento del MFC, la densidad de potencia se presentaba de forma baja, debido al lento crecimiento y adhesión de microorganismos. La densidad de potencia tubo un aumentó desde el día 15 de operación, alcanzando un valor de  $13,5 \mu\text{W cm}^{-2}$  y después de aproximadamente de 24 días de funcionamiento la densidad de potencia se mantuvo estable hasta el final del proceso. En comparación con los datos de la bibliografía, este valor de densidad de potencia es prometedor; Las mejoras en el diseño y el funcionamiento del MFC podrían incrementar este valor aún más. El sistema investigado aquí empleó un exceso de lodo como biocatalizador en un MFC. Esto abre la posibilidad de utilizar ácidos orgánicos y/o efluentes ricos en carbohidratos para alimentar MFC y, por lo tanto, proporcionar tratamiento de efluentes y generación de energía simultáneos.

Según Oon et al., (2015) el humedal construido (CW) es un humedal artificial que utiliza un proceso natural para tratar y mejorar la calidad del agua. CW es reconocida como una tecnología ecológica y se ha utilizado como parte del proceso de tratamiento de aguas residuales en el tratamiento de una variedad de aguas residuales por ejemplo las aguas residuales industriales.

En 1971, se realizó una convención sobre humedales de importancia internacional, la que se celebró en Ramsar, Irán, lo que condujo a un tratado. No hay una definición única bajo el Tratado de Ramsar, pero el proceso de inventario propone que cada país tendrá una definición similar a la ya usada por los Estados Unido (Ramsar Convention Secretariat 2010).

La popularidad de los humedales construidos se debe en gran medida a dos factores según Fitch (2014). Los humedales son grandemente productivos en aspectos de impacto ecológico y pesen un aura verde. Asimismo, los humedales son una forma de tratar pasivamente el agua, que necesitan un aporte de energía insignificante y poco mantenimiento. El bajo costo operativo es una de las ventajas en comparación con otras tecnologías; los humedales de tratamiento son poco eficientes referidos al uso de la tierra en comparación con los sistemas de tratamiento activos. Otra desventaja es que la complejidad del sistema de

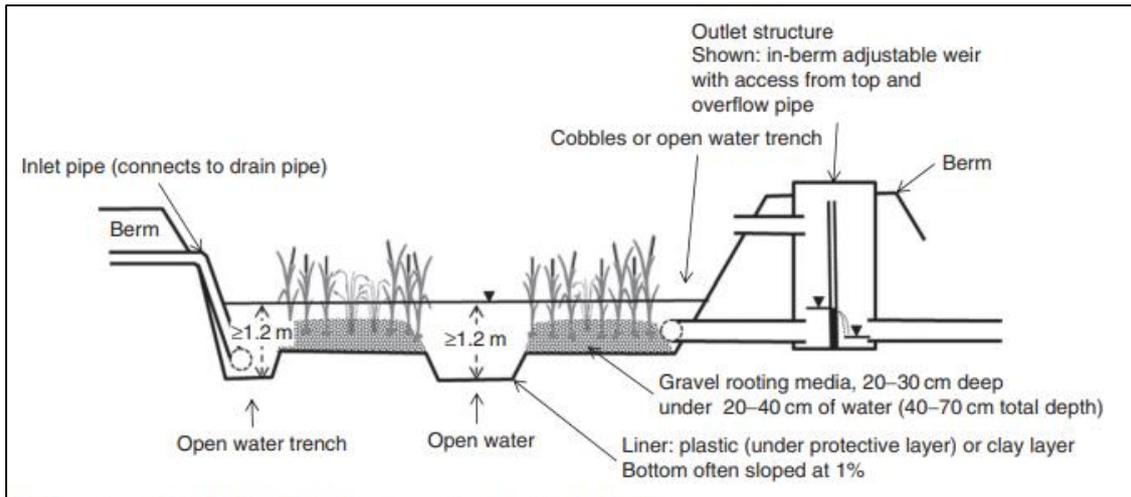
humedales produce un alto grado de variabilidad, lo que en limitación la capacidad de diseñar y hacer una predicción con precisión para tener un óptimo rendimiento de dichos sistemas.

De acuerdo a Aber et al. (2019) los humedales son tierra donde la presencia de excesos de agua es el factor predominante, ya que determina el desarrollo del suelo asimismo permite la presencia de comunidades de animales y vegetales que viven en la superficie del suelo sea más factible. También Influye en los ambientes de los sistemas terrestres y acuáticos los que se integran en el ecosistema.

De acuerdo a Fitch, (2014) los humedales se clasifican como flujo subsuperficial donde el agua fluye debajo de la superficie del sedimento, o flujo superficial, en el cual el agua libre está presente sobre el sedimento. La investigación sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales actualmente indica que hay poca diferencia en la efectividad de cualquiera de los esquemas, pero los sistemas de flujo subsuperficial son más costosos de construir. Ambas designaciones suponen un flujo constante, pero hay diseños donde el flujo es intermitente o el flujo se recircula. En Europa los humedales de flujo vertical son más populares en el que casi siempre se operan en flujo intermitente.

Las superficies de agua libre (FWS) son básicamente atractivas, pero las presencias de aguas abiertas presentan algunos inconvenientes. Hay menos resistencia al flujo en el agua libre que en el espacio de los poros del sedimento, por lo que el agua fluirá en gran medida por encima del sedimento, y el agua abierta tiene una densidad mucho menor de microbios y, por lo tanto, una actividad potencialmente menor. Asimismo, una gran cantidad de brotes de plantas actúa como superficie para la unión microbiana, y las eficiencias de área reportadas de los sistemas de humedales FWS son semejantes a los sistemas subterráneos. Sin embargo, tales sistemas de aguas abiertas no son tan sensibles a la obstrucción por sólidos como los sistemas subterráneos (Fitch 2014).

Un humedal de superficie de agua libre como se ilustra en la Figura 1 de acuerdo a Fitch, (2014) generalmente tiene tres zonas. Dos de estos son de 20 cm – 30 cm de sedimento y de 20 cm – 40 cm de agua sobre el sedimento. Muy a menudo, el sedimento, medio de enraizamiento, se planta con plantas de humedales emergentes, pero a veces se usan plantas sumergidas. . La zona media es más profunda y sin sedimentos entonces debe ser completamente aeróbica. Las plantas flotantes están presentes en esta zona.



Fuente: (Fitch 2014)

**Figura 1.** Humedal de superficie de agua libre (FWS).

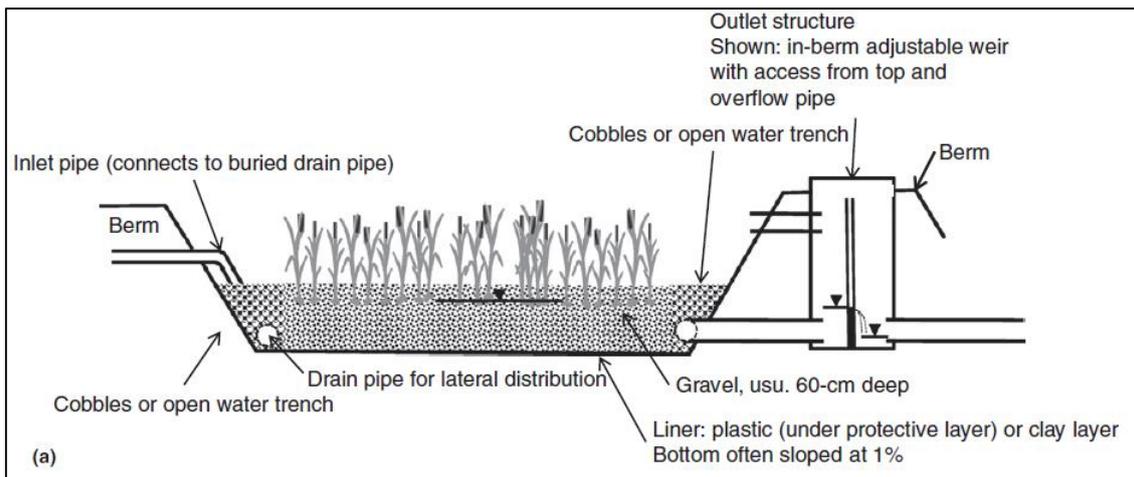
Kumar, Kumar Singh y Singh (2021) según la dirección del flujo, los humedales de flujo subsuperficial (SSF) se dividen en sistemas de flujo vertical (VF) y flujo horizontal (HF). La conjunción de flujo horizontal y subsuelo vertical en un sistema híbrido se utilizó para mejorar la eficiencia del tratamiento, particularmente para el nitrógeno. El sistema es ampliamente reconocido por su capacidad para eliminar múltiples contaminantes, DQO, DBO, metales, SS (sólidos en suspensión), fósforo, nitrógeno y patógenos. El cultivo en medios de grava (u otros), la filtración física y las raíces de las plantas dominan los procesos que sustentan el tratamiento con humedales subterráneos. No se puede ignorar el uso extensivo de flujo superficial (SF) o de aguas libres superficiales para el tratamiento terciario, y la exposición del agua a organismos patógenos, que pueden ser letales para la vida silvestre y los seres humanos. El humedal SSF típico es un lecho de 60 cm – 100 cm de profundidad de grava de 1 cm de diámetro medio, que tiene el nivel del agua en la superficie o solo unos centímetros debajo de la superficie. La siembra inicial es generalmente a un

espacio de 0,5 m. Las raíces de las plantas de los humedales penetraron a una profundidad aproximada de 20 cm - 30 cm, con una profundidad dependiente del potencial redox, que también depende de la fuerza de las aguas residuales. La presencia de raíces obstruye ligeramente el espacio de los poros en el humedal, por lo que las velocidades deberían ser mayores debajo de las raíces que en donde se encuentre la raíz.

Se utilizan dos regímenes de flujo en los humedales de SSF, vertical y horizontal.

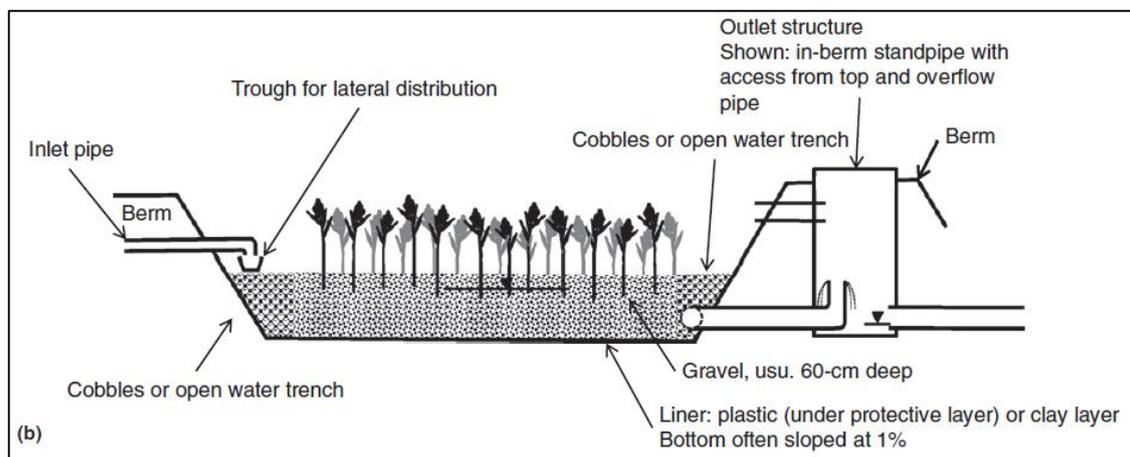
El flujo horizontal es común en los sistemas naturales, con agua ingresando por un lado y saliendo por el otro. En los Estados Unidos, el sistema más usado es el humedal de flujo subsuperficial de flujo horizontal, Figura 2. Esta configuración también es más usada en el Reino Unido, Figura 3. En estos sistemas SSF, hay pérdida de carga en todo el humedal. El flujo por tierra, en el que el agua se eleva por encima del sedimento, es una preocupación. El flujo por tierra provocará al menos un cortocircuito, si no falla, en un humedal SSF. Esto es de particular importancia cuando se considera el efecto no solo de la obstrucción sino también del agua agregada por la lluvia (Fitch, 2014).

Para asegurar una distribución uniforme del flujo, la entrada a un humedal de flujo horizontal alimenta una capa vertical o lente de piedra más grande, con guijarros de dimensión 5 cm - 15 cm sugeridos. Los poros grandes entre los adoquines tienen una gran conductividad hidráulica de tal manera que el agua se debe esparcir uniformemente desde el punto de entrada por todo el ancho y la profundidad del lecho. El gran espacio de poros también tiende a evitar que las raíces de las plantas colonicen esta área. El sistema de recolección es parecido, ya que el flujo dado en un solo punto haría que se presenten zonas muertas en el lecho del humedal (Fitch, 2014).



Fuente: (Fitch 2014)

**Figura 2.** Humedal de flujo subsuperficial horizontal (SSF), alimentado por subsuperficial, común en los EE. UU. La vista es una sección a lo largo de la cama.



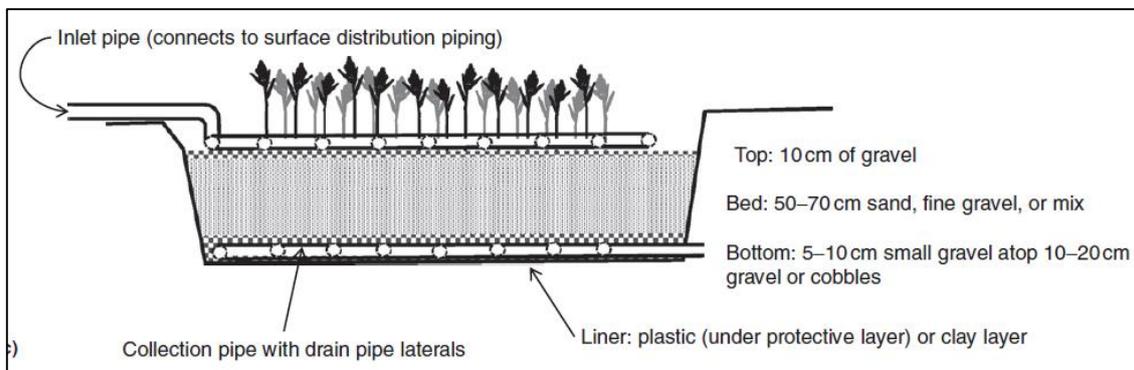
Fuente: (Fitch 2014)

**Figura 3.** SSF horizontal, alimentado en superficie, común en el Reino Unido. La vista es una sección a lo largo de la cama.

Los sistemas de flujo vertical pueden ser de flujo ascendente o descendente, pero el flujo descendente es la dirección dominante del flujo que se usa normalmente porque el material depositado se elimina fácilmente. Los humedales de flujo vertical son populares en Europa, operan para la eliminación de nitrógeno mediante flujo intermitente. En el flujo ascendente o descendente, la distribución o recolección de agua en la parte inferior del humedal es un verdadero desafío. La distribución desigual del agua resultará en una canalización y el cortocircuito se dará en una porción del humedal, lo que disminuirá la eficiencia del tratamiento. Por lo tanto, se usa una capa de piedra como con un humedal de flujo horizontal, y el agua se distribuye o recoge dentro de esa capa

por tramos de tubería de drenaje, Figuras 4. Debido a que la presión se puede aplicar sin preocuparse por el flujo terrestre, se puede lograr un flujo más grande (carga hidráulica) que, para un sistema de flujo horizontal, lo que resulta en un menor requerimiento de volumen total de humedal. Sin embargo, una velocidad mayor también significa una mayor oportunidad para que se desarrolle la canalización (Fitch 2014).

Algunos humedales de flujo vertical de flujo descendente funcionan en modo de secuenciación por lotes, mientras que otros reciben flujo continuo. En el modo de secuenciación por lotes, en donde el humedal se llena y luego se deja pasar antes de volver a llenarlo. Este relleno, seguido de drenaje, en varios experimentos realizados se llama flujo de marea. Dicha operación de llenado y extracción permite que ingrese más oxígeno al sistema que el que ocurre con los humedales horizontales de SSF y, por lo tanto, permite un período anóxico/anaeróbico (llenado) seguido de un período aeróbico (drenado). Este ciclo contribuye a la mineralización de contaminantes, especialmente para el tratamiento del amoníaco (Fitch 2014).

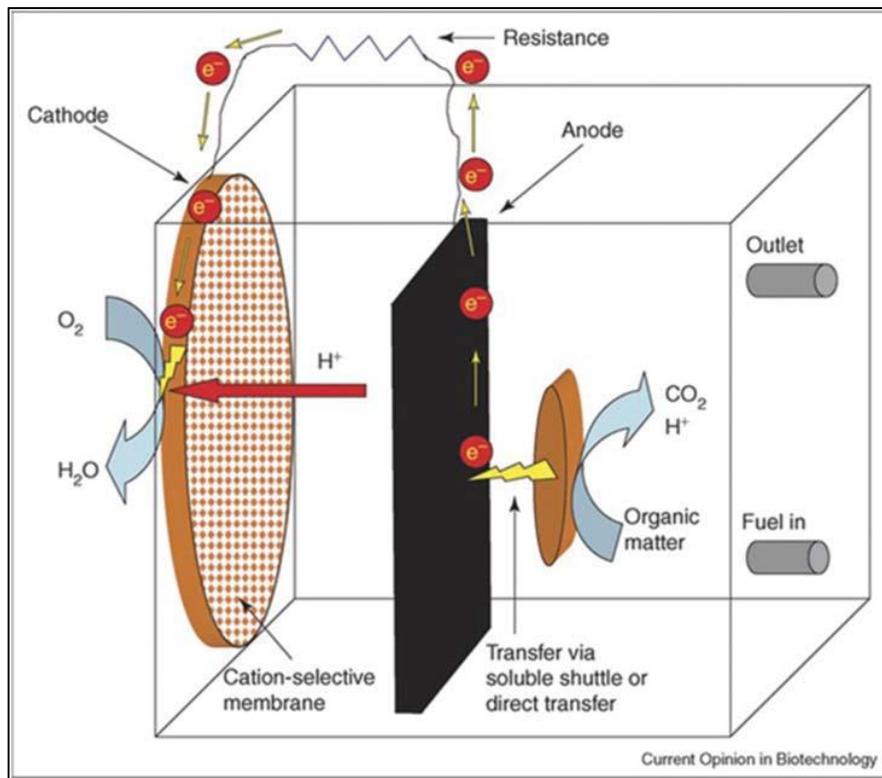


Fuente: (Fitch 2014)

**Figura 4.** SSF vertical, alimentado en superficie, común en Alemania. La vista es una sección a lo largo de la cama.

Las pilas de combustible microbianas (MFC) ofrecen nuevas oportunidades para la producción sostenible de energía de acuerdo a Wilkinson, (2011) a partir de aguas residuales. Los MFC generan energía sostenible a través de la utilización de diferentes carbohidratos, así como en sustratos complejos presentes en las aguas residuales. Asimismo, la comercialización de MFC está restringida debido su baja producción de energía también su alto costo. Hay desafíos que deben superarse para tener un mejor rendimiento de producción de electricidad y para

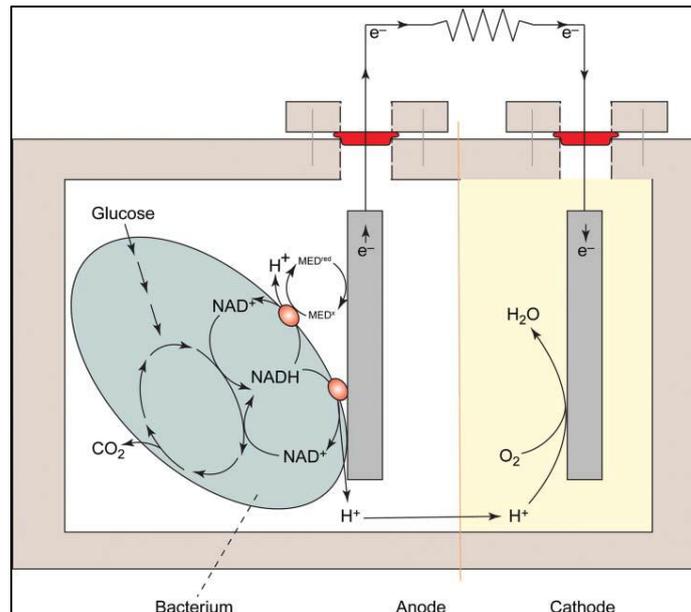
una futura comercialización de los MFC. La figura 5 muestra un diagrama esquemático de un MFC para la producción de electricidad.



Fuente: (Lovley 2006)

Figura 5. Diagrama generalizado de una pila de combustible microbiana.

El MFC está constituido por un ánodo, un cátodo, microorganismos y un medio electrolítico que se encuentran conectados con dos electrodos y PEM. El microorganismo y el electrodo son los componentes principales de un MFC que podrían afectar significativamente su costo y rendimiento. Sin embargo, no hay información adecuada disponible sobre la vía del metabolismo energético (que se muestra en la Fig. 6) y la naturaleza del microorganismo que se utiliza en el ánodo (Rabaey y Verstraete, 2005).



**Fuente:** (Rabaey y Verstraete, 2005).

**Figura 6.** El principio de funcionamiento de la vía del metabolismo energético.

Por lo tanto, Rabaey (2012) es esencial identificar los pasos clave que optimizarían el parámetro del proceso que mejorará la producción de energía a través de la pila de combustible microbiana. Se ha encontrado que los microorganismos pueden adoptar fácilmente las diferentes rutas metabólicas para una generación de energía eficiente que depende de los parámetros operativos del MFC. El diseño de electrodos es el mayor desafío para los MFC escalables y rentables.

El uso de microorganismos en MFC anteriormente, las celdas de combustible microbianas se construían con organismos de cultivo puro que requerían la adición de un mediador sintético que facilita la transferencia de electrones al ánodo (Gasteiger, Gu, Makharia, Mathias, y Sompalli, 2010). Tales tipos de microorganismos son posiblemente extraños para la producción de electricidad a partir de efluentes de aguas residuales. Sin embargo, no se requieren mediadores sintéticos adicionales. Varios microorganismos que tienen eficiencia de generación de electricidad, como las especies *Geothrix* y *Shewanella*, pueden producir sus propios transbordadores de electrones (Lovley, Holmes, y Nevin, 2004). Se ha sugerido que los microorganismos con su propio transbordador de electrones son ventajosos, ya que pueden colocarse a una distancia del electrodo y aún pueden transferirse electrones a la superficie del electrodo

(Strycharz et al. 2008). Las especies de *Geobacter* son ventajosas debido a la presencia de la capacidad de transferir electrones directamente a los electrodos, cuando compiten por el espacio en el ánodo de las células de combustible microbianas del sedimento. Así mismo, las especies de microorganismos como la *Shewanella* no pueden generar electricidad a partir de residuos de materia orgánica.. Dado que es poco probable que los sustratos que utilizan sean intermedios extracelulares centrales en la degradación anaeróbica de la materia orgánica, (Lovley, Holmes y Nevin 2004) por lo tanto, las especies de *Shewanella* solo pueden oxidar de forma incompleta el lactato a acetato en los electrodos, lo que conduce a una producción eléctrica ineficiente (Bond y Lovley, 2003).

De acuerdo a Choudhury, Prasad Uday, Bandyopadhyay, Ray, y Bhunia, (2017) los materiales carbonosos se usan ampliamente debido a su buena biocompatibilidad, buena estabilidad química, alta conductividad y costo relativamente bajo para los ánodos de MFC. En el laboratorio, se utilizan placas u hojas de grafito, papel carbón y también tela de carbón para los electrodos simples. En comparación con las láminas de carbono, se prefiere la tela de carbono, ya que es más flexible y mucho más porosa, lo que permite una gran superficie para el crecimiento bacteriano; sin embargo, es excesivamente costosa para los MFC (aproximadamente \$ 1000/m<sup>2</sup>). Se examinó un material de malla de carbono barato (\$ 10/m<sup>2</sup> - 40/m<sup>2</sup>) como una alternativa sustancialmente barata al papel de carbón y la tela de carbón. Algunos materiales fibrosos poco utilizados, como la tela de carbón activado, la lámina de grafito y el velo de fibra de carbono también se informan y evalúan comparativamente para determinar la oxidación electroquímica de sulfuro en el ánodo de los MFC. El fieltro de grafito o carbono es otra tela de fibra que es mucho más gruesa y puede perder su textura. Pero el espacio para el crecimiento bacteriano es más que la tela de carbono y las láminas de grafito, pero es más probable que el crecimiento de bacterias sea controlado por la transferencia de masa de sustrato y productos en su superficie interna. De manera similar, el RVC puede usarse como material de empaque para llenar la cámara del ánodo. Es cierto que los materiales más porosos producen naturalmente más potencia por área de superficie geométrica relacionada con sus homólogos lisos.

Similar al filtro biológico, la cámara anódica del MFC se puede completar con un empaque granular de forma irregular, pequeños cubos de grafito o fieltro de carbono que también se pueden usar como material de empaque de un lecho de MFC. Para que el lecho completo sea conductivo, los gránulos deben estar bien apretados uno al lado del otro. El ánodo del cepillo de grafito es un electrodo ideal que alcanza altas porosidades, alta área de superficie y recolección eficiente de corriente. Los materiales metálicos son mucho más conductores que los materiales de carbono, pero se descartó debido a la condición no corrosiva de los materiales anódicos. Hasta ahora, solo se utilizan acero inoxidable y titanio para el material del ánodo. A través de los estudios, se encuentra que la cantidad de energía eléctrica producida puede aumentar 1,000 veces al usar un electrodo de grafito  $Mn^{4+}$ , hecho al mezclar sulfato de manganeso con polvo de grafito fino. El ánodo hecho mediante la mezcla de un complejo de Sb (V) oxidante de sulfuro y una pasta de grafito que es 1,9 veces mayor que la del ánodo de pasta de grafito donde el complejo de Sb (V) funcionaba como mediador en la cámara del ánodo. Por lo tanto, puede mediar eficientemente la transferencia de electrones desde las bacterias al ánodo (Wei, Liang, y Huang, 2011).

La bioelectrogénesis o la bioelectrogeneración según Baptista (2015) es la generación de electricidad por organismos vivos, un fenómeno estudiado por la ciencia de la electrofisiología. En las células biológicas, los canales de ion de la transmembrana electroquímicamente activan de y las proteínas transportadoras, como la bomba de sodio-potasio, hacen posible la generación de electricidad al mantener un desequilibrio de voltaje de una diferencia de potencial eléctrico entre el espacio intracelular y extracelular. La bomba de sodio-potasio libera simultáneamente tres iones Na e influye en dos iones K hacia el espacio intracelular. Esto genera un gradiente de potencial eléctrico a partir de la separación de carga desigual creada. El proceso consume energía metabólica en forma del compuesto químico ATP.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo, diseño y nivel de la investigación

La presente investigación fue experimental ya que implica un proceso en el que se diseña una prueba justa en la que las variables se manipulan, controlan y miden activamente en un esfuerzo por reunir evidencia para apoyar o refutar una relación causal (Hamend 2012)

Los diseños factoriales manipulan dos o más variables independientes e incluyen dos o más niveles o modalidades de presencia en cada una de las variables independientes. Se utilizan comúnmente en la investigación experimental. La construcción básica de un diseño factorial consiste en que todos los niveles o modalidades de cada variable independiente son tomados en combinación con todos los niveles o modalidades de las otras variables independientes (Sampieri R., Ferandez c 2010). En esta investigación se realizó el tipo de diseño factorial de 2<sup>3</sup> de tres factores con dos niveles.

Está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables (Sampieri R., Ferandez c 2010).

#### 3.2. Variables y Operacionalización

##### Variables

**Variable independiente:** Pila de combustible microbiana en un humedal

**Variable dependiente:** Producción de electricidad

**Operacionalización** (Ver Anexo 2)

#### 3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

(Arias Gomez, Villasis Kepper, & Miranda Novales, 2016) menciona que la población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Por lo cual a población de este trabajo de estudio estuvo conformada por los

humedales de la laguna de Paca ubicado en la provincia de Jauja, departamento de Junín.

(Lopez Roldan & Fecheli, 2015) Una muestra es una parte o subconjunto de unidades representativas de un conjunto llamado población o universo, que seleccionan de forma aleatoria que se somete a observación científica para obtener resultados válidos para el universo total investigado, dentro de unos límites de error y de probabilidad de que se pueden determinar en cada caso. La muestra de la investigación fue los humedales diseñados para la investigación.

Para la recolección de totoras el muestreo fue de tipo aleatorio simple.

La unidad muestral fue de 13 plantas de totoras para el estudio de la presente investigación.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica aplicada para la investigación fue la observación, la cual permitió la interacción del investigador con el humedal para la obtención de bioelectricidad.

Se emplearon como instrumentos 5 fichas de recolección de datos, las cuales están detalladas en el anexo 3 y se resumen en la **Tabla 1**:

**Tabla 1.** Fichas de recolección de datos

| Número de Ficha | Nombre                                  | Objetivo  |
|-----------------|---|---|
| <b>Ficha 1</b>  | Formato de campo                        | Permite ubicar la Fuente de donde se va recolectar de agua y de totora a tratar       |
| <b>Ficha 2</b>  | Datos de la toma de muestra             | Facilita el ordenamiento de datos de la muestra a llevar                              |
| <b>Ficha 3</b>  | Características fisicoquímicas del agua | Permite tener un registro de las características físicas y químicas del agua a tratar |
| <b>Ficha 4</b>  | Control del proceso del humedal         | Permite ordenar las variables que se utilizaran en el proyecto                        |
| <b>Ficha 5</b>  | resultados                              | Facilita evidenciar los resultados de tratamientos hechos en el proyecto              |

### Validez del instrumento

La validez del trabajo permitió al instrumento medir los parámetros de la producción de electricidad. Además, incluyó la noción experimental y determinó si los resultados que se obtuvieron mediante los análisis cumplen con los requisitos del método científico. En el trabajo de investigación se realizó la aplicación de la validez por contenido

### Confiabilidad del instrumento

La confiabilidad es necesaria, ya que permitió la repetición del experimento bajo las mismas condiciones, obteniendo los mismos resultados. Cabe resaltar que permitió, la aceptación científica de la hipótesis planteada en la investigación.

Para que el instrumento de la presente investigación sea confiable, fue validado y aprobado por el juicio de tres profesionales especialistas (Tabla 2), en defecto ingenieros colegiados y conocedores de la materia. La confiabilidad se demostró con las fichas de recolección de datos, para un mayor sustento a la investigación.

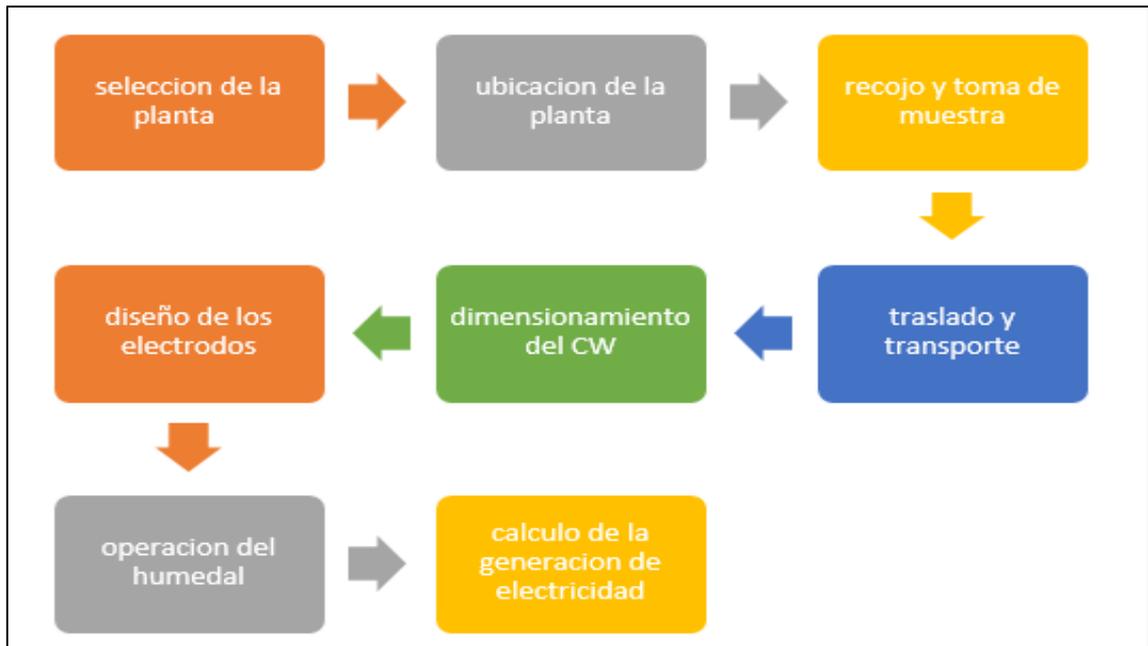
**Tabla 2** Validación de instrumentos

| Especialistas                    | Profesión                 | Número de colegiatura | % de validación |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|
| Ordoñez Galvez<br>Juan Julio     | Docente e<br>investigador | CIP N°                | 90 %            |
| Acevedo Vega<br>Ingrith Mayumi   | Ingeniero<br>Ambiental    | CIP N°<br>253735      | 89 %            |
| Jiménez Otivo<br>Estefani Mishel | Ingeniero<br>Ambiental    | CIP N°<br>216451      | 90 %            |
| Promedio total de validación     |                           |                       | 89.67 %         |

Fuente: elaboración propia

### 3.5. Procedimiento

Seguidamente, damos a conocer el procedimiento que se llevó a cabo durante la fase experimental de la presente investigación, la cual se muestra en la **Figura 7**.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 7.** Diagrama del procedimiento del proyecto de investigación.

### **ETAPA 1: Selección de la planta**

En este estudio se usó totora (*Typha latifolia L.*), un macrófito de humedal popular utilizado como fitorremediación y generación de bioelectricidad (Türker y Yakar, 2017).

### **ETAPA 2: Ubicación de la planta**

La totora para este estudio se encuentra ubicado en la laguna de paca a unos 3,5 km al norte de la ciudad de jauja como se muestra en la figura 8.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 8.** Plantas de totora en la laguna de Paca.

### ETAPA 3: Recojo y tomo de muestra

- Para el recojo de la totora se hizo uso de un balde, donde se llenó dicha planta con su respectiva tierra como se ve en la figura 9.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9.** Recojo de las plantas de totora en la laguna de Paca.

- Se tomó la muestra de agua de un punto de fácil acceso de los alrededores de la laguna de paca (figura 10).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 10.** Toma de muestra de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Georreferenciación de la toma de muestra del agua.

#### ETAPA 4: Traslado y transporte

- El traslado de la totora se realizó en baldes y el transporte en un auto (figura 12).



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Traslado de las totoras.

## ETAPA 5: Dimensionamiento del humedal

- Se utilizaron dos cámaras de poliestireno de forma cilíndrica (figura 13).



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 13.** Cámaras de poliestireno.

- El primer humedal tiene una medida de 25 cm de largo y un diámetro de 30 cm y el segundo humedal 25 cm de largo y 30 cm de diámetro



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 14.** Dimensionamiento de las PMFC.

## ETAPA 6: Diseño de los electrodos

- El cátodo fue de grafito con medidas de 5,5 cm de largo y 2 cm de diámetro. El ánodo de grafito de área de superficie de 40,8 cm<sup>2</sup> (figura 15).



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Ánodo y catodo de grafito.

## ETAPA 7: Pasos para la operación del humedal

- Construcción de la pila de combustible microbiana en un humedal (figura 16).



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Construcción de las PMFC.

- Dicha cámara de crecimiento se rellenó con turba orgánica 60 %, arena 30 % y 10 % de grava (Corbella et al. 2015) y aproximadamente 2 cm de grava ( $\varnothing$  50 mm–80 mm), también se colocó en el medio de filtración.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 17.** Rellenado de PMFC.

- Se esperó unos 20 días para realizar las tomas de muestra de generación de energía eléctrica debido a la aclimatación de la totora. También se colocó una capa de lana de vidrio de un espesor de 0,01 mm para separar los compartimientos del cátodo y ánodo (Corbella et al. 2015). Finalmente, el cátodo y el ánodo se conectaron con alambres de cobre aislados a través de 10 k $\Omega$ , y la distancia entre el cátodo y el ánodo para el experimento 1 es 10 cm y para el experimento 2 de 20 cm (Corbella et al. 2015).

La corriente se determinó de acuerdo con la ley de Ohm usando

fórmula:

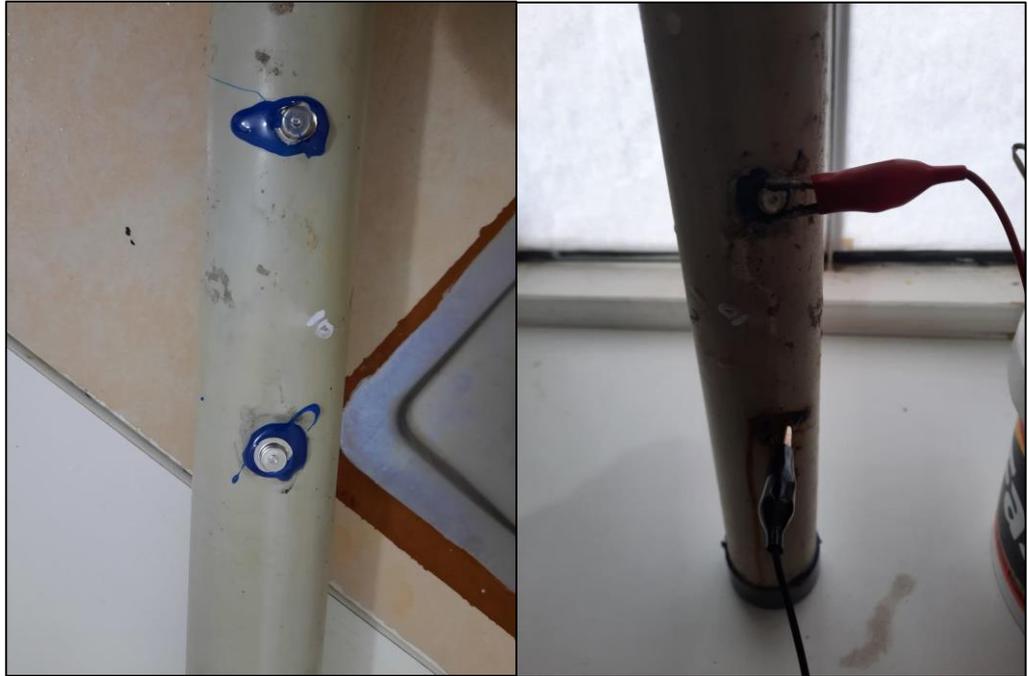
$$I = V/R$$

Donde V corresponde al voltaje de la celda y R ( $\Omega$ ) es la resistencia externa.

La potencia (W) se determina usando la fórmula:

$$P = I \times V$$

Donde I corresponde a la corriente (A) y V (V) es el voltaje de la celda. Además, la densidad de potencia se calculó dividiendo la potencia y la corriente con la superficie ( $m^2$ ) del ánodo (Oon et al. 2015).



Fuente: Elaboración propia  
Figura 18. Distancia entre el ánodo y cátodo.



Fuente: Elaboración propia  
Figura 19. Puesto en funcionamiento del PMFC.



Fuente: Elaboración propia  
Figura 20. Medición de la generación de electricidad en la PMFC.



Fuente: Elaboración propia  
Figura 21. Medición del voltaje generado en la PMFC.

### 3.6. Método de análisis de datos

Para la representación de los datos se hizo uso de la hoja de cálculo Excel del Microsoft office y para el tratamiento de los datos obtenidos en la parte

experimental se utilizó el software estadístico Minitab v 18, donde se realizará un análisis de varianza, grafica de probabilidad y un diagrama de Pareto.

### **3.7. Aspectos éticos**

El proyecto de investigación respetó la propiedad intelectual, citando a los autores y la ética en investigación de la universidad, RCU N° 0126-2017/UCV. Además, se ajustó a la Resolución Rectoral N° 0089 -2019/UCV, Reglamento de investigación de la Universidad César Vallejo y mediante Disposición N° 7.4 de la Resolución de Vicerrectorado de Investigación N° 008-2017-VI/UCV: la cual se verificó mediante el turnitin la evidencia de no copia del proyecto de investigación.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización del agua natural de la Laguna de Paca.

Se realizó una caracterización inicial de los parámetros fisicoquímicos de las aguas naturales de la Laguna de Paca, dando como resultado un DQO de 616 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 279 mg/L, TSS de 55 mg/L y pH de 7.18. Después del proceso de la producción de electricidad se realizó una caracterización final a las aguas naturales de la Laguna de Paca, dando como resultado un DQO de 347 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 152 mg/L, TSS de 38 mg/L y pH de 7.21, dichos resultados fueron analizados por el laboratorio LABECO análisis ambientales S.C.R.L.

**Tabla 3** Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua.

|                         | Inicial | Final | Reducción |
|-------------------------|---------|-------|-----------|
| DQO (mg/L)              | 616     | 347   | 44 %      |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L) | 279     | 152   | 46 %      |
| TSS (mg/L)              | 55      | 38    | 31 %      |

**Fuente:** elaboración propia

### 4.2. Efecto de la distancia entre los electrodos en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.

Para observar el efecto que tiene la distancia entre los electrodos en la producción de electricidad, se trabajó a 10 cm y 20 cm en una pila de combustible microbiana para ello se realizó 3 pruebas experimentales. Se tomó medidas de voltaje (mV) producido para luego realizar el cálculo de la intensidad (mA), densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>), potencia (mW) y densidad potencial (mW/m<sup>2</sup>). El área de los electrodos fue de 40.8 cm<sup>2</sup>. A continuación se muestra las tablas con los debidos resultados obtenidos:

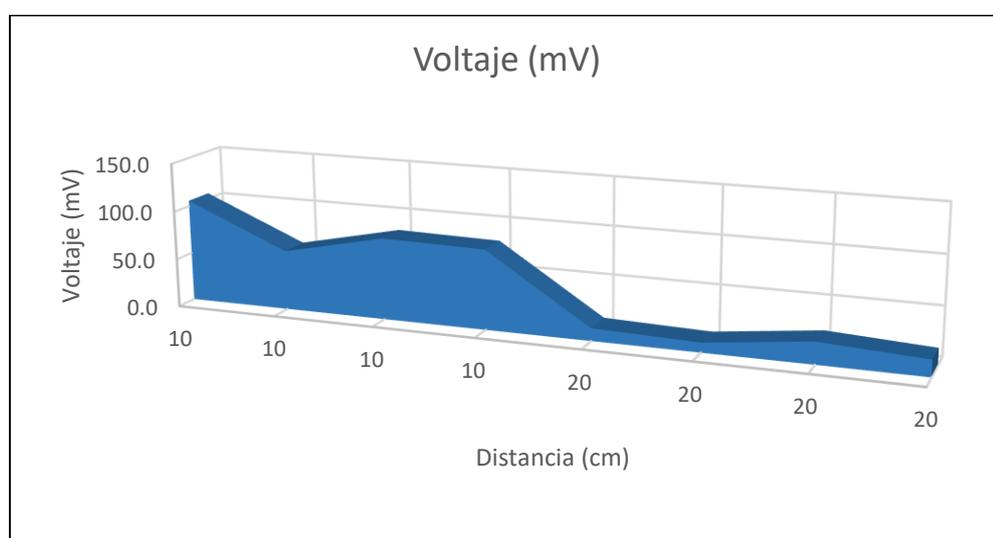
## Voltaje (mV)

Tabla 4 Voltaje (mV).

| Distancia (cm) | Voltaje (mV) |       |       |          |
|----------------|--------------|-------|-------|----------|
|                | P1           | P2    | P3    | PROMEDIO |
| 10             | 106.3        | 105.9 | 104.7 | 105.6    |
| 20             | 12.6         | 13.4  | 12.9  | 13.0     |
| 10             | 62.3         | 60.1  | 61.7  | 61.4     |
| 20             | 9.1          | 10.8  | 10.2  | 10.0     |
| 10             | 84           | 83.5  | 84.6  | 84.0     |
| 20             | 23.9         | 21.8  | 22.1  | 22.6     |
| 10             | 82.6         | 83.3  | 80    | 82.0     |
| 20             | 16.2         | 17.1  | 17.6  | 17.0     |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4 se muestra los valores de los voltajes obtenidos con la variación de la distancia entre los electrodos de grafito, mediante la pila de combustible microbiana, donde el mayor valor de voltaje obtenido fue a unos 10 cm de separación teniendo un valor de 105.6 mV y un mínimo voltaje de 10 mV a una distancia de separación de 20 cm.



Fuente: elaboración propia

Figura 22 Variación del voltaje con relación a la distancia de los electrodos.

En la figura 22 se muestra la gráfica de la variación del voltaje con relación a la distancia de los electrodos, donde a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm se obtiene mayores valores

de voltaje, mientras a una distancia de separación de 20 cm, los valores del voltaje decaen.

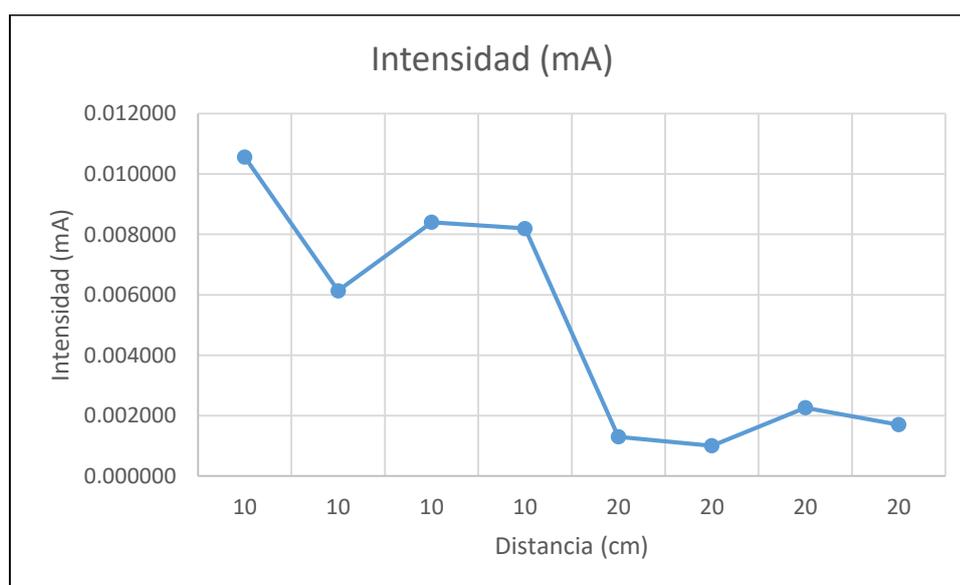
### Intensidad (mA)

**Tabla 5** Intensidad de corriente (mA)

| Distancia<br>cm | Intensidad (mA) |        |        |          |
|-----------------|-----------------|--------|--------|----------|
|                 | P1              | P2     | P3     | PROMEDIO |
| 10              | 0.0106          | 0.0106 | 0.0105 | 0.0106   |
| 20              | 0.0013          | 0.0013 | 0.0013 | 0.0013   |
| 10              | 0.0062          | 0.0060 | 0.0062 | 0.0061   |
| 20              | 0.0009          | 0.0011 | 0.0010 | 0.0010   |
| 10              | 0.0084          | 0.0084 | 0.0085 | 0.0084   |
| 20              | 0.0024          | 0.0022 | 0.0022 | 0.0023   |
| 10              | 0.0083          | 0.0083 | 0.0080 | 0.0082   |
| 20              | 0.0016          | 0.0017 | 0.0018 | 0.0017   |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 5 se muestra los valores de la intensidad de corriente obtenidos con la variación de la distancia entre los electrodos de grafito, mediante la pila de combustible microbiana, donde la mayor intensidad de corriente obtenido fue a unos 10 cm de separación teniendo un valor de 0.0106 mA y una mínima intensidad de corriente de 0.0010 mA a una distancia de separación de 20 cm.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 23** Variación de la intensidad de corriente con relación a la distancia de los electrodos.

En la figura 23 se muestra la gráfica de la variación de la intensidad de corriente con relación a la distancia de los electrodos, donde a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm se obtiene mayores valores de intensidad de corriente, mientras a una distancia de separación de 20 cm, los valores de la intensidad de corriente decaen.

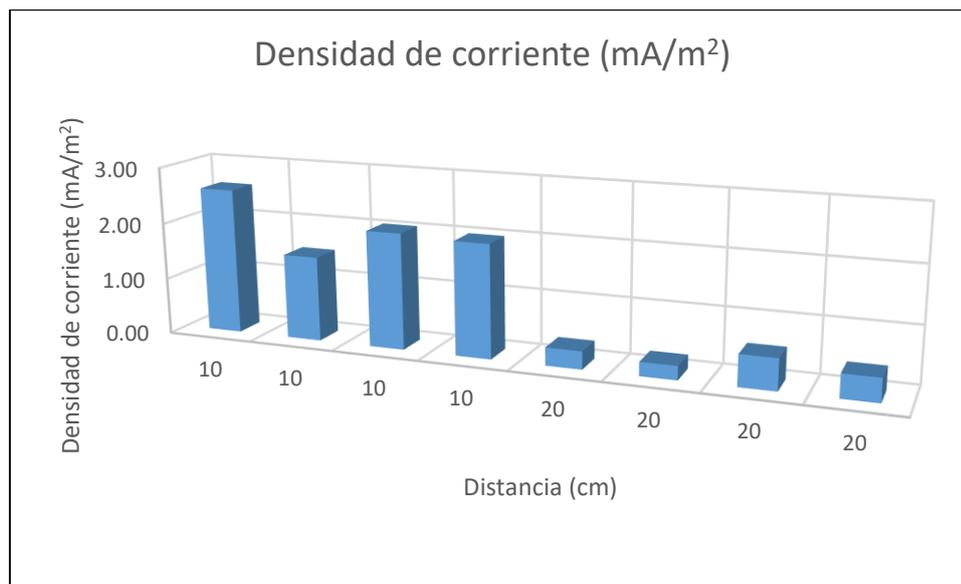
### Densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>)

**Tabla 6** Densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>)

| Distancia<br>cm | Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> ) |      |      |          |
|-----------------|--|------|------|----------|
|                 | P1   | P2   | P3   | PROMEDIO |
| 10              | 2.60                                       | 2.59 | 2.56 | 2.59     |
| 20              | 0.31                                       | 0.33 | 0.32 | 0.32     |
| 10              | 1.53                                       | 1.47 | 1.51 | 1.50     |
| 20              | 0.22                                       | 0.26 | 0.25 | 0.25     |
| 10              | 2.06                                       | 2.04 | 2.07 | 2.06     |
| 20              | 0.59                                       | 0.53 | 0.54 | 0.55     |
| 10              | 2.02                                       | 2.04 | 1.96 | 2.01     |
| 20              | 0.40                                       | 0.42 | 0.43 | 0.42     |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 6 se muestra los valores de la densidad de corriente obtenidos con la variación de la distancia entre los electrodos de grafito, mediante la pila de combustible microbiana, donde la mayor densidad de corriente obtenido fue a unos 10 cm de separación teniendo un valor de 2.59 mA/m<sup>2</sup> y una mínima intensidad de corriente de 0.25 mA/m<sup>2</sup> a una distancia de separación de 20 cm.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 24** Variación de la densidad de corriente con relación a la distancia de los electrodos

En la figura 24 se muestra la gráfica de la variación de la densidad de corriente con relación a la distancia de los electrodos, donde a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm se obtiene mayores valores de densidad de corriente, mientras a una distancia de separación de 20 cm, los valores de la densidad de corriente decaen.

### Potencia (mW)

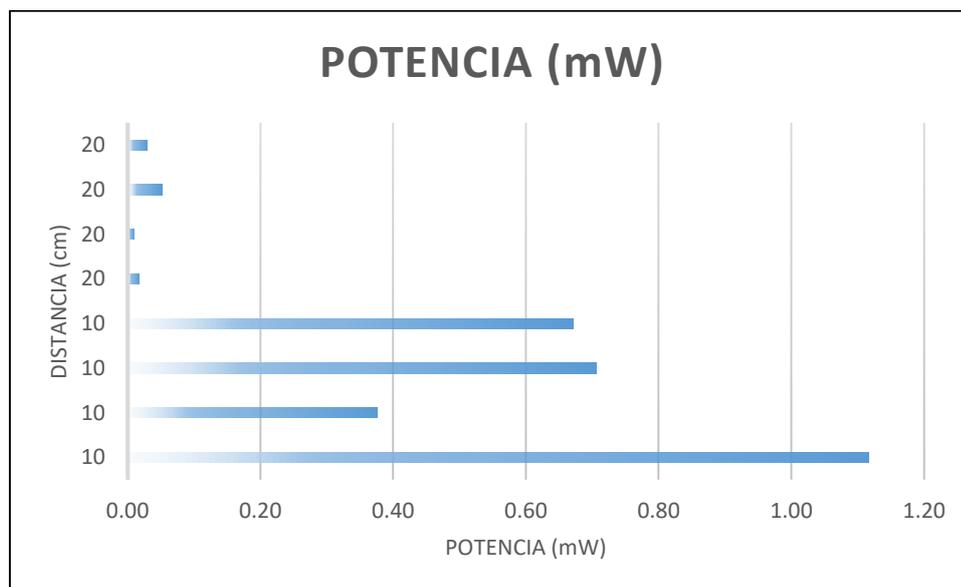
**Tabla 7** Potencia (mW)

| Distancia<br>cm | Potencia (mW) |      |      |          |
|-----------------|---------------|------|------|----------|
|                 | P1            | P2   | P3   | PROMEDIO |
| 10              | 1.13          | 1.12 | 1.10 | 1.12     |
| 20              | 0.02          | 0.02 | 0.02 | 0.02     |
| 10              | 0.39          | 0.36 | 0.38 | 0.38     |
| 20              | 0.01          | 0.01 | 0.01 | 0.01     |
| 10              | 0.71          | 0.70 | 0.72 | 0.71     |
| 20              | 0.06          | 0.05 | 0.05 | 0.05     |
| 10              | 0.68          | 0.69 | 0.64 | 0.67     |
| 20              | 0.03          | 0.03 | 0.03 | 0.03     |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 7 se muestra los valores de la potencia obtenidos con la variación de la distancia entre los electrodos de grafito, mediante la pila de combustible microbiana, donde la mayor potencia obtenido fue

a unos 10 cm de separación teniendo un valor de 1.12 mW y una mínima potencia de 0.01 mW a una distancia de separación de 20 cm.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 25** Variación de la potencia con relación a la distancia de los electrodos.

En la figura 25 se muestra la gráfica de la variación de la potencia con relación a la distancia de los electrodos, donde a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm se obtiene mayores valores de potencia, mientras a una distancia de separación de 20 cm, los valores de potencia decaen.

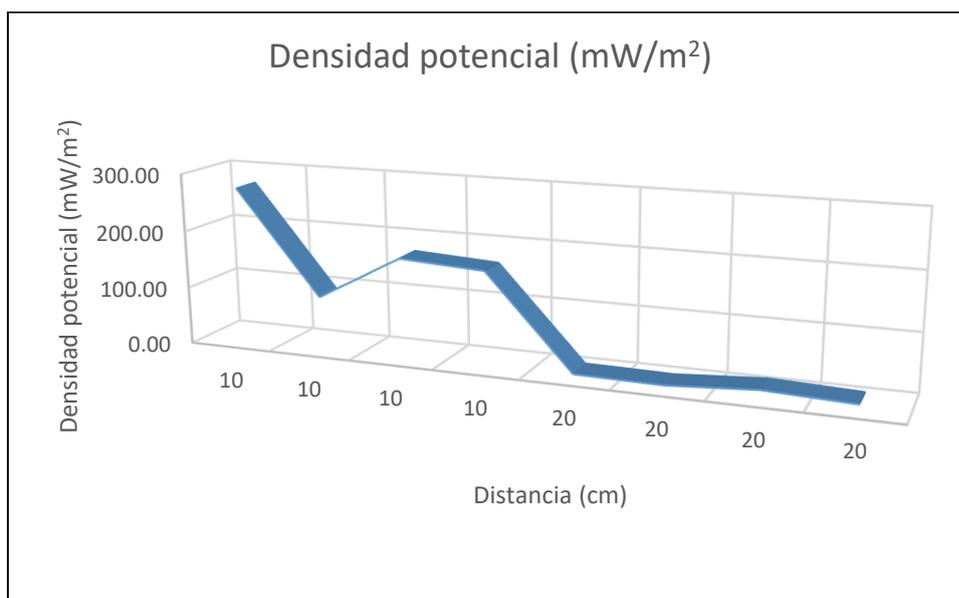
### Densidad de potencia (mW/m<sup>2</sup>)

**Tabla 8** Densidad de potencia (mW/m<sup>2</sup>)

| Distancia<br>cm | Densidad Potencial (mW/m <sup>2</sup> ) |        |        |          |
|-----------------|---|--------|--------|----------|
|                 | P1                                      | P2     | P3     | PROMEDIO |
| 10              | 276.68                                  | 274.60 | 268.41 | 273.23   |
| 20              | 3.89                                    | 4.40   | 4.07   | 4.12     |
| 10              | 95.03                                   | 88.44  | 93.21  | 92.23    |
| 20              | 2.03                                    | 2.86   | 2.55   | 2.48     |
| 10              | 172.77                                  | 170.72 | 175.25 | 172.91   |
| 20              | 13.99                                   | 11.64  | 11.96  | 12.53    |
| 10              | 167.06                                  | 169.90 | 156.71 | 164.56   |
| 20              | 6.43                                    | 7.16   | 7.58   | 7.06     |

**Fuente:** elaboración propia

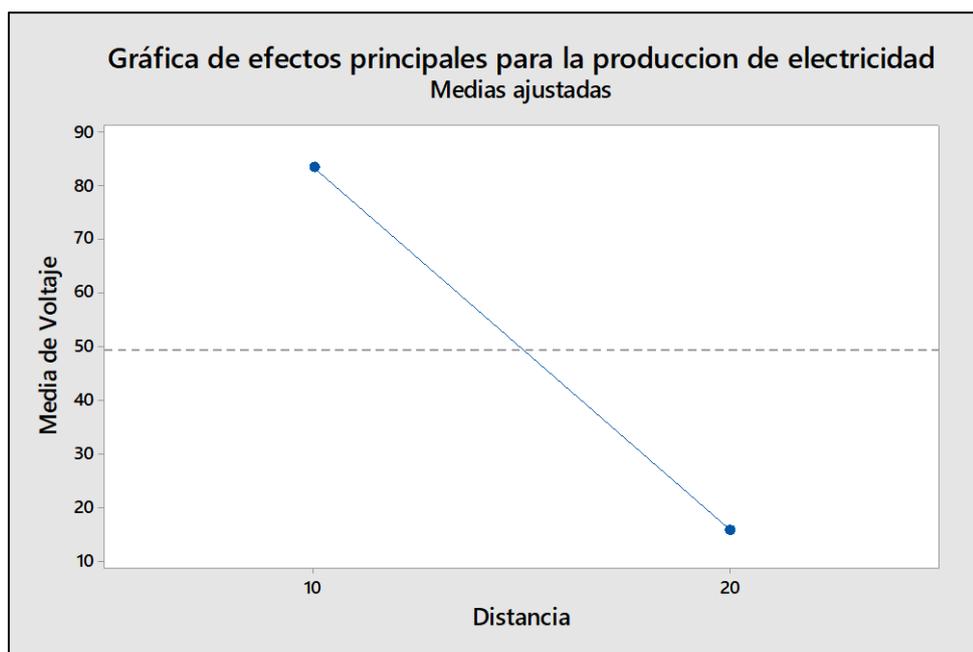
En la tabla 8 se muestra los valores de la densidad potencial obtenidos con la variación de la distancia entre los electrodos de grafito, mediante la pila de combustible microbiana, donde la mayor densidad potencial obtenido fue a unos 10 cm de separación teniendo un valor de 273.23 mW/m<sup>2</sup> y una mínima densidad potencial de 2.48 mW/m<sup>2</sup> a una distancia de separación de 20 cm.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 26** Variación de la densidad potencial con relación a la distancia de los electrodos.

En la figura 26 se muestra la gráfica de la variación de la densidad potencial con relación a la distancia de los electrodos, donde a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm se obtiene mayores valores de la densidad potencial, mientras a una distancia de separación de 20 cm, los valores de la densidad potencial decaen.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 27** Grafica de efectos principales para la producción de electricidad.

La figura 27 muestra el efecto principal para la producción de electricidad en relación a la distancia de separación entre los electrodos de grafito, donde a una distancia de 10 cm se tiene mayor producción de electricidad y a una distancia de 20 cm una mínima producción de electricidad.

#### **4.3. Efecto del volumen del agua en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.**

Para observar el efecto que tiene el volumen del agua en la producción de electricidad, se trabajó con 100 mL y 200 mL en una pila de combustible microbiana para ello se realizó 3 pruebas experimentales. Se tomó medidas de voltaje (mV) producido para luego realizar el cálculo de la intensidad (mA), densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>), potencia (mW) y densidad potencial (mW/m<sup>2</sup>). El área de los electrodos fue de 40.8 cm<sup>2</sup>. A continuación se muestra las tablas con los debidos resultados obtenidos.

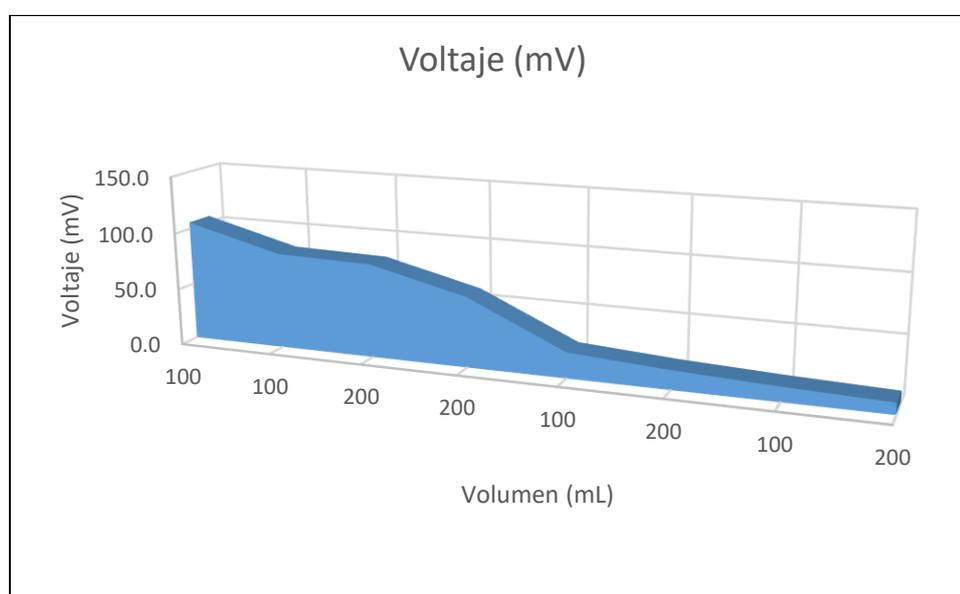
## Voltaje (mV)

**Tabla 9** Voltaje (mV)

| Volumen (mL) | Voltaje (mV) |       |       |          |
|--------------|--------------|-------|-------|----------|
|              | P1           | P2    | P3    | PROMEDIO |
| 100          | 106.3        | 105.9 | 104.7 | 105.6    |
| 100          | 12.6         | 13.4  | 12.9  | 13.0     |
| 200          | 62.3         | 60.1  | 61.7  | 61.4     |
| 200          | 9.1          | 10.8  | 10.2  | 10.0     |
| 100          | 84           | 83.5  | 84.6  | 84.0     |
| 100          | 23.9         | 21.8  | 22.1  | 22.6     |
| 200          | 82.6         | 83.3  | 80    | 82.0     |
| 200          | 16.2         | 17.1  | 17.6  | 17.0     |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 9 se muestra los valores de los voltajes obtenidos con la variación del volumen de agua, mediante la pila de combustible microbiana, donde el mayor valor de voltaje obtenido fue a unos 100 mL teniendo un valor de 105.6 mV y un mínimo voltaje de 10 mV a un volumen de agua de 200 mL.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 28** Variación del voltaje con relación al volumen de agua

En la figura 28 se muestra la gráfica de la variación del voltaje con relación al volumen de agua, donde a un volumen de agua de 100 mL se obtiene mayores valores de voltaje, mientras a un volumen de 200 mL, los valores del voltaje decaen.

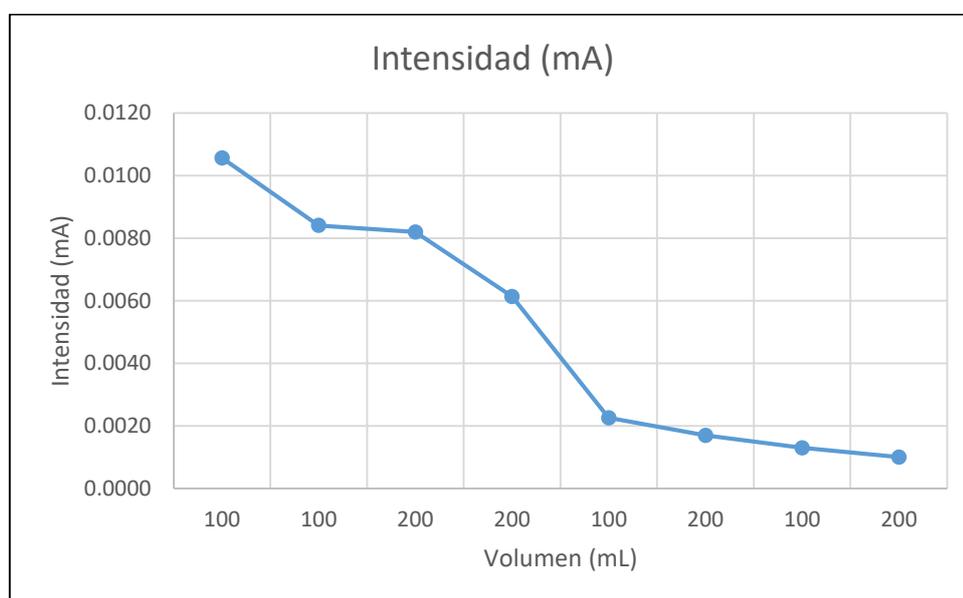
## Intensidad (mA)

Tabla 10 Intensidad (mA)

| Volumen (mL) | Intensidad (mA) |        |        |          |
|--------------|-----------------|--------|--------|----------|
|              | P1              | P2     | P3     | PROMEDIO |
| 100          | 0.0106          | 0.0106 | 0.0105 | 0.0106   |
| 100          | 0.0013          | 0.0013 | 0.0013 | 0.0013   |
| 200          | 0.0062          | 0.0060 | 0.0062 | 0.0061   |
| 200          | 0.0009          | 0.0011 | 0.0010 | 0.0010   |
| 100          | 0.0084          | 0.0084 | 0.0085 | 0.0084   |
| 100          | 0.0024          | 0.0022 | 0.0022 | 0.0023   |
| 200          | 0.0083          | 0.0083 | 0.0080 | 0.0082   |
| 200          | 0.0016          | 0.0017 | 0.0018 | 0.0017   |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 10 se muestra los valores de la intensidad de corriente obtenidos con la variación del volumen de agua, mediante la pila de combustible microbiana, donde el mayor valor de la intensidad de corriente obtenido fue a unos 100 mL teniendo un valor de 0.0106 mA y una mínima intensidad de corriente de 0.0010 mA a un volumen de agua de 200 mL.



Fuente: elaboración propia

**Figura 29** Variación de la intensidad de corriente con relación al volumen de agua.

En la figura 29 se muestra la gráfica de la variación de la intensidad de corriente con relación al volumen de agua, donde a un volumen de

agua de 100 mL se obtiene mayores valores de intensidad de corriente, mientras a un volumen de 200 mL, los valores de la intensidad de corriente decaen.

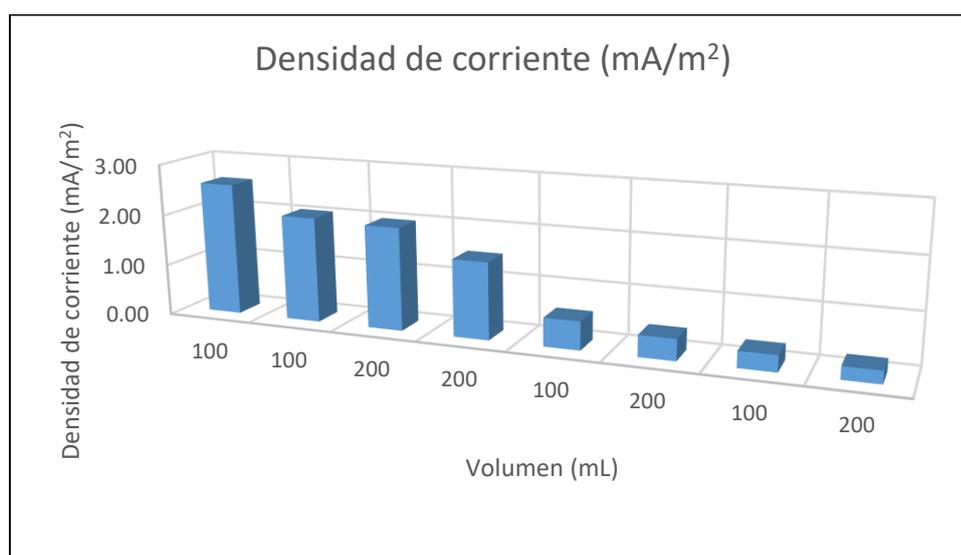
### Densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>)

**Tabla 11** Densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>)

| Volumen (mL) | Densidad de corriente (A/m <sup>2</sup> ) |      |      |          |
|--------------|---|------|------|----------|
|              | P1  | P2   | P3   | PROMEDIO |
| 100          | 2.60                                      | 2.59 | 2.56 | 2.59     |
| 100          | 0.31                                      | 0.33 | 0.32 | 0.32     |
| 200          | 1.53                                      | 1.47 | 1.51 | 1.50     |
| 200          | 0.22                                      | 0.26 | 0.25 | 0.25     |
| 100          | 2.06                                      | 2.04 | 2.07 | 2.06     |
| 100          | 0.59                                      | 0.53 | 0.54 | 0.55     |
| 200          | 2.02                                      | 2.04 | 1.96 | 2.01     |
| 200          | 0.40                                      | 0.42 | 0.43 | 0.42     |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 11 se muestra los valores de la densidad de corriente obtenidos con la variación del volumen de agua, mediante la pila de combustible microbiana, donde el mayor valor de la densidad de corriente obtenido fue a unos 100 mL teniendo un valor de 2.59 mA/m<sup>2</sup> y una mínima densidad de corriente de 0.25 mA/m<sup>2</sup> a un volumen de agua de 200 mL.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 30** Variación de la densidad de corriente con relación al volumen de agua.

En la figura 30 se muestra la gráfica de la variación de la densidad de corriente con relación al volumen de agua, donde a un volumen de agua de 100 mL se obtiene mayores valores de densidad de corriente, mientras a un volumen de 200 mL, los valores de la densidad de corriente decaen.

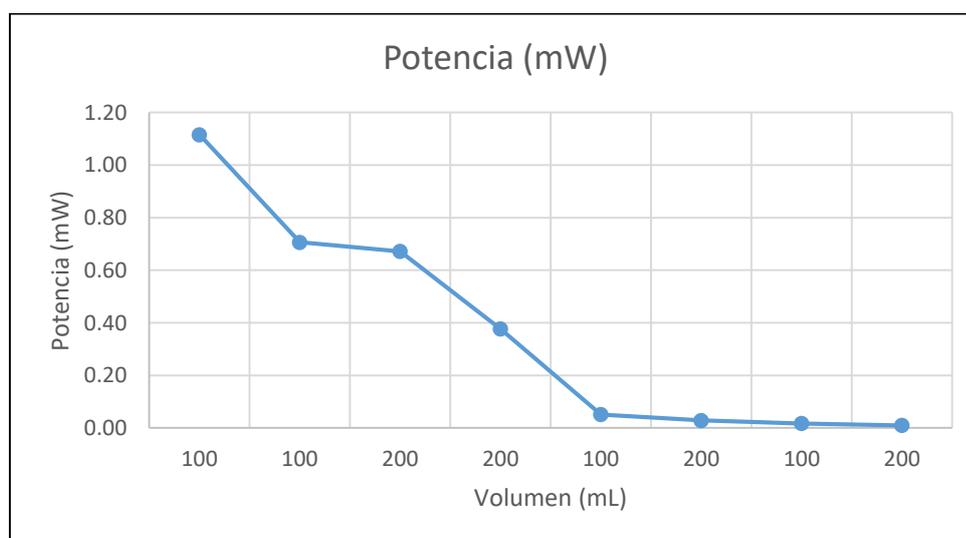
### Potencia (mW)

**Tabla 12** Potencia (mW)

| Volumen (mL) | Potencia (mW) |      |      |          |
|--------------|---------------|------|------|----------|
|              | P1            | P2   | P3   | PROMEDIO |
| 100          | 1.13          | 1.12 | 1.10 | 1.12     |
| 100          | 0.02          | 0.02 | 0.02 | 0.02     |
| 200          | 0.39          | 0.36 | 0.38 | 0.38     |
| 200          | 0.01          | 0.01 | 0.01 | 0.01     |
| 100          | 0.71          | 0.70 | 0.72 | 0.71     |
| 100          | 0.06          | 0.05 | 0.05 | 0.05     |
| 200          | 0.68          | 0.69 | 0.64 | 0.67     |
| 200          | 0.03          | 0.03 | 0.03 | 0.03     |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 12 se muestra los valores de la potencia obtenidos con la variación del volumen de agua, mediante la pila de combustible microbiana, donde el mayor valor de la potencia obtenido fue a unos 100 mL teniendo un valor de 1.12 mW y una mínima potencia de 0.01 mW a un volumen de agua de 200 mL.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 31** Variación de la potencia con relación al volumen de agua.

En la figura 31 se muestra la gráfica de la variación de la potencia con relación al volumen de agua, donde a un volumen de agua de 100 mL se obtiene mayores valores de potencia, mientras a un volumen de 200 mL, los valores de potencia decaen.

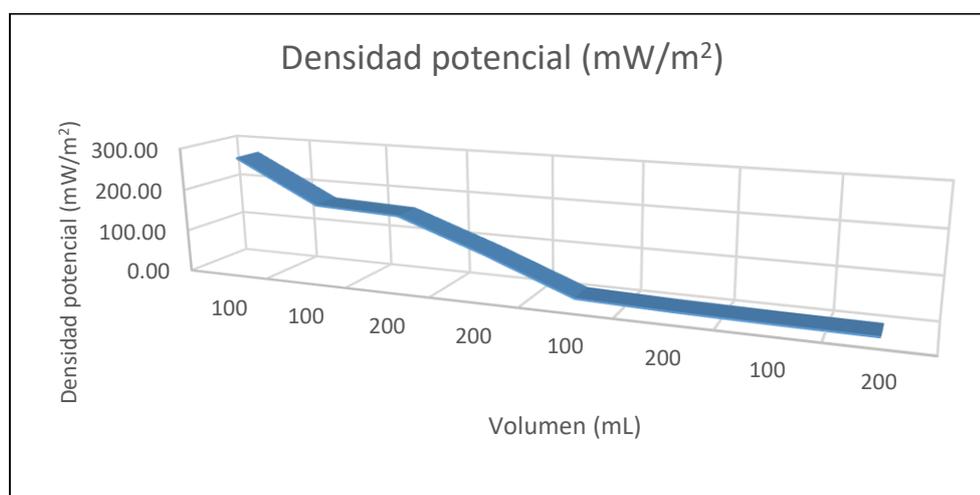
### Densidad potencial (mW/m<sup>2</sup>)

**Tabla 13** Densidad de corriente (mW/m<sup>2</sup>)

| Volumen (mL) | Densidad Potencial (mW/m <sup>2</sup> ) |        |        |          |
|--------------|---|--------|--------|----------|
|              | P1                                      | P2     | P3     | PROMEDIO |
| 100          | 276.68                                  | 274.60 | 268.41 | 273.23   |
| 100          | 3.89                                    | 4.40   | 4.07   | 4.12     |
| 200          | 95.03                                   | 88.44  | 93.21  | 92.23    |
| 200          | 2.03                                    | 2.86   | 2.55   | 2.48     |
| 100          | 172.77                                  | 170.72 | 175.25 | 172.91   |
| 100          | 13.99                                   | 11.64  | 11.96  | 12.53    |
| 200          | 167.06                                  | 169.90 | 156.71 | 164.56   |
| 200          | 6.43                                    | 7.16   | 7.58   | 7.06     |

**Fuente:** elaboración propia

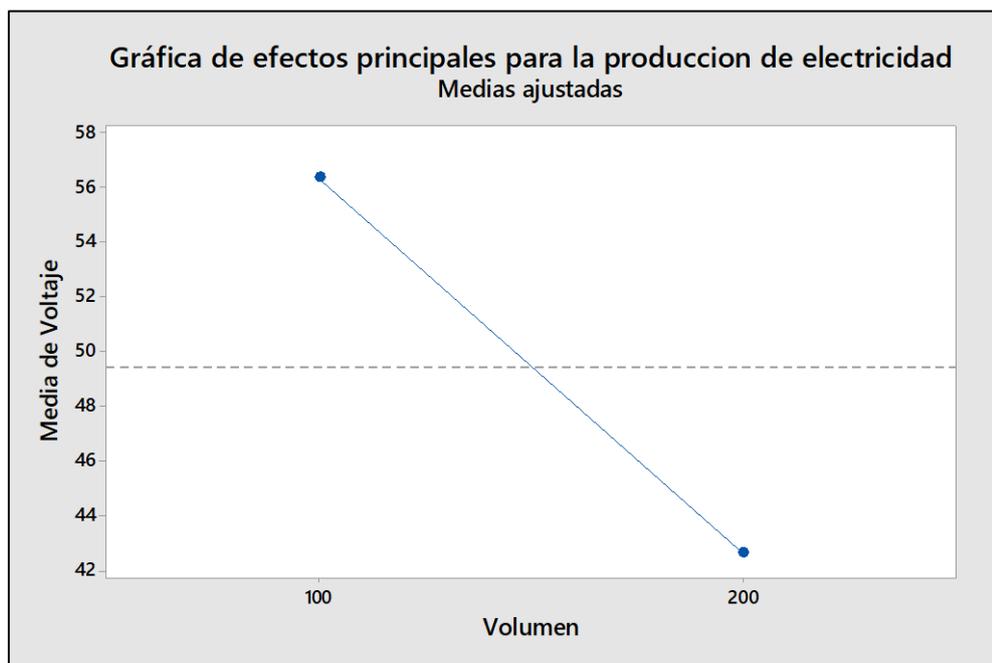
En la tabla 13 se muestra los valores de la densidad potencial obtenidos con la variación del volumen de agua, mediante la pila de combustible microbiana, donde el mayor valor de la densidad potencial obtenido fue a unos 100 mL teniendo un valor de 273.23 mW/m<sup>2</sup> y una mínima densidad potencial de 2.48 mW/m<sup>2</sup> a un volumen de agua de 200 mL.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 32** Variación de la densidad potencial con relación al volumen de agua.

En la figura 32 se muestra la gráfica de la variación de la densidad potencial con relación al volumen de agua, donde a un volumen de agua de 100 mL se obtiene mayores valores de la densidad potencial, mientras a un volumen de 200 mL, los valores de la densidad potencial decaen.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 33** Grafica de efectos principales para la producción de electricidad – Volumen

La figura 33 muestra el efecto principal para la producción de electricidad en relación al volumen del agua, donde a un volumen de 100 mL se tiene mayor producción de electricidad y a un volumen de 200 mL una mínima producción de electricidad.

#### **4.4. Evaluación del tiempo del proceso para la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.**

Para evaluar el tiempo del proceso en la producción de electricidad, se trabajó con 15 días y 30 días después de los 20 días de la aclimatación del humedal diseñado, en una pila de combustible microbiana para ello se tomó muestras diarias cada 8 horas. Se tomó medidas de voltaje (mV).

## Voltaje (mV)

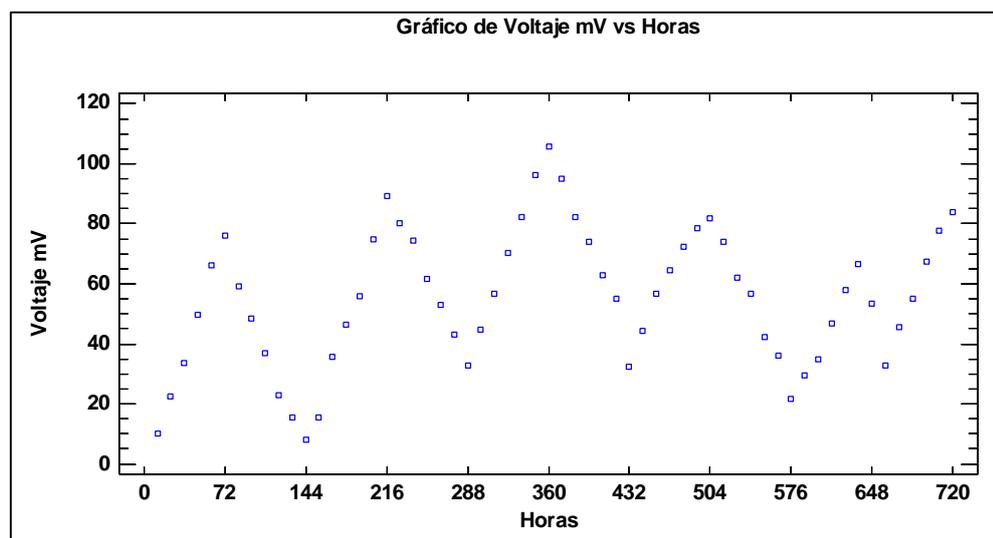
Tabla 14 Voltaje (mV)

| Días | Horas (h) | Voltaje (mV) |
|------|-----------|--------------|
| 1    | 12        | 10           |
| 1    | 24        | 22.5         |
| 2    | 36        | 33.7         |
| 2    | 48        | 49.6         |
| 3    | 60        | 66.2         |
| 3    | 72        | 76.2         |
| 4    | 84        | 59           |
| 4    | 96        | 48.3         |
| 5    | 108       | 36.8         |
| 5    | 120       | 22.7         |
| 6    | 132       | 15.3         |
| 6    | 144       | 8.1          |
| 7    | 156       | 15.6         |
| 7    | 168       | 35.7         |
| 8    | 180       | 46.3         |
| 8    | 192       | 55.9         |
| 9    | 204       | 75           |
| 9    | 216       | 89.3         |
| 10   | 228       | 80.2         |
| 10   | 240       | 74.6         |
| 11   | 252       | 61.8         |
| 11   | 264       | 53.1         |
| 12   | 276       | 43.2         |
| 12   | 288       | 32.7         |
| 13   | 300       | 44.9         |
| 13   | 312       | 56.9         |
| 14   | 324       | 70.3         |
| 14   | 336       | 82.4         |
| 15   | 348       | 96.2         |
| 15   | 360       | 105.6        |
| 16   | 372       | 95.2         |
| 16   | 384       | 82.3         |
| 17   | 396       | 74.2         |
| 17   | 408       | 63           |
| 18   | 420       | 55.2         |
| 18   | 432       | 32.5         |
| 19   | 444       | 44.3         |
| 19   | 456       | 56.8         |
| 20   | 468       | 64.6         |
| 20   | 480       | 72.3         |
| 21   | 492       | 78.6         |

|    |     |      |
|----|-----|------|
| 21 | 504 | 82   |
| 22 | 516 | 74.2 |
| 22 | 528 | 61.9 |
| 23 | 540 | 56.9 |
| 23 | 552 | 42.3 |
| 24 | 564 | 36.2 |
| 24 | 576 | 21.6 |
| 25 | 588 | 29.6 |
| 25 | 600 | 34.8 |
| 26 | 612 | 46.7 |
| 26 | 624 | 57.9 |
| 27 | 636 | 66.4 |
| 27 | 648 | 53.5 |
| 28 | 660 | 32.8 |
| 28 | 672 | 45.6 |
| 29 | 684 | 55.1 |
| 29 | 696 | 67.6 |
| 30 | 708 | 77.7 |
| 30 | 720 | 84   |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 14 se muestra los valores de voltaje obtenidos con respecto al paso de los días y las horas, donde se observa que a los 15 días se tiene un voltaje máximo de 105.6 mV. En el caso de los 30 días se tiene un voltaje máximo de 84 mV.

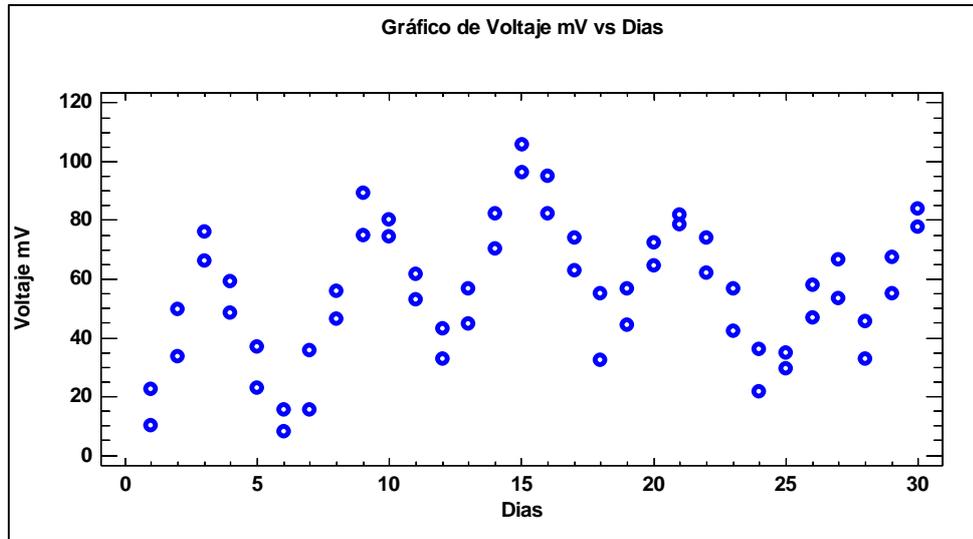


**Fuente:** elaboración propia

**Figura 34** Variación del voltaje con relación al tiempo de proceso en horas.

En la figura 34 se observa la variación del voltaje con relación al tiempo de proceso expresado en horas, donde se observa un ascenso y

descenso del voltaje mientras transcurren las horas, observando que a una hora de 360 se tiene el máximo voltaje obtenido de 105.6 mV.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 35** Variación del voltaje con relación al tiempo de proceso en días.

En la figura 35 se observa la variación del voltaje con relación al tiempo de proceso expresado en días, donde se observa un ascenso y descenso del voltaje mientras transcurren los días, observando que a los 15 días se tiene el máximo voltaje obtenido de 105.6 mV.

Para el cálculo de la intensidad (mA), densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>), potencia (mW) y densidad potencial (mW/m<sup>2</sup>) se trabajó con el voltaje máximo obtenido en el transcurso de los días que fue de 105.6 mV. El área de los electrones fue de 40.8 cm<sup>2</sup>.

**Tabla 15** Cálculos obtenidos del voltaje con relación al tiempo del proceso de producción de electricidad

|   |        |
|---|--------|
| <b>Voltaje (mV)</b>                             | 105.6  |
| <b>Intensidad (mA)</b>                          | 0.0106 |
| <b>Densidad de corriente (mA/m<sup>2</sup>)</b> | 2.59   |
| <b>Potencia (mW)</b>                            | 1.12   |
| <b>Densidad Potencial (mW/m<sup>2</sup>)</b>    | 273.23 |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 15 se muestra el valor de la intensidad de 0.0106 mA, densidad corriente de 2.59 mA/m<sup>2</sup>, potencia de 1.12 mW y densidad potencial de 273.23 mW/m<sup>2</sup>. Estos resultados se obtuvieron al trabajar con el máximo voltaje obtenido en todo el proceso experimental que fue de 105.6 mV.

#### 4.5. Producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.

Para determinar la cantidad de producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal, se trabajó con tres variables las cuales fueron: distancia de separación entre los electrodos de 10 cm a 20 cm; volumen del agua de 100 mL a 200 mL y un tiempo de 15 días a 30 días. Antes de tomar las medidas del voltaje producido se esperaron 20 días de aclimatación de la totora en el humedal diseñado, pasados esos días recién se empezó a realizar la toma del voltaje con una resistencia constante de 10 kΩ y un área de los electrodos de grafito circulares de 40.8 cm<sup>2</sup>.

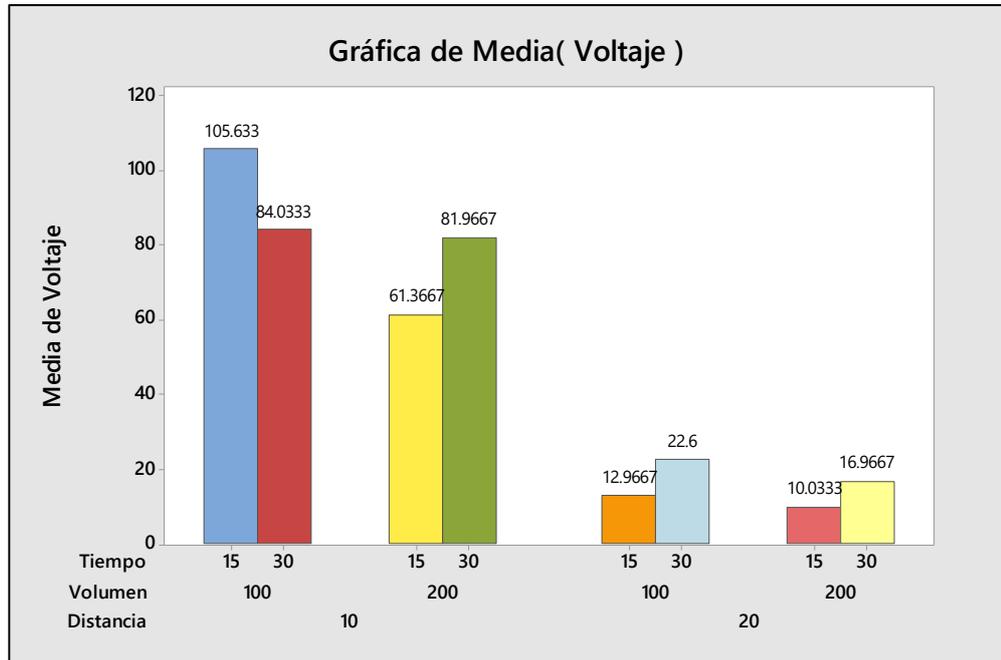
**Tabla 16** Datos obtenidos en la producción de electricidad.

| Distancia (cm) | Volumen (mL) | Tiempo (días) | Voltaje (mV) | Intensidad (mA) | Densidad de Corriente (mA/m <sup>2</sup> ) | Potencia (mW) | Densidad potencial (mW/m <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|--|---------------|---|
| 10             | 100          | 15            | 105.6        | 0.0106          | 2.59                                       | 1.12          | 273.22                                  |
| 10             | 100          | 30            | 84.0         | 0.0084          | 2.06                                       | 0.71          | 172.91                                  |
| 10             | 200          | 15            | 61.4         | 0.0061          | 1.50                                       | 0.38          | 92.21                                   |
| 10             | 200          | 30            | 82.0         | 0.0082          | 2.01                                       | 0.67          | 164.51                                  |
| 20             | 100          | 15            | 13.0         | 0.0013          | 0.32                                       | 0.02          | 4.12                                    |
| 20             | 100          | 30            | 22.6         | 0.0023          | 0.55                                       | 0.05          | 12.51                                   |
| 20             | 200          | 15            | 10.0         | 0.0010          | 0.25                                       | 0.01          | 2.46                                    |
| 20             | 200          | 30            | 17.0         | 0.0017          | 0.42                                       | 0.03          | 7.05                                    |

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 16 se observan los datos obtenidos en la producción de electricidad en una pila de combustible microbiana en un humedal, donde se observa que la cantidad de voltajes es directamente proporcional a la producción de electricidad, ya que a un voltaje máximo de 105.6 mV, se tiene una producción de electricidad de 273.23 mW/m<sup>2</sup>

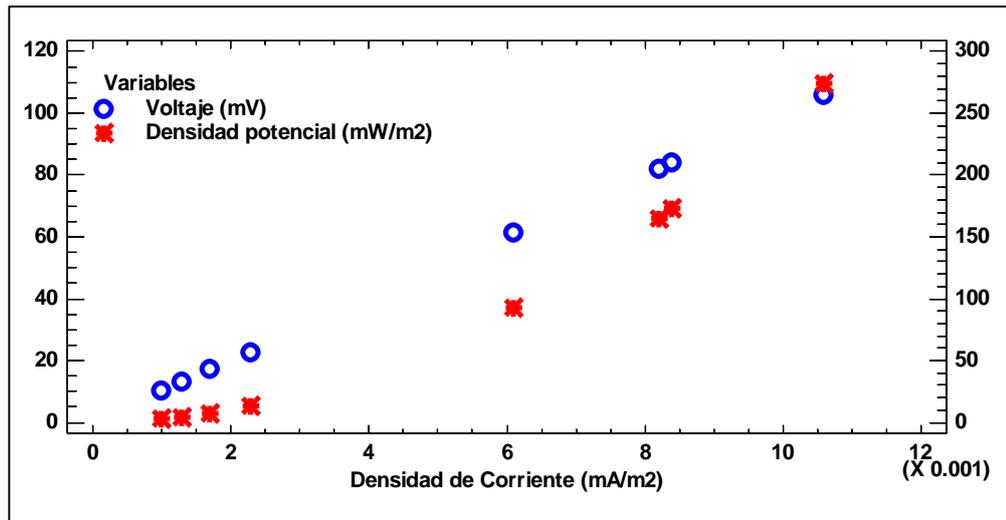
y a un voltaje mínimo de 10 mV, se tiene una producción de electricidad de 2.46 mW/m<sup>2</sup>.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 36** Producción de electricidad.

En la figura 36 se observa la gráfica de la producción de electricidad en función de las tres variables que se manejó (distancia de separación entre los electrodos de 10 cm a 20 cm; volumen del agua de 100 mL a 200 mL y un tiempo de 15 días a 30 días), donde la mayor producción de electricidad se da a un tiempo de 15 días, un volumen de agua de 100 mL y una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm, con un valor de 105.6 mV que equivale a 273.23 mW/m<sup>2</sup> y a un tiempo de 15 días, un volumen de agua de 200 mL y una distancia de separación entre los electrodos de 20 cm se tiene un valor mínimo de 10.03 mV que equivale a 2.46 mW/m<sup>2</sup>.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 37** Variación de la densidad de corriente en función del voltaje y densidad potencial.

En la figura 37 se muestra la variación de la densidad de corriente en función del voltaje (eje Y izquierdo) y densidad potencial (eje Y derecho) donde se muestra cómo evoluciona la producción de electricidad de acuerdo a la evolución del voltaje llegando a un máximo de 105.6 mV y una densidad de potencia de 273.23 mW/m<sup>2</sup>

### Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de las hipótesis se utilizó los datos obtenidos de la parte experimental los cuales se encuentran en las tablas 3,8 y 13. Con dichos datos se realizó el análisis estadístico en los programas de MINITAB, STATGRAPHIC y Excel. En el programa de Minitab se realizó el análisis de varianza y el diseño factorial de 2<sup>3</sup> con sus tres replicas, diagrama de Pareto y la prueba de normalidad de los datos.

### Análisis de varianza en la producción de electricidad

#### Diseño factorial de múltiples niveles

#### Resumen del diseño

**Tabla 17** Resumen del diseño

|                |   |                    |    |
|----------------|---|--------------------|----|
| Factores:      | 3 | Réplicas:          | 3  |
| Corridas base: | 8 | Total de corridas: | 24 |
| Bloques base:  | 1 | Total de bloques:  | 3  |

**Fuente:** elaboración propia**Regresión factorial general: Voltaje vs. Bloques; Volumen; Tiempo****Información del factor****Tabla 18** Información del factor

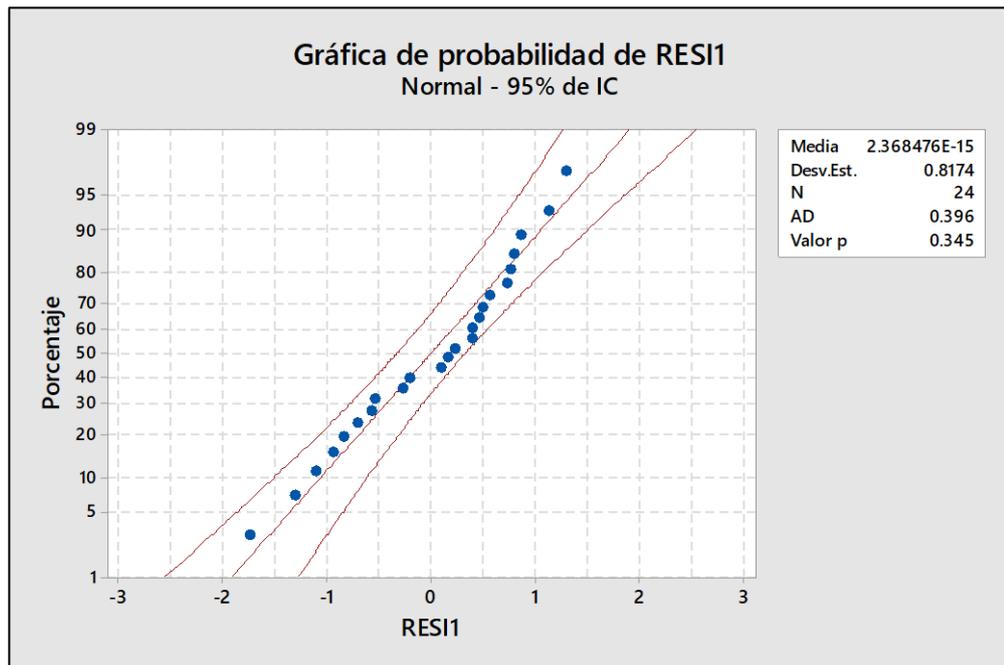
| Factor    | Niveles | Valores  |
|-----------|---------|----------|
| Distancia | 2       | 10; 20   |
| Volumen   | 2       | 100; 200 |
| Tiempo    | 2       | 15; 30   |

**Fuente:** elaboración propia**Análisis de Varianza****Tabla 19** Análisis de varianza de la producción de electricidad.

| Fuente                      | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F  | Valor p |
|-----------------------------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Modelo                      | 9  | 30638.8   | 3404.3    | 3101.71  | 0.000   |
| Bloques                     | 2  | 0.7       | 0.3       | 0.30     | 0.745   |
| Lineal                      | 3  | 28646.4   | 9548.8    | 8700.04  | 0.000   |
| Distancia                   | 1  | 27425.3   | 27425.3   | 24987.55 | 0.000   |
| Volumen                     | 1  | 1130.3    | 1130.3    | 1029.79  | 0.000   |
| Tiempo                      | 1  | 90.9      | 90.9      | 82.79    | 0.000   |
| Interacciones de 2 términos | 3  | 1235.7    | 411.9     | 375.28   | 0.000   |
| Distancia*Volumen           | 1  | 534.9     | 534.9     | 487.33   | 0.000   |
| Distancia*Tiempo            | 1  | 115.7     | 115.7     | 105.43   | 0.000   |
| Volumen*Tiempo              | 1  | 585.1     | 585.1     | 533.09   | 0.000   |
| Interacciones de 3 términos | 1  | 756.0     | 756.0     | 688.80   | 0.000   |
| Distancia*Volumen*Tiempo    | 1  | 756.0     | 756.0     | 688.80   | 0.000   |
| Error                       | 14 | 15.4      | 1.1       |          |         |
| Total                       | 23 | 30654.2   |           |          |         |

**Fuente:** elaboración propia

## Probabilidad



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 38** Producción de electricidad.

En la figura 38 se tiene la probabilidad de la producción de electricidad, donde tiene un p-valor de (0.345), dicho valor es mayor al valor de significancia de 0.05. Esto indica que no se presenta datos atípicos y que vienen de una población normal.

### Contrastación de las hipótesis

Para contrastar la hipótesis se utilizó la tabla 19 de ANOVA la cual particiona la variabilidad de la producción de electricidad en piezas separadas para cada uno de los efectos lo que prueba la significancia estadística de cada efecto haciendo una comparación del cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 8 efectos llegan a tener una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

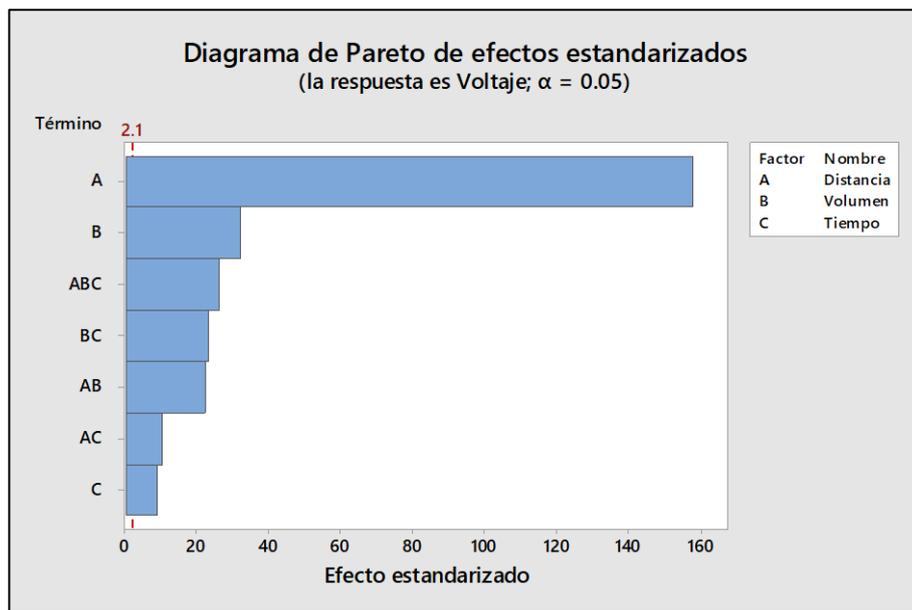
Los valores p se utilizaron para poder contrastar las hipótesis de la investigación, donde se afirma o rechaza la hipótesis.

## Contrastación de la hipótesis general

Ho: La producción de electricidad producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal no está determinada por la distancia entre electrodos, el volumen del agua y el tiempo del proceso.

Ha: La producción de electricidad producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal está determinada por la distancia entre electrodos, el volumen del agua y el tiempo del proceso.

Basándonos en la tabla 19 del análisis de varianza donde la interacción de las 3 variables nos da un valor de p igual a 0.000, dicho valor es menor que el valor de la significancia de 0.05, esto nos indica que se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, la cual afirma que la producción de electricidad producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal está determinada por la distancia entre electrodos, el volumen del agua y el tiempo del proceso.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 39** Diagrama de Pareto de la producción de electricidad.

En la figura 39 se muestra el diagrama de Pareto de la producción de electricidad de los efectos estandarizados donde se puede apreciar que existe influencia significativa tanto como datos separados y la interacción de los 3.

## **Contrastación de las hipótesis específicas**

### **Primera hipótesis específica**

Ho: La distancia entre electrodos no influye en la captación de oxígeno y sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

Ha: La distancia entre electrodos influye en la captación de oxígeno y sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

Basándonos en la tabla 19 del análisis de varianza donde la variable de la distancia de separación entre electrodos nos da un valor de p igual a 0.000, dicho valor es menor que el valor de la significancia de 0.05, esto nos indica que se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, la cual afirma que la distancia entre electrodos influye en la captación de oxígeno y sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

### **Segunda hipótesis específica**

Ho: El volumen del agua no influye en las condiciones redox más altas en los humedales haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

Ha: El volumen del agua influye en las condiciones redox más altas en los humedales haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

Basándonos en la tabla 19 del análisis de varianza donde la variable del volumen del agua nos da un valor de p igual a 0.000, dicho valor es menor que el valor de la significancia de 0.05, esto nos indica que se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, la cual afirma que el volumen del agua influye en las condiciones redox más

altas en los humedales haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

### **Tercera hipótesis específica**

Ho: El tiempo del proceso no influye en la generación de mayores sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

Ha: El tiempo del proceso influye en la generación de mayores sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

Basándonos en la tabla 19 del análisis de varianza donde la variable del tiempo de proceso nos da un valor de p igual a 0.000, dicho valor es menor que el valor de la significancia de 0.05, esto nos indica que se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, la cual afirma que el tiempo del proceso influye en la generación de mayores sustratos haciendo eficiente la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en el humedal.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Efecto de la distancia entre los electrodos en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.

Se trabajó con distancias de separación entre los electrodos de 10 cm y 20 cm, donde se obtuvo un voltaje de 105.6 mV y una producción de electricidad de 273.23 mW/m<sup>2</sup> a una distancia de separación entre los electrodos de 10 cm y a 20 cm de distancia se tuvo un voltaje mínimo de 10 mV y una producción de electricidad de 2.48 mW/m<sup>2</sup>. El efecto de la distancia entre los electrodos también fue estudiado por Yang et al. (2018) quienes trabajaron en un humedal de la marisma donde la distancia entre los ánodos y cátodos fue de 15 cm, 32 cm y 52 cm. siendo el voltaje correspondiente de 74,9 mV, 62,5 mV y 56 mV respectivamente. Apreciando así un descenso en la generación de electricidad producto del alejamiento en la distancia de los electrodos. Wetser et al (2017) Trabajaron con una distancia de 21 cm entre el ánodo y cátodo, donde obtuvieron una máxima generación de electricidad de 88 mW/m<sup>2</sup> en una pila de combustible microbiana. De acuerdo Corbella et al (2015) trabajaron a una distancia de 10 cm entre los electrodos y obtuvieron una máxima corriente de 219 mA/m<sup>2</sup> y una potencia de 36 mW/m<sup>2</sup>. Observando así que a mayor distancia entre los electrodos menor es la generación de electricidad debido a que al aumentar el espacio entre el ánodo y el cátodo se puede exacerbar el problema de la resistencia interna y así reducir su producción de electricidad. Esta distancia se puede reducir aprovechando el oxígeno excretado por las raíces de las plantas de los humedales y eliminando la necesidad de colocar el cátodo en la superficie del agua (Doherty et al. 2015a).

### 5.2. Efecto del volumen del agua en la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.

Para la producción de electricidad se trabajó con diferentes volúmenes de agua dentro de la pila de combustible microbiana en un humedal, con volúmenes de 100 mL y 200 mL. A un volumen de 100 mL se

obtuvo un voltaje máximo de 105.6 mV y una densidad de potencia de 273.23 mW/m<sup>2</sup>. Y aun mayor volumen se obtuvo una mínima producción de voltaje de 10 mV y una densidad de potencia de 2.48 mW/m<sup>2</sup>. Venkata Mohan, Mohanakrishna y Sarma (2010) trabajaron a un volumen de 0.43 L donde obtuvieron una densidad de potencia máxima de 57,38 mW/m<sup>2</sup>, de la misma manera Asefi et al (2019) utilizaron un volumen de 120 mL, con el cual generaron un voltaje máximo de 775 ± 21 mV y una densidad de potencia máxima de 422 mW/m<sup>2</sup>. Scott y Murano (2007) investigaron la generación de electricidad en una pila de combustible microbiano con un volumen de agua de 7 L donde obtuvieron una máxima densidad de potencia de 4,21 mW/m<sup>2</sup>. Observando a diferentes autores se puede determinar que a un mayor volumen de agua no se obtiene mucha producción de electricidad que al caso contraria trabajando a volúmenes bajos se tiene mayor producción de electricidad. De acuerdo a Corbella et al. (2015) trabajo a un nivel del agua dentro de los humedales, el cual fijó en 30 cm, se observó variaciones significativas del nivel del agua del valor de diseño durante todo su periodo de estudio. El nivel del agua dentro de los humedales disminuyó desde el nivel de diseño en 3,1 ± 0,9 cm a 6,1 ± 1,8 cm. Cuando se trabaja a un volumen bajo de agua dentro de una pila de combustible microbiana esto favorece al cátodo del MFC ya que queda expuesto a la atmósfera durante las horas centrales del día. Cuando el cátodo está expuesto al aire, la disponibilidad de oxígeno aumentaba y favorecía la generación de corriente debido a un aumento del voltaje de la celda.

### **5.3. Evaluación del tiempo del proceso para la producción de electricidad, mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.**

Para evaluar el tiempo del proceso en la producción de electricidad se trabajó en función de 30 días a 15 días en un total de 720 horas, donde se tuvo un tiempo de 20 días de la adaptación de la totora, pasado esos 20 días se pasó a medir la producción de electricidad, donde se observó un ascenso en las horas del día y descenso en las horas de

la noche del voltaje. Como se ha señalado en la sección anterior, se observaron oscilaciones diarias durante todo el período de estudio, ya sea en términos del voltaje de celda o la densidad de potencia. Por ello la mayor producción de electricidad se dio a las 360 horas con un voltaje máximo de 105.6 mV y una densidad potencial de 273.23 mW/m<sup>2</sup>, pasado las 360 horas se observó una disminución del voltaje a 8.1 mV, esto se debe a que no hubo alimentación durante todo el estudio porque se trabajó con un pH de 7.18, un DBO<sub>5</sub> de 279 ppm, DQO de 616 ppm y SST de 55 ppm. Venkata Mohan, Mohanakrishna y Sarma (2010) registraron una tensión máxima en circuito abierto de 256 mV y densidades de corriente de 160 mW/m<sup>2</sup> durante esta fase de operación a las 120 h con una tasa orgánica de 0.98 kg DQO/m<sup>3</sup>-día. Corbella et al. (2015) registro voltajes, mostrando picos durante las horas de luz solar y acercándose a cero durante las horas nocturnas. Aunque tuvo una notable variabilidad en las selecciones, el voltaje de la celda comenzó a subir aproximadamente entre las 11:00 y las 15: 00 h y disminuyó entre las 18:00 y las 23: 00h. teniendo así una densidad potencial máxima de 36 mW/m<sup>2</sup>. Yang et al ( 2018) trabajo con un humedal forestal el cual se mantuvo funcionando aproximadamente durante medio año. Después de un período de adaptación de 30 días, el voltaje subió rápidamente a 600 mV en el día 34, y luego varió de 300 mV a 800 mV, además de algunos valores bastante bajos, como 13 mV el día 60. Observando así una variación muy fluctuante de la producción de electricidad con respecto al tiempo, también se debe a la carga de alimentación de materia orgánica al humedal durante los días.

#### **5.4. Producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal.**

La producción de energía eléctrica producida mediante una pila de combustible microbiana en un humedal, fue influenciada por las variables las cuales fueron: distancia de separación entre los electrodos de 10 cm a 20 cm; volumen del agua de 100 mL a 200 mL y un tiempo de 15 días a 30 días. Antes de tomas las medidas del

voltaje producido se esperaron 20 días de aclimatación de la totora en el humedal diseñado, pasados esos días recién se empezó a realizar la toma del voltaje con una resistencia constante de 10 k $\Omega$  y un área de los electrodos de grafito circulares de 40.8 cm<sup>2</sup> donde se tuvo una densidad de potencial máxima fue de 273.23 mW/m<sup>2</sup> y la densidad de corriente de 2.59 mA/m<sup>2</sup>. Diversos autores trabajaron la generación de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal, entre ellos son: Venkata Mohan, Mohanakrishna, y Sarma, (2010) quien obtuvo una mayor potencia de salida de 57.38 mW/m<sup>2</sup> con una menor carga de sustrato. Wetser, Dieleman, Buisman, y Strik, (2017) generaron una energía máxima promedio diario de 22 mW/m<sup>2</sup> el cual trabajo con un suelo de turba para la PMFC. De acuerdo a Türker y Yakar, (2017) quienes trabajaron en una celda de combustible microbiana de humedal construida híbrida para la producción de electricidad, tuvieron una potencia máxima y la densidad de corriente como 78 mW/m<sup>2</sup> y 105 mA/m<sup>2</sup>. Asefi et al. (2019) utilizando pilas de combustible microbiana (MFC) en diferentes condiciones, observó que el voltaje de circuito cerrado más alto y la densidad de potencia máxima obtenida fueron 775  $\pm$  21 mV y 422 mWm<sup>-2</sup>, respectivamente. Corbella, Guivernau, Viñas, y Puigagut (2015) obtuvieron una máxima corriente (219 mA/m<sup>2</sup>) y de potencia (36 mW/m<sup>2</sup>). La generación de electricidad se debe a alguna acción específica de microorganismos electroquímicamente activos durante la oxidación del sustrato orgánico. Durante la oxidación del sustrato, estos microorganismos electroquímicamente activos donan los electrones fuera de su pared celular. Estas bacterias especializadas se conocen como bacterias electroactivas (EAB) las más conocidas son las *Shewanella* y *Geobacter* (Srivastava et al. 2019). Según Venkata Mohan, Mohanakrishna y Sarma (2010) los organismos heterótrofos obtienen la energía necesaria para su supervivencia a partir de la oxidación de compuestos orgánicos (de la energía libre de Gibbs), los microorganismos presentes en la cámara anódica sirven como biocatalizadores y convierten la energía almacenada en los enlaces químicos del sustrato bioconvertible en energía eléctrica. En el

metabolismo anaeróbico (anaerobiosis), los electrones se derivan de la oxidación del sustrato en ausencia de oxígeno después de la glucólisis inicial continuada por interconversión (deshidrogenación), descarboxilación y metanogénesis. Los electrones derivados de la oxidación del sustrato se donan a aceptores/portadores de electrones orgánicos (fermentación). El biopotencial desarrollado entre la actividad metabólica (conduce a la generación de electrones ( $e^-$ ) y protones ( $H^+$ )) y las condicionesceptoras de electrones conduce a la generación de bioelectricidad. Los protones ( $H^+$ ) y los electrones ( $e^-$ ) se generan durante las actividades metabólicas y se consumen continuamente en la célula. De acuerdo a An et al. (2020) la generación de voltaje parece estar influenciada de manera insignificante por la condición de la carga orgánica de DQO y DBO<sub>5</sub>. Las bajas eficiencias de eliminación de DQO y DBO<sub>5</sub> se pueden atribuir a la disminución de la tasa de degradación microbiana de los compuestos orgánicos causada por el fuerte aumento de las tasas de carga orgánica (OLR). Por lo tanto, OLR influye significativamente en la eficiencia de eliminación de DQO y DBO<sub>5</sub>.

## VI. CONCLUSIONES

Se produjo electricidad a un valor máximo de  $273.23 \text{ mW/m}^2$  en la densidad potencial, un voltaje de  $105.6 \text{ mV}$ , el cual se obtuvo a una distancia de separación entre los electrodos de  $10 \text{ cm}$ ; volumen del agua de  $100 \text{ mL}$  y un tiempo de  $15 \text{ días}$ . Se trabajó con una resistencia constante de  $10 \text{ k}\Omega$  y un área de los electrodos de grafito circulares de  $40.8 \text{ cm}^2$ . Esto se debe a alguna acción específica de microorganismos electroquímicamente activos durante la oxidación del sustrato orgánico y a la actividad metabólica (conduce a la generación de electrones ( $e^-$ ) y protones ( $H^+$ )) y las condicionesceptoras de electrones que conducen a la generación de bioelectricidad.

Se determinó el efecto de la distancia de separación entre los electrodos, los cuales fueron de  $10 \text{ cm}$  que nos dio un voltaje máximo de  $105.6 \text{ mV}$  – densidad potencial de  $273.23 \text{ mW/m}^2$  y un mínimo voltaje de  $10 \text{ mV}$  - densidad potencial de  $0.25 \text{ mW/m}^2$  a una distancia de separación de  $20 \text{ cm}$ . Afirmando así que a una menor distancia se da una mayor producción de electricidad, aprovechando así el oxígeno excretado por las raíces de las plantas, reduciendo el problema de la resistencia interna y aumentando la producción de electricidad.

Se determinó el efecto del volumen del agua, los cuales fueron de  $100 \text{ mL}$  y  $200 \text{ mL}$ . A un volumen de  $100 \text{ mL}$  se obtuvo un voltaje máximo de  $105.6 \text{ mV}$  y una densidad de potencia de  $273.23 \text{ mW/m}^2$ . Y aun mayor volumen se obtuvo una mínima producción de voltaje de  $10 \text{ mV}$  y una densidad de potencia de  $0.25 \text{ mW/m}^2$ . Afirmando que a menor volumen se obtiene mayor producción de electricidad, debido a la disponibilidad de oxígeno en el catodo aumentando de esta forma la generación de electricidad.

Se evaluó el tiempo del proceso en la producción de electricidad donde se trabajó en función de  $30 \text{ días}$  a  $15 \text{ días}$  en un total de  $720 \text{ horas}$ , siendo la mayor producción de electricidad se dio a las  $360 \text{ horas}$  con un voltaje máximo de  $105.6 \text{ mV}$  y una densidad potencial de  $273.23 \text{ W/m}^2$ , pasado las  $360 \text{ horas}$  se observó una disminución del voltaje a  $8.1 \text{ mV}$ , esto se debe a que no hubo alimentación durante todo el estudio porque se trabajó

con un pH de 7.18, un DBO<sub>5</sub> de 279 ppm, DQO de 616 ppm y SST de 55 ppm. Se observó una variación muy fluctuante de la producción de electricidad con respecto al tiempo, también se debe a la carga de alimentación de materia orgánica al humedal durante los días.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio comparativo de los diferentes tipos de materiales de los electrodos en la producción de electricidad.

Realizar un análisis del comportamiento que tiene la membrana de separación de las cámaras catiónicas con respecto a la generación de electricidad

Realizar un estudio con respecto a la alimentación de sustratos en la generación de electricidad en una pila de combustible microbiana y ver el comportamiento en función del tiempo del proceso.

Realizar análisis de la cámara anódica para encontrar que tipos de bacterias bioelectrogénicas se encuentran y como afectan en la generación de la electricidad.

Realizar una inoculación de bacterias electrogénicas en la cámara del ánodo para ver su comportamiento en la generación de electricidad.

Realizar un análisis de la generación de electricidad en humedales reales.

## REFERENCIAS

- ABER, JS, MARZOLFF, I., RIES, JB y ABER, S., Wetland environments. [en línea], pp. 273-290. 2019. DOI 10.1016/B978-0-12-812942-5.00015-X. Disponible en: <http://academic.emporia.edu/aberjame/wetland/syllabus.htm>.
- AN, Byung Min, SEO, Seok ju, HIDAYAT, Syarif y PARK, Joo Yang, Treatment of ethanolamine and electricity generation using a scaled-up single-chamber microbial fuel cell. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [en línea], vol. 81, pp. 1-6. 2020. ISSN 22345957. DOI 10.1016/j.jiec.2019.04.055. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.04.055>.
- ANASTASIOU, Evilena, LORENTZ, Kirsi O., STEIN, Gil J. y MITCHELL, Piers D., Prehistoric schistosomiasis parasite found in the Middle East. *The Lancet Infectious Diseases* [en línea], vol. 14, no. 7, pp. 553-554. 2014. ISSN 14744457. DOI 10.1016/S1473-3099(14)70794-7. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70794-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70794-7).
- ASEFI, Bahareh, LI, Shiue Lin, MORENO, Henry A., SANCHEZ-TORRES, Viviana, HU, Anyi, LI, Jiangwei y YU, Chang Ping, Characterization of electricity production and microbial community of food waste-fed microbial fuel cells. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], pp. 83-91. 2019. ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2019.03.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.016>.
- BAPTISTA, Vander, Starting physiology: Bioelectrogenesis. *Advances in Physiology Education*, vol. 39, no. 1, pp. 397-404. 2015. ISSN 15221229. DOI 10.1152/advan.00051.2015.
- BARUA, Eti, HOSSAIN, Md Saddam, SHAHA, Modhusudon, ISLAM, Ekramul, ZOHORA, Fatema Tuj, PROTITY, Anica Tasnim, MUKHARJEE, Sanjoy Kumar, SARKER, Palash Kumar, SALIMULLAH, Md y HASHEM, Abu, Generation of Electricity Using Microbial Fuel Cell (MFC) from Sludge. *Bangladesh Journal of Microbiology*, vol. 35, no. 1, pp. 23-26. 2019. ISSN 1011-9981. DOI 10.3329/bjm.v35i1.39800.
- BOND, Daniel R. y LOVLEY, Derek R., Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes. *Applied and Environmental*

*Microbiology*, 2003. ISSN 00992240. DOI 10.1128/AEM.69.3.1548-1555.2003.

CAO, Yunqing, HU, Yongyou, SUN, Jian y HOU, Bin, Bioelectrochemistry Explore various co-substrates for simultaneous electricity generation and Congo red degradation in air-cathode single-chamber microbial fuel cell. *Bioelectrochemistry* [en línea], vol. 79, no. 1, pp. 71-76. 2010. ISSN 1567-5394. DOI 10.1016/j.bioelechem.2009.12.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bioelechem.2009.12.001>.

CASTRESANA, Pablo Ampudia, MARTINEZ, Sara Monasterio, FREEMAN, Emma, ESLAVA, Salvador y DI LORENZO, Mirella, Electricity generation from moss with light-driven microbial fuel cells. *Electrochimica Acta* [en línea], vol. 298, pp. 934-942. 2019. ISSN 00134686. DOI 10.1016/j.electacta.2018.12.108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.12.108>.

CHATURVEDI, Venkatesh y VERMA, Pradeep, Microbial fuel cell: a green approach for the utilization of waste for the generation of bioelectricity. *Bioresources and Bioprocessing*, vol. 3, no. 1. 2016. ISSN 21974365. DOI 10.1186/s40643-016-0116-6.

CHOUDHURY, Payel, PRASAD UDAY, Uma Shankar, BANDYOPADHYAY, Tarun Kanti, RAY, Rup Narayan y BHUNIA, Biswanath, Performance improvement of microbial fuel cell (MFC) using suitable electrode and Bioengineered organisms: A review. *Bioengineered* [en línea], vol. 8, no. 5, pp. 471-487. 2017. ISSN 21655987. DOI 10.1080/21655979.2016.1267883. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/21655979.2016.1267883>.

CHU, Feng Jen, SIE, Chia Ying, WAN, Terng Jou, LIU, Shang Hao, PAI, Tzu Yi y KAO, Po Min, Effects of magnetic fields on electricity generation in a photosynthetic ceramic microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea], vol. 46, no. 20, pp. 11411-11418. 2021. ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2020.08.167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.167>.

CORBELLA, Clara, GUIVERNAU, Miriam, VIÑAS, Marc y PUIGAGUT, Jaume,

Operational, design and microbial aspects related to power production with microbial fuel cells implemented in constructed wetlands. *Water Research* [en línea], vol. 84, pp. 232-242. 2015. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2015.06.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.005>.

DOHERTY, Liam, ZHAO, Yaqian, ZHAO, Xiaohong, HU, Yuansheng, HAO, Xiaodi, XU, Lei y LIU, Ranbin, A review of a recently emerged technology: Constructed wetland - Microbial fuel cells. *Water Research* [en línea], vol. 85, pp. 38-45. 2015a. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2015.08.016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.016>.

DOHERTY, Liam, ZHAO, Yaqian, ZHAO, Xiaohong, HU, Yuansheng, HAO, Xiaodi, XU, Lei y LIU, Ranbin, 2015b. *A review of a recently emerged technology: Constructed wetland - Microbial fuel cells*. 2015. S.l.: s.n.

FAKHIRRUDDIN, Fakhriah, AMID, Azura, WAN SALIM, Wan Wardatul Amani y AZMI, Azlin Suhaida, Electricity Generation in Microbial Fuel Cell (MFC) by Bacterium Isolated from Rice Paddy Field Soil. *E3S Web of Conferences*, vol. 34, pp. 1-9. 2018. ISSN 22671242. DOI 10.1051/e3sconf/20183402036.

FITCH, M.W., 2014. *Constructed Wetlands. Comprehensive Water Quality and Purification*. S.l.: s.n., ISBN 9780123821836.

FLORES, Rojas, CUSTODIO, Aburto, SORIANO, Espilco, GALLARDO, Minchola, YUPANQUI, Rodríguez, UGAZ, Fernando y VILLANUEVA, Mendoza, ELECTRICIDAD A PARTIR DE PLANTAS VIVAS ELECTRICITY FROM LIVE PLANTS Rojas Flores, S.; Aburto Custodio, A.; Espilco Soriano, N.; Minchola Gallardo, J.; Rodríguez Yupanqui, M. 1; Fernando Ugaz, O. 1; Mendoza Villanueva, K. 2., vol. 6, no. 1, pp. 36-40. 2018.

GASTEIGER, H.A., GU, W., MAKHARIA, R., MATHIAS, M.F. y SOMPALLI, B., 2010. Beginning-of-life MEA performance - efficiency loss contributions. *Handbook of Fuel Cells*. S.l.: s.n.,

HAMEND, Chen, experiental research. *experiental research*, vol. 66, pp. 37-39. 2012.

KRITHIKA, Thiruppathi, KAVITHA, Rangasamy, DINESH, Muthu y

- ANGAYARKANNI, Jayaraman, Assessment of ligninolytic bacterial consortium for the degradation of azo dye with electricity generation in a dual-chambered microbial fuel cell. *Environmental Challenges* [en línea], vol. 4, no. March, pp. 100093. 2021. ISSN 26670100. DOI 10.1016/j.envc.2021.100093. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100093>.
- KUMAR, Manoj, KUMAR SINGH, Neeraj y SINGH, Rajesh, *Application of constructed wetlands in degradation and detoxification of industrial effluents: challenges and prospects* [en línea]. S.I.: Elsevier B.V., 2021. ISBN 9780128203187. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-820318-7/00003-4>.
- LOGAN, Bruce E., HAMELERS, Bert, ROZENDAL, René, SCHRÖDER, Uwe, KELLER, Jürg, FREGUIA, Stefano, AELTERMAN, Peter, VERSTRAETE, Willy y RABAEY, Korneel, 2006. *Microbial fuel cells: Methodology and technology*. 2006. S.I.: s.n.
- LONG, Xizi, CAO, Xian, SONG, Hailiang, NISHIMURA, Osamu y LI, Xianning, Characterization of electricity generation and microbial community structure over long-term operation of a microbial fuel cell. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 285, no. March, pp. 121395. 2019. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2019.121395. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121395>.
- LOVLEY, Derek R., Microbial fuel cells: novel microbial physiologies and engineering approaches. *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 17, no. 3, pp. 327-332. 2006. ISSN 09581669. DOI 10.1016/j.copbio.2006.04.006.
- LOVLEY, Derek R., HOLMES, Dawn E. y NEVIN, Kelly P., *Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) reduction*. S.I.: s.n., 2004. ISBN 4135451578.
- MARTINEZ, Sara Monasterio y DI LORENZO, Mirella, Electricity generation from untreated fresh digestate with a cost-effective array of floating microbial fuel cells. *Chemical Engineering Science* [en línea], vol. 198, pp. 108-116. 2019a. ISSN 00092509. DOI 10.1016/j.ces.2018.12.039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.12.039>.

- MARTINEZ, Sara Monasterio y DI LORENZO, Mirella, Electricity generation from untreated fresh digestate with a cost-effective array of floating microbial fuel cells. *Chemical Engineering Science* [en línea], pp. 108-116. 2019b. ISSN 00092509. DOI 10.1016/j.ces.2018.12.039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.12.039>.
- OBILEKE, Ke Christ, ONYEAKA, Helen, MEYER, Edson L. y NWOKOLO, Nwabunwanne, Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications* [en línea], vol. 125, pp. 107003. 2021. ISSN 13882481. DOI 10.1016/j.elecom.2021.107003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2021.107003>.
- OON, Yoong Ling, ONG, Soon An, HO, Li Ngee, WONG, Yee Shian, OON, Yoong Sin, LEHL, Harvinder Kaur y THUNG, Wei Eng, Hybrid system up-flow constructed wetland integrated with microbial fuel cell for simultaneous wastewater treatment and electricity generation. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 186, pp. 270-275. 2015. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2015.03.014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.014>.
- PÁEZ, Adriana, LACHE-MUÑOZ, Andrea, MEDINA, Sergio y ZAPATA, Julieta, Electric power production in a microbial fuel cell using *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, synthetic wastewater as substrate, carbon cloth and graphite as electrodes, and methylene blue as mediator. Laboratory scale. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 10, no. 6, pp. 261-282. 2019. ISSN 20072422. DOI 10.24850/j-tyca-2019-06-11.
- PANT, Deepak, VAN BOGAERT, Gilbert, DIELS, Ludo y VANBROEKHOVEN, Karolien, 2010. *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*. 2010. S.l.: s.n.
- PASSOS, Vinicius Fabiano, AQUINO NETO, Sidney, DE ANDRADE, Adalgisa Rodrigues y REGINATTO, Valeria, Energy generation in a Microbial Fuel Cell using anaerobic sludge from a wastewater treatment plant. *Scientia Agricola*, vol. 73, no. 5, pp. 424-428. 2016. ISSN 1678992X. DOI 10.1590/0103-9016-2015-0194.

- RABAEY, Korneel, Bioelectrochemical Systems: From Extracellular Electron Transfer to Biotechnological Application. *Water Intelligence Online*, 2009. ISSN 1476-1777. DOI 10.2166/9781780401621.
- RABAEY, Korneel y VERSTRAETE, Willy, 2005. *Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation*. 2005. S.I.: s.n.
- RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT, Wetland inventory: A Ramsar framework for wetland inventory and ecological character description. *Ramsar handbooks for the wise use of wetlands*, 2010.
- SAMPIERI R., FERANDEZ C, Baptista P., *Metodología de la Investigación*. S.I.: s.n., 2010. ISBN 9786071502919.
- SANTAGATA, Remo, VIGLIA, Silvio, FIORENTINO, Gabriella, LIU, Gengyuan y RIPA, Maddalena, Power generation from slaughterhouse waste materials. An emergy accounting assessment. *Journal of Cleaner Production*, vol. 223, pp. 536-552. 2019. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.03.148.
- SCOTT, Keith y MURANO, Cassandro, Microbial fuel cells utilising carbohydrates. , vol. 100, no. April 2006, pp. 92-100. 2007. DOI 10.1002/jctb.
- SHUKLA, A.K., SURESH, P., BERCHMANS, S. y RAJENDRAN, A., 2004. *Biological fuel cells and their applications*. 2004. S.I.: s.n.
- SRIVASTAVA, Pratiksha, YADAV, Asheesh Kumar, GARANIYA, Vikram y ABBASSI, Rouzbeh, *Constructed Wetland Coupled Microbial Fuel Cell Technology* [en línea]. S.I.: Elsevier B.V., 2019. ISBN 9780444640529. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00042-X>.
- STRYCHARZ, Sarah M., WOODARD, Trevor L., JOHNSON, Jessica P., NEVIN, Kelly P., SANFORD, Robert A., LÖFFLER, Frank E. y LOVLEY, Derek R., Graphite electrode as a sole electron donor for reductive dechlorination of tetrachlorethene by *Geobacter lovleyi*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008. ISSN 00992240. DOI 10.1128/AEM.00961-08.
- TALEBIAN-KIAKALAIEH, Amin, AMIN, Nor Aishah Saidina y MAZAHERI, Hossein, 2013. *A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil*. 2013. S.I.: s.n.

- THARALI, Akshay D., SAIN, Namrata y OSBORNE, W. Jabez, Microbial fuel cells in bioelectricity production. *Frontiers in Life Science* [en línea], vol. 9, no. 4, pp. 252-266. 2016. ISSN 21553777. DOI 10.1080/21553769.2016.1230787. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/21553769.2016.1230787>.
- THYGESEN, Anders, WILLY, Finn, ANGELIDAKI, Irini, MIN, Booki y BJERRE, Anne-belinda, Electricity generation by microbial fuel cells fuelled with wheat straw hydrolysate. *Biomass and Bioenergy* [en línea], vol. 35, no. 11, pp. 4732-4739. 2011. ISSN 0961-9534. DOI 10.1016/j.biombioe.2011.09.026. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.09.026>.
- TÜRKER, Onur Can y YAKAR, Anil, A hybrid constructed wetland combined with microbial fuel cell for boron (B) removal and bioelectric production. *Ecological Engineering* [en línea], vol. 102, pp. 411-421. 2017. ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2017.02.034. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.034>.
- VENKATA MOHAN, S., MOHANAKRISHNA, G. y SARMA, P.N., Composite vegetable waste as renewable resource for bioelectricity generation through non-catalyzed open-air cathode microbial fuel cell. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 3, pp. 970-976. 2010. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2009.09.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.005>.
- VINEETHA, V. y SHIBU, K., Electricity production coupled with wastewater treatment using microbial fuel cell. *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, ICEETS 2013*, pp. 821-826. 2013. DOI 10.1109/ICEETS.2013.6533491.
- WAN ALWI, Sharifah Rafidah, KLEMEŠ, Jiří Jaromír y VARBANOV, Petar Sabev, 2016. *Cleaner energy planning, management and technologies: Perspectives of supply-demand side and end-of-pipe management*. 2016. S.l.: s.n.
- WANG, Wenjing, ZHANG, Yu, LI, Mengxiang, WEI, Xiaogang, WANG, Yali, LIU, Ling, WANG, Hongjie y SHEN, Shigang, Operation mechanism of constructed wetland-microbial fuel cells for wastewater treatment and

- electricity generation: A review. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 314, no. July, pp. 123808. 2020. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123808. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123808>.
- WEI, Jincheng, LIANG, Peng y HUANG, Xia, 2011. *Recent progress in electrodes for microbial fuel cells*. 2011. S.l.: s.n.
- WETSER, Koen, DIELEMAN, Kim, BUISMAN, Cees y STRIK, David, Electricity from wetlands: Tubular plant microbial fuels with silicone gas-diffusion biocathodes. *Applied Energy* [en línea], vol. 185, pp. 642-649. 2017. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.10.122. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.122>.
- WILKINSON, Stuart, 'Gastrobots' - benefits and challenges of microbial fuel cells in food powered robot applications. *Autonomous Robots*, 2000. ISSN 09295593. DOI 10.1023/A:1008984516499.
- YANG, Yunlong, CHEN, Huan, MAJIDZADEH, Hamed y CHOW, Alex T., Electricity generation from different wetlands: Mechanisms based on dissolved organic matters in membrane-less microbial fuel cells. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 351, pp. 1006-1012. 2018. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2018.06.179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.179>.
- YOSHIMURA, Yuta, NAKASHIMA, Kazunori, KATO, Masaji, INOUE, Kengo, OKAZAKI, Fumiyoshi, SOYAMA, Hitoshi y KAWASAKI, Satoru, Electricity Generation from Rice Bran by a Microbial Fuel Cell and the Influence of Hydrodynamic Cavitation Pretreatment. *ACS Omega*, vol. 3, no. 11, pp. 15267-15271. 2018. ISSN 24701343. DOI 10.1021/acsomega.8b02077.

**Anexo N° 2. Matriz de operacionalización de variables**

| VARIABLES DE ESTUDIO                                | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | DIMENCIÓN                  | INDICADORES                          | UNIDAD DE MEDIDA |
|---|---|---|----------------------------|--------------------------------------|------------------|
| <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>                       |   |   |                            |                                      |                  |
| <b>Pila de combustible microbiana en un humedal</b> | Según Corbella et al., (2015) las pilas de combustible microbianas (MFC) son sistemas bioelectroquímicos que generan corriente por medio de microorganismos electroquímicamente activos como catalizadores. | La pila de combustible microbiana en un humedal fue medida teniendo en cuenta la distancia entre los electrodos, el volumen de agua y el tiempo del proceso | Distancia entre electrodos | Distancia 1 = 10<br>Distancia 2 = 20 | <b>cm</b>        |
|   |   |   | Volumen del agua           | Volumen 1 = 100<br>Volumen 2 = 200   | <b>mL</b>        |
|   |   |   | Tiempo del proceso         | Tiempo = 15<br>Tiempo = 30           | <b>Días</b>      |
| <b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>                         |   |   |                            |                                      |                  |
| <b>Producción de electricidad</b>                   | Según Oon et al., (2015) la producción de electricidad a partir de una pila de combustible microbiana en un humedal se da por la interacción de los microorganismos presentes en dicho humedal.             | La producción de electricidad fueron medidas teniendo en cuenta el voltaje producido.   | Voltios                    | Mili voltios                         | mV               |

### Anexo N° 3. Instrumentos



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## 1. FICHA DE FORMATO DE CAMPO

|                        |  |
|------------------------|--|
| TÍTULO                 | Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. |
| LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales  |
| FACULTAD               | Ingeniería Ambiental y Arquitectura  |
| REALIZADO POR          | Danny Robert Damian Macha (ORCID: 0000-0002-5609-2798)   |

## UBICACION

|                         |  |
|-------------------------|--|
| DIRECCIÓN               |  |
| DISTRITO                |  |
| PROVINCIA               |  |
| DEPARTAMENTO            |  |
| COORDENADAS GEOGRAFICAS |  |

Observaciones

  
 Jibrán Julio Chirinos Galvez  
 DNI: 08447308

  
 Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
 Vega  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 253735

  
  
 Ing. Estefani Mishel Jiménez  
 Otivo  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 216451



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## 2. FICHA DE DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

|                        |  |
|------------------------|--|
| TÍTULO                 | Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. |
| LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales  |
| FACULTAD               | Ingeniería Ambiental y Arquitectura  |
| REALIZADO POR          | Danny Robert Damian Macha (ORCID: 0000-0002-5609-2798)   |

## DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

| CÓDIGO | Fecha | Hora | Lugar (UTM) | Temperatura (°C) | pH | Volumen |
|--------|-------|------|-------------|------------------|----|---------|
|        |       |      |             |                  |    |         |

|               |  |
|---------------|--|
| Observaciones |  |
|---------------|--|

  
Juan Julio Orozco Galvez  
DNI: 08447308

  
Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
Vega  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 253735

  
  
Ing. Estefani Mishel Jiménez  
Otivo  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 216451



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## 3. FICHA DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA

|                        |   |
|------------------------|---|
| TÍTULO                 | Evaluación de la eficiencia en la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. |
| LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales   |
| FACULTAD               | Ingeniería Ambiental y Arquitectura   |
| REALIZADO POR          | Danny Robert Damian Macha (ORCID: 0000-0002-5609-2798)  |

## DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

| CÓDIGO | Fecha | Hora | Lugar (UTM) | Temperatura (°C) | pH | Volumen |
|--------|-------|------|-------------|------------------|----|---------|
|        |       |      |             |                  |    |         |

|               |  |
|---------------|--|
| Observaciones |  |
|---------------|--|

Atentamente,  
  
Jhón Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308

  
Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
Vega  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 253735

  
  
ESTEFANI M. JIMÉNEZ OTIVO  
ING. AMBIENTAL FORNS 74  
CIP. N.º 216451  
Ing. Estefani Mishel Jiménez  
Otivo  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 216451



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## 4. FICHA DE CONTROL DEL PROCESO DEL HUMEDAL

|                        |  |
|------------------------|--|
| TÍTULO                 | Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. |
| LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales  |
| FACULTAD               | Ingeniería Ambiental y Arquitectura  |
| REALIZADO POR          | Danny Robert Damian Macha (ORCID: 0000-0002-5609-2798)   |

|        | HUMEDAL                      |                      |                           |
|--------|------------------------------|----------------------|---------------------------|
| Código | distancia de electrones (cm) | Volumen de agua (mL) | Tiempo del proceso (días) |
|        |                              |                      |                           |

|               |  |
|---------------|--|
| Observaciones |  |
|---------------|--|

Atentamente,  
  
Jhón Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308

  
Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
Vega  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 253735

  
  
Ing. Estefani Mishel Jiménez  
Otivo  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 216451



| 5. FICHA DE RESULTADOS |  |
|------------------------|--|
| TÍTULO                 | Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal. |
| LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales  |
| FACULTAD               | Ingeniería Ambiental y Arquitectura  |
| REALIZADO POR          | Danny Robert Damian Macha (ORCID: 0000-0002-5609-2798)   |

| RESULTADOS |               |                                  |              |                      |                               |
|------------|---------------|----------------------------------|--------------|----------------------|-------------------------------|
| Código     | N             | distancia de los electrodos (cm) | Volumen (mL) | Tiempo de aplicación | Generación de bioelectricidad |
|            | Tratamiento 1 |                                  |              |                      |                               |
|            | 1             | 10                               | 100          | 15                   |                               |
|            | 2             | 20                               | 100          | 15                   |                               |
|            | 3             | 10                               | 200          | 15                   |                               |
|            | 4             | 20                               | 200          | 15                   |                               |
|            | 5             | 10                               | 100          | 30                   |                               |
|            | 6             | 20                               | 100          | 30                   |                               |
|            | 7             | 10                               | 200          | 30                   |                               |
|            | 8             | 20                               | 200          | 30                   |                               |
|            | Tratamiento 2 |                                  |              |                      |                               |
|            | 9             | 10                               | 100          | 15                   |                               |
|            | 10            | 20                               | 100          | 15                   |                               |
|            | 11            | 10                               | 200          | 15                   |                               |
|            | 12            | 20                               | 200          | 15                   |                               |
|            | 13            | 10                               | 100          | 30                   |                               |
|            | 14            | 20                               | 100          | 30                   |                               |
|            | 15            | 10                               | 200          | 30                   |                               |
|            | 16            | 20                               | 200          | 30                   |                               |
|            | Tratamiento 3 |                                  |              |                      |                               |
|            | 17            | 10                               | 100          | 15                   |                               |
|            | 18            | 20                               | 100          | 15                   |                               |
|            | 19            | 10                               | 200          | 15                   |                               |
|            | 20            | 20                               | 200          | 15                   |                               |

|    |    |     |    |  |
|----|----|-----|----|--|
| 21 | 10 | 100 | 30 |  |
| 22 | 20 | 100 | 30 |  |
| 23 | 10 | 200 | 30 |  |
| 24 | 20 | 200 | 30 |  |

|               |  |
|---------------|--|
| Observaciones |  |
|---------------|--|

Atentamente,  
  
 Jairo Julio Orozco Galvez  
 DNI: 08447308

  
 Ing. Ingrid Mayumi Acevedo  
 Vega  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 253735

  
  
 Ing. Estefani Mishel Jiménez  
 Otivo  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 216451

## Anexo N° 4. Validación de instrumentos



**SOLICITUD:** Validación de instrumentos de recojo de información

**Dr. ORDOÑES GALVEZ, JUAN JULIO**

Yo Danny Robert Damian Macha identificada con DNI N° 70986977; alumno de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: "Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumento, fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Huancayo, 02 marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Danny Robert', written over a horizontal line.

Damian Macha, Danny Robert

## VALIDACION DE INSTRUMENTOS

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Galvez, Juan Julio**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de Formato de Campo**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

### 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.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|      |
|------|
| SI   |
| ---- |

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

## VALIDACION DE INSTRUMENTOS

### I. DATOS GENERALES

- 1.6. Apellidos y Nombres: **Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**  
 1.7. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**  
 1.8. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**  
 1.9. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de Datos de toma de Muestra**  
 1.10. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

### 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Jtlin Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

## VALIDACION DE INSTRUMENTOS

### I. DATOS GENERALES

- 1.11. Apellidos y Nombres: **Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**  
 1.12. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**  
 1.13. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**  
 1.14. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **ficha de características Físicoquímicas del Agua**  
 1.15. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

### 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

**VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
**V. DATOS GENERALES**
**1.16. Apellidos y Nombres: Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**
**1.17. Cargo e institución donde labora: Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**
**1.18. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.19. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha del Control de Proceso del Humedal**
**1.20. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**VI. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

**VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021



Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

### VALIDACION DE INSTRUMENTOS

#### IX. DATOS GENERALES

1.21. Apellidos y Nombres: **Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**

1.22. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**

1.23. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**

1.24. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de Resultados**

1.25. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

#### X. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

#### XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

#### XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

**SOLICITUD:** Validación de instrumentos de recojo de información

**Dr. ACEVEDO VEGA, INGRITH MAYUMI**

Yo Danny Robert Damian Macha identificada con DNI N° 70986977; alumno de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: "Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumento, fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Huancayo, 02 marzo del 2021



Damian Macha, Danny Robert

## VALIDACION DE INSTRUMENTOS

### V. DATOS GENERALES

- 1.26. Apellidos y Nombres: **Ing. INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA**  
 1.27. Cargo e institución donde labora: **Coordinadora de Diseño en Telecomunicaciones**  
 1.28. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**  
 1.29. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de Formato de Campo**  
 1.30. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

### VI. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

### VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

### VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|     |
|-----|
| 89% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Ing. Ingrith Mayumi Acevedo Vega  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 253735

## VALIDACION DE INSTRUMENTOS

### IX. DATOS GENERALES

1.31. Apellidos y Nombres: **Ing. INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA**

1.32. Cargo e institución donde labora: **Coordinadora de Diseño en Telecomunicaciones**

1.33. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**

1.34. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de Datos de toma de Muestra**

1.35. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

### X. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |

### XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

### XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|      |
|------|
| 88.5 |
|------|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
 Vega  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 253735

### VALIDACION DE INSTRUMENTOS

**XIII. DATOS GENERALES**
**1.36. Apellidos y Nombres: Ing. INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA**
**1.37. Cargo e institución donde labora: Coordinadora de Diseño en Telecomunicaciones**
**1.38. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.39. Nombre del instrumento motivo de evaluación: ficha de características Fisicoquímicas del Agua**
**1.40. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**XIV. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |

**XV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**XVI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
**88.5**

Huancayo, 02 de marzo de 2021


  
 Ing. Ingrith Mayumi Acevedo Vega  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 253735

**VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
**XVII. DATOS GENERALES**
**1.41. Apellidos y Nombres: Ing. INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA**
**1.42. Cargo e institución donde labora: Coordinadora de Diseño en Telecomunicaciones**
**1.43. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.44. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha del Control de Proceso del Humedal**
**1.45. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**XVIII. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

**XIX. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**XX. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021



Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
 Vega  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 253735

**VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
**XXI. DATOS GENERALES**
**1.46. Apellidos y Nombres: Ing. INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA**
**1.47. Cargo e institución donde labora: Coordinadora de Diseño en Telecomunicaciones**
**1.48. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.49. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de Resultados**
**1.50. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**XXII. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |  |

**XXIII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**XXIV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021



Ing. Ingrith Mayumi Acevedo  
Vega  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 253735

**SOLICITUD:** Validación de instrumentos de recojo de información

**Ing. JIMENEZ OTIVO, ESTEFANI MISHEL**

Yo Danny Robert Damian Macha identificada con DNI N° 70986977; alumno de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: "Evaluación de la producción de electricidad mediante una pila de combustible microbiana en un humedal", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumento, fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Huancayo, 02 marzo del 2021



Damian Macha, Danny Robert

### VALIDACION DE INSTRUMENTOS

#### XIII. DATOS GENERALES

- 1.51. Apellidos y Nombres: Ing. **ESTEFANI MISHEL JIMENEZ OTIVO**  
 1.52. Cargo e institución donde labora: **Supervisor SSOMA en Consorcio Cobra FCC Industrial**  
 1.53. Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**  
 1.54. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de Formato de Campo**  
 1.55. Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

#### XIV. 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.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |

#### XV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

#### XVI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Ing. Estefani Mishel Jiménez  
 Otivo  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 216451

**VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
**XVII. DATOS GENERALES**
**1.56. Apellidos y Nombres: Ing. ESTEFANI MISHEL JIMENEZ OTIVO**
**1.57. Cargo e institución donde labora: Supervisor SSOMA en Consorcio Cobra FCC Industrial**
**1.58. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.59. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de Datos de toma de Muestra**
**1.60. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**XVIII. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |

**XIX. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**XX. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

|            |
|------------|
| <b>90%</b> |
|------------|

Huancayo, 02 de marzo de 2021



Ing. Estefani Mishel Jiménez  
Otivo  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 216451

### VALIDACION DE INSTRUMENTOS

#### XXV. DATOS GENERALES

1.61.Apellidos y Nombres: **Ing. ESTEFANI MISHEL JIMENEZ OTIVO**

1.62.Cargo e institución donde labora: **Supervisor SSOMA en Consorcio Cobra FCC Industrial**

1.63.Especialidad o línea de investigación: **Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**

1.64.Nombre del instrumento motivo de evaluación: **ficha de características Fisicoquímicas del Agua**

1.65.Autoras del Instrumento: **Damian Macha Danny Robert**

#### XXVI. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD    | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 3. ACTUALIDAD     | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN   | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA    | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6.INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA   | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA     | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA    | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |
| 10. PERTINENCIA   | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    | X         |    |    |     |

#### XXVII.OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

#### XXVIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

|      |
|------|
| 90 % |
|------|

Huancayo, 02 de marzo de 2021

  
 Ing. Estefani Mishel Jiménez  
 Otivo  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP: 216451

**VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
**XXIX. DATOS GENERALES**
**1.66. Apellidos y Nombres: Ing. ESTEFANI MISHEL JIMENEZ OTIVO**
**1.67. Cargo e institución donde labora: Supervisor SSOMA en Consorcio Cobra FCC Industrial**
**1.68. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.69. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha del Control de Proceso del Humedal**
**1.70. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**XXX. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |     |

**XXXI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**XXXII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021



Ing. Estefani Mishel Jiménez  
Otivo  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 216451

**VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
**XXXIII. DATOS GENERALES**
**1.71. Apellidos y Nombres: Ing. ESTEFANI MISHEL JIMENEZ OTIVO**
**1.72. Cargo e institución donde labora: Supervisor SSOMA en Consorcio Cobra FCC Industrial**
**1.73. Especialidad o línea de investigación: Calidad Y Gestión de los Recursos Naturales**
**1.74. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de Resultados**
**1.75. Autoras del Instrumento: Damian Macha Danny Robert**
**XXXIV. 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.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 3. ACTUALIDAD      | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 5. SUFICIENCIA     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 6. INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.  |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 7. CONSISTENCIA    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.   |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 8. COHERENCIA      | Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.                               |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 9. METODOLOGÍA     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.                        |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |
| 10. PERTINENCIA    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico. |             |    |    |    |    |    |                       |    |    |           | X  |    |     |

**XXXV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

|       |
|-------|
| SI    |
| ----- |

**XXXVI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

|     |
|-----|
| 90% |
|-----|

Huancayo, 02 de marzo de 2021



Ing. Estefani Mishel Jiménez  
Otivo  
Ingeniero Ambiental  
CIP: 216451

# Anexo N° 5. Reporte del laboratorio LABECO

## Caracterización inicial

# LABECO

ANALISIS AMBIENTALES S.C.R.L.

### INFORME DE ENSAYO N° 0205-21<sup>1</sup>

**Solicitante** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Dirección del Solicitante** : Jr. Manco Capac N° 391 - Picomayo  
**Atención** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Proyecto** : Análisis de Agua Natural (Superficial/Río)  
**Lugar de Muestreo** : Laguna de Paca  
**Tipo de Muestra** : Agua Natural (Superficial/Río)  
**Fecha de Monitoreo** : 12/04/21  
**Fecha de Recepción de Muestra** : 13/04/21  
**Fecha de Inicio de Análisis** : 14/04/21  
**Fecha de Término de Análisis** : 14/04/21  
**Fecha de Emisión** : 20/04/21

#### CALIDAD DE AGUA

| Código de Laboratorio   | 0286-1 | Límite Detección | Unidad |
|-------------------------|--------|------------------|--------|
| Código de Cliente       | DC-01  |                  |        |
| Parámetro Físicoquímico |        |                  |        |
| DQO                     | 616    | 1                | mg/L   |

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: La muestra llegó refrigerada.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

#### Método de Análisis:

DQO: APHA AWWA-WEF Part 5220 C, D 2nd Edition 2017, Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux Colorimetric Method.

Quím. Ellen Liliana Deza Montoya

CQP N° 1328  
Director Técnico

Lima, 20 de Abril de 2021.

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.

Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".

Nota 3: La(s) muestra(s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.

Nota 4: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".

Nota 5: Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.

Nota 6: Se adjunta el LB-F-13. Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.

Nota 9: El superíndice "1" perteneciente al título de Informe de Ensayo se está considerando para los parámetros que no estén dentro del Alcance de Acreditación.

Nota 11: Los resultados mencionados en este documento proceden de muestras proporcionadas por el cliente. El laboratorio no es responsable del origen o fuente de la cual ha sido tomadas".

—o—o—o—

1 de 1

Revisión: 17

LB-F-10

Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
Surquillo - Lima  
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
web: www.labecoperu.com  
e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com



ANALISIS AMBIENTALES S.C.R.L

CADENA DE VIGILANCIA N° 0205-21

Table with columns: CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA RECIBIDA, SÍ, NO. Rows include: Todas las muestras están dentro del periodo de análisis, La muestra es proporcionada por el cliente, La muestra fue monitoreada por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L, El envase es proporcionado por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L, El envase es proporcionado por el cliente, Las muestras para metales disueltos están filtradas y preservadas con HNO3 (pH<2), Las muestras para metales están preservadas con HNO3 (pH<2), Las muestras para análisis fisico-químico están refrigeradas y al pH de acuerdo al método, Las muestras para análisis microbiológicos están refrigeradas, Las muestras para nutrientes están preservadas con H2SO4 (pH<2), Las muestras para aceites y grasas están preservadas con H2SO4 (pH<2), Las muestras para DQO están preservadas con H2SO4 (pH<2), La muestra para DBO5 está completamente llena y refrigerada, La muestra para el análisis de cianuro está preservada con NaOH (pH>12), Se recibieron contramuestras, Se recibieron muestras dirimentes, Cód. Termómetro TEG3511T, "Lectura de la Temperatura de las muestras(°C)", "Muestras Quimica", "Muestras microbiologia", T= 5.8 °C, "Realizado por : " V.T., "Realizado por :", CANTIDAD DE MUESTRA Y CONTRAMUESTRA RECIBIDA: 1/1000P, OBSERVACIONES RESPECTO A CONDICIONES DE RECEPCIÓN NO DESCRITAS ANTERIORMENTE:, OBSERVACIONES

NA: No Aplica, P (plástico), V (vidrio).

Criterio de aceptación:

"Muestras químicas: ≤ 6 °C"

"Muestras microbiologia: ≤ 10 °C"

Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico Surquillo - Lima Teléfonos: 242-2696 / 444-8987 web: www.labecoperu.com e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

Rev.: 17

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 034**

**INFORME DE ENSAYO N° 0205-21**

**Solicitante** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Dirección del Solicitante** : Jr. Manco Capac N° 391 - Pilcomayo  
**Atención** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Proyecto** : Análisis de Agua Natural (Superficial/Río)  
**Lugar de Muestreo** : Laguna de Paca  
**Tipo de Muestra** : Agua Natural (Superficial/Río)  
**Fecha de Monitoreo** : 12/04/21  
**Fecha de Recepción de Muestra** : 13/04/21  
**Fecha de Inicio de Análisis** : 13/04/21  
**Fecha de Término de Análisis** : 19/04/21  
**Fecha de Emisión** : 20/04/21

**MEDICIONES IN SITU**

| Código de Cliente | Descripción  | COORDENADAS UTM |         |
|-------------------|--------------|-----------------|---------|
|                   |              | Norte           | Este    |
| DC01              | Agua Natural | 8702065         | 0444545 |

**CALIDAD DE AGUA**

| Código de Laboratorio   | 0286-1 | Límite Detección | Unidad   |
|---|--------|------------------|----------|
| Código de Cliente   | DC-01  |                  |          |
| <b>Parámetros de Campo (In Situ: Datos tomados en campo.)</b> |        |                  |          |
| Temperatura   | 8,0    | 0,1              | °C       |
| pH  | 7,18   | ---              | Unid. pH |
| <b>Parámetros Físicoquímicos</b>                              |        |                  |          |
| TSS   | 55     | 4                | mg/L     |
| DBO <sub>5</sub>  | 279    | 1                | mg/L     |

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
- El cliente renuncia al derecho de la dimensión.

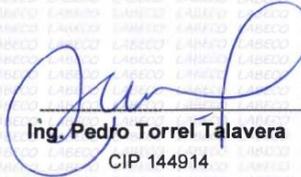
**Método de Análisis:**

Temperatura: APHA AWWA WEF 2550 B 23rd Edition 2017, Temperature. Laboratory and Field Methods.  
pH: APHA AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Edition 2017, pH Value. Electrometric Method.  
TSS: APHA AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Edition 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.  
DBO<sub>5</sub>: APHA AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Edition 2017 Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 034**



**Quim. Ellen Liliana Deza Montoya**  
CQP N° 1328  
Director Técnico



**Ing. Pedro Torrel Talavera**  
CIP 144914  
Supervisor de Emisión de Informes de  
Ensayo C/CA

**Lima, 20 de Abril de 2021.**

- Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.
- Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".
- Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.
- Nota "4": Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".
- Nota "5": Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.
- Nota "6": Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.
- Nota "7": "Para los parámetros in situ, en matriz agua, se realizan las mediciones por duplicado y se reporta el promedio de las mediciones"

Anexo 1: Condiciones de recepción.



EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.

**LB-F-29**  
Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
Surquillo - Lima  
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
web: [www.labecoperu.com](http://www.labecoperu.com)  
e-mail: [labeco@labecoperu.com](mailto:labeco@labecoperu.com), [labecoperu@gmail.com](mailto:labecoperu@gmail.com)

# Caracterización después del proceso de producción de electricidad



## INFORME DE ENSAYO N° 0286-21<sup>1</sup>

**Solicitante** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Dirección del Solicitante** : Jr. Manco Capac N° 391 - Pilcomayo  
**Atención** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Proyecto** : Análisis de Agua Natural (Superficial/Río)  
**Lugar de Muestreo** : Laguna de Paca  
**Tipo de Muestra** : Agua Natural (Superficial/Río)  
**Fecha de Monitoreo** : 11/05/21  
**Fecha de Recepción de Muestra** : 12/05/21  
**Fecha de Inicio de Análisis** : 12/05/21  
**Fecha de Término de Análisis** : 12/05/21  
**Fecha de Emisión** : 18/05/21

### CALIDAD DE AGUA

| Código de Laboratorio   | 0286-1 | Limite Detección | Unidad |
|-------------------------|--------|------------------|--------|
| Código de Cliente       | DC-01  |                  |        |
| Parámetro Físicoquímico |        |                  |        |
| DQO                     | 347    | 1                | mg/L   |

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: La muestra llegó refrigerada.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

#### Método de Análisis:

DQO: APHA AWWA-WEF Part 5220 C, D 23rd Edition 2017, Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux Colorimetric Method.

Quim. Ellen Liliana Deza Montoya

CQP N° 1328  
Director Técnico

Lima, 18 de Mayo de 2021.

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.

Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".

Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.

Nota 4: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".

Nota 5: Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.

Nota 6: Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.

Nota 9: El superíndice "1" perteneciente al título de Informe de Ensayo se está considerando para los parámetros que no estén dentro del Alcance de Acreditación.

Nota 11: Los resultados mencionados en este documento proceden de muestras proporcionadas por el cliente. El laboratorio no es responsable del origen o fuente de la cual ha sido tomadas.

000000

1 de 1  
Revisión: 23

#### LB-F-11

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
 Surquillo - Lima  
 Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
 web: www.labecoperu.com  
 e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

# LABECO

ANÁLISIS AMBIENTALES S.C.R.L.

## CADENA DE VIGILANCIA N° 0286-21

| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA RECIBIDA   |  | SÍ  | NO                       |
|--|--|---|--------------------------|
| Todas las muestras están dentro del período de análisis  |  | X   |                          |
| La muestra es proporcionada por el cliente   |  |   | X                        |
| La muestra fue monitoreada por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L                             |  | X   |                          |
| El envase es proporcionado por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L                             |  | X   |                          |
| El envase es proporcionado por el cliente  |  |   | X                        |
| Las muestras para metales disueltos están filtradas y preservadas con HNO <sub>3</sub> (pH<2)  |  |   | NA                       |
| Las muestras para metales están preservadas con HNO <sub>3</sub> (pH<2)                        |  |   | NA                       |
| Las muestras para análisis físico-químico están refrigeradas y al pH de acuerdo al método      |  | X   |                          |
| Las muestras para análisis microbiológicos están refrigeradas                                  |  |   | NA                       |
| Las muestras para nutrientes están preservadas con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2)       |  | X   |                          |
| Las muestras para aceites y grasas están preservadas con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2) |  |   | NA                       |
| Las muestras para DQO están preservadas con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2)              |  | X   |                          |
| La muestra para DBO <sub>5</sub> está completamente llena y refrigerada                        |  | X   |                          |
| La muestra para el análisis de cianuro está preservada con NaOH (pH>12)                        |  |   | NA                       |
| Se recibieron contramuestras   |  |   | NA                       |
| Se recibieron muestras dirimentes  |  |   | X                        |
| Cód. Termómetro TEG3511T   |  | "Lectura de la Temperatura de las muestras(°C)" |                          |
|  |  | "Muestras Química"                              | "Muestras microbiología" |
|  |  | T= 5.8 °C                                       |                          |
|  |  | "Realizado por :"                               | V.T.                     |
|  |  | "Realizado por :"                               |                          |
| <b>CANTIDAD DE MUESTRA Y CONTRAMUESTRA RECIBIDA:</b>   |  |   |                          |
| 1/1000P  |  |   |                          |
| <b>OBSERVACIONES RESPECTO A CONDICIONES DE RECEPCIÓN NO DESCRITAS ANTERIORMENTE:</b>           |  |   |                          |
|  |  |   |                          |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |  |   |                          |
|  |  |   |                          |

NA: No Aplica, P (plástico), V (vidrio).

Criterio de aceptación:

"Muestras químicas: ≤ 6 °C"

"Muestras microbiología: ≤ 10 °C"

Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
 Surquillo - Lima  
 Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
 web: www.labecoperu.com  
 e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

Rev.: 11

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 034**

**INFORME DE ENSAYO N° 0286-21**

**Solicitante** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Dirección del Solicitante** : Jr. Manco Capac N° 391 - Pilcomayo  
**Atención** : DANNY ROBERT DAMIAN MACHA  
**Proyecto** : Análisis de Agua Natural (Superficial/Río)  
**Lugar de Muestreo** : Laguna de Paca  
**Tipo de Muestra** : Agua Natural (Superficial/Río)  
**Fecha de Monitoreo** : 11/05/21  
**Fecha de Recepción de Muestra** : 12/05/21  
**Fecha de Inicio de Análisis** : 12/05/21  
**Fecha de Término de Análisis** : 17/05/21  
**Fecha de Emisión** : 18/05/21

**MEDICIONES IN SITU**

| Código de Cliente | Descripción  | COORDENADAS UTM |         |
|-------------------|--------------|-----------------|---------|
|                   |              | Norte           | Este    |
| DC01              | Agua Natural | 8702065         | 0444545 |

**CALIDAD DE AGUA**

| Código de Laboratorio   | 0286-1 | Límite Detección | Unidad   |
|---|--------|------------------|----------|
| Código de Cliente   | DC-01  |                  |          |
| <b>Parámetros de Campo (In Situ: Datos tomados en campo.)</b> |        |                  |          |
| Temperatura   | 8,3    | 0,1              | °C       |
| pH  | 7,21   | ---              | Unid. pH |
| <b>Parámetros Físicoquímicos</b>                              |        |                  |          |
| TSS   | 38     | 4                | mg/L     |
| DBO <sub>5</sub>  | 152    | 1                | mg/L     |

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
- El cliente renuncia al derecho de la dimensión.

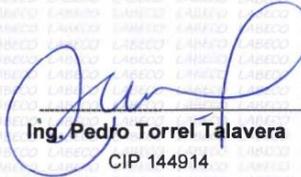
**Método de Análisis:**

Temperatura: APHA AWWA WEF 2550 B 23rd Edition 2017, Temperature. Laboratory and Field Methods.  
pH: APHA AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Edition 2017, pH Value. Electrometric Method.  
TSS: APHA AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Edition 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.  
DBO<sub>5</sub>: APHA AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Edition 2017 Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 034**



**Quim. Ellen Liliana Deza Montoya**  
CQP N° 1328  
Director Técnico



**Ing. Pedro Torrel Talavera**  
CIP 144914  
Supervisor de Emisión de Informes de  
Ensayo C/CA

**Lima, 18 de Mayo de 2021.**

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.

Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".

Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.

Nota "4": Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".

Nota "5": Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.

Nota "6": Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.

Nota "7": "Para los parámetros in situ, en matriz agua, se realizan las mediciones por duplicado y se reporta el promedio de las mediciones"

Anexo 1: Condiciones de recepción.

○○○○○○○

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.