



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Influencia de residuos orgánicos en la generación de electricidad
usando celdas de combustible microbianas

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

AUTOR:

Valdiviezo Dominguez, Fiorela (ORCID [0000-0001-5313-3817](https://orcid.org/0000-0001-5313-3817))

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID [0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

TRUJILLO – PERÚ

2021

Dedicatoria

A la memoria de mi abuelita y a mi familia por ser un pilar fundamental en mi desarrollo personal y académico. Además de mis profesores quienes en todo momento me guiaron y brindaron soporte para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Agradecimiento

Un agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC / FONDECYT por el financiamiento brindado para la realización de este trabajo de investigación según convenio del Proyecto 370-2019.

A mis profesores Magaly de la Cruz Noriega y Segundo Rojas Flores por brindarme la asesoría y soporte necesario en todo momento para la realización de esta investigación.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimientos.....	13
3.6. Método de análisis de datos.....	15
3.7. Aspectos éticos.....	16
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN.....	28
VI. CONCLUSIONES.....	34
VII. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS	38
ANEXOS	51

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Parámetros físico - químicos iniciales de cada jugo.....</i>	17
Tabla 2. <i>Bacterias aisladas del ánodo de las CCMs.....</i>	27
Tabla 3. <i>Levaduras aisladas del ánodo de las CCMs.....</i>	27
Tabla 4. <i>Matriz de operacionalización de variables.....</i>	52
Tabla 5. <i>Ficha de registro de recolección de residuos.....</i>	53
Tabla 6. <i>Ficha de registro de datos residuos de piña.....</i>	53
Tabla 7. <i>Valores de voltaje de las CCMs de piña.....</i>	57
Tabla 8. <i>Valores de intensidad de corriente de las CCMs de piña.....</i>	58
Tabla 9. <i>Valores de conductividad eléctrica de las CCMs de piña.....</i>	59
Tabla 10. <i>Valores de grados brix de las CCMs de piña.....</i>	60
Tabla 11. <i>Valores de pH de las CCMs de piña.....</i>	61
Tabla 12. <i>Ficha de registro de datos residuos de tomate.....</i>	62
Tabla 13. <i>Valores de voltaje de las CCMs de tomate.....</i>	66
Tabla 14. <i>Valores de intensidad de corriente de las CCMs de tomate.....</i>	67
Tabla 15. <i>Valores de conductividad eléctrica de las CCMs de tomate.....</i>	68
Tabla 16. <i>Valores de grados brix de las CCMs de tomate.....</i>	69
Tabla 17. <i>Valores de pH de las CCMs de tomate.....</i>	70
Tabla 18. <i>Ficha de registro de datos residuos de cebolla.....</i>	71
Tabla 19. <i>Valores de voltaje de las CCMs de cebolla.....</i>	75
Tabla 20. <i>Valores de intensidad de corriente de las CCMs de cebolla.....</i>	76
Tabla 21. <i>Valores de conductividad eléctrica de las CCMs de cebolla.....</i>	77
Tabla 22. <i>Valores grados brix de las CCMs de cebolla.....</i>	78
Tabla 23. <i>Valores de pH de las CCMs de cebolla.....</i>	79

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Valores de voltaje en los primeros 2880 minutos de las CCMs.....	17
<i>Figura 2.</i> Valores voltaje durante los 32 días de las CCMs.....	18
<i>Figura 3.</i> Valores de intensidad de corriente de las CCMs	19
<i>Figura 4.</i> Valores de conductividad eléctrica de las CCMs	20
<i>Figura 5.</i> Valores de resistencia de las CCMs.....	21
<i>Figura 6.</i> Valores de los grados brix de las CCMs	22
<i>Figura 7.</i> Valores de pH de las CCMs.....	23
<i>Figura 8.</i> FTIR inicial y final de los sustratos de los desechos de (a) piña.....	24
<i>Figura 9.</i> FTIR inicial y final de los sustratos de los desechos de (b) tomate....	25
<i>Figura 10.</i> FTIR inicial y final de los sustratos de los desechos de (c) cebolla....	26
<i>Figura 11.</i> Partes de la celda de combustible microbiana de una sola cámara....	80
<i>Figura 12.</i> Diseño de la CCM de una sola cámara.....	80
<i>Figura 13.</i> Visualización de la estructura de las CCMs.....	81
<i>Figura 14.</i> Estructura interna del cátodo de las CCMs.....	81
<i>Figura 15.</i> Estructura interna del ánodo de las CCMs	82
<i>Figura 16.</i> Celdas de combustible microbianas con sustrato piña.....	82
<i>Figura 17.</i> Celdas de combustible microbianas con sustrato tomate.....	83
<i>Figura 18.</i> Celdas de combustible microbianas con sustrato cebolla.....	83
<i>Figura 19.</i> Bacterias aisladas del ánodo de las CCMs de cebolla.....	84
<i>Figura 20.</i> Levaduras aisladas del ánodo de las CCMs de piña.....	84

RESUMEN

Los residuos orgánicos generan contaminación ambiental, ya que no son aprovechados y tratados previos a su disposición, por ello esta investigación planteó como objetivo evaluar la influencia de los residuos de tomate, piña y cebolla en la generación de electricidad usando celdas de combustible microbianas de una sola cámara. Esta investigación fue básica y de corte experimental, siendo las variables los residuos orgánicos y la generación de corriente eléctrica; con un enfoque de investigación mixta, la población estuvo conformada por los residuos de frutas y verduras del mercado La Hermelinda, Trujillo, seleccionados con un muestreo aleatorio simple. Los resultados mostraron que la cebolla contenía mayor cantidad de sólidos solubles totales y conductividad, mientras que el tomate contenía más cationes [K]. Por otra parte, la piña generó un mayor voltaje (0.99 V), corriente eléctrica (4.96 mA) y grados brix, mientras que la cebolla generó menos electricidad. Asimismo, se identificaron los microorganismos *Proteus penneri*, *Proteus hauseri*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter iwoffii*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Candida lipolytica* y *Candida pelliculosa* correspondientes a los residuos piña, tomate y cebolla respectivamente. Se concluyó que la actividad metabólica de los microorganismos y componentes presentes en los residuos orgánicos influyen en el rendimiento de las celdas de combustible microbianas.

Palabras clave: Electricidad, celda de combustible microbiana, residuos orgánicos, microorganismos

ABSTRACT

Organic wastes generate environmental contamination, since they are not used and treated prior to their disposal; therefore, the objective of this research was to evaluate the influence of tomato, pineapple and onion wastes in the generation of electricity using single-chamber microbial fuel cells. This research was basic and experimental, with the variables being organic waste and the generation of electric current; with a mixed research approach, the population consisted of fruit and vegetable waste from La Hermelinda market, Trujillo, selected by simple random sampling. The results showed that onion contained more total soluble solids and conductivity, while tomato contained more cations [K]. On the other hand, pineapple generated higher voltage (0.99 V), electric current (4.96 mA) and brix degrees, while onion generated less electricity. Likewise, the microorganisms *Proteus penneri*, *Proteus hauseri*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter iwoffii*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Candida lipolytica* and *Candida pelliculosa* were identified corresponding to pineapple, tomato and onion residues, respectively. It was concluded that the metabolic activity of the microorganisms and components present in the organic wastes influence the performance of the microbial fuel cells.

Keywords: Electricity, microbial fuel cell, organic wastes, microorganisms.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial en los últimos años la expansión demográfica y la industrialización han generado un aumento en el consumo energético y la demanda de alimentos, lo que ha conllevado a un evidente incremento de los residuos (Ankush, Khushboo y Dubey, 2020, p. 391), los cuales son generados durante las etapas de procesamiento y consumo de dichos alimentos (Asefi *et al.*, 2019, p. 83), especialmente frutas y verduras debido a la demanda e importancia que tienen para la nutrición humana. Cabe destacar que estos residuos han generado efectos negativos sobre el medio ambiente a causa de la degradación microbiana entre otros factores (Coman *et al.*, 2020, p. 1), como su inadecuada gestión, por lo que los desechos orgánicos se han convertido en un problema latente en muchos países (Raksasat *et al.*, 2020, p. 1).

Es así que en el año 2017 la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) realizó estimaciones acerca de la generación anual de residuos orgánicos en diversos países de América del norte, entre ellos Estados Unidos, el cual reportó una generación anual per cápita (kg/persona/año) de 652.1 millones de toneladas de residuos orgánicos mientras que en otros países como México generaron 327.3 millones de toneladas de residuos orgánicos (CCA, 2017, p. 8); ciertamente estos residuos contaminan el medio ambiente, ya que al descomponerse la materia orgánica produce gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono y metano, cuyas emisiones afectan la calidad del aire y contribuyen al cambio climático (CCA, 2017, p. 9).

Se espera que la generación de residuos se incremente en un 70 % para el año 2050, lo que equivaldrá a 3.40 mil millones de toneladas por año (Kaza, Yao, Bhada y Van, 2018, p. 22). Es preciso señalar que, a nivel global el 44% de los residuos generados son principalmente producto de la pérdida y desperdicio de alimentos y residuos verdes (Kaza *et al.*, 2018, p. 8). Es así que regiones de América del norte y Europa en el año 2016 generaron una pérdida de alimentos post cosecha de aproximadamente del 15.7% (FAO, 2019, p. 8), en lo que respecta a los grupos de alimentos, las frutas y verduras registraron niveles elevados de pérdidas debido a su naturaleza perecedera (FAO, 2019, p. 9).

En el Perú se genera aproximadamente 19 mil toneladas de residuos sólidos municipales (MINAM, 2019, p. 4) de los cuales el 56% corresponde a residuos orgánicos (MINAM, 2019, p. 51) provenientes de viviendas, restaurantes, residuos agroindustriales, entre otros (MINAM, 2019, p. 53). Específicamente en la ciudad de Trujillo se genera gran cantidad de residuos, sobre todo orgánicos, un ejemplo de ello es el mercado La Hermelinda en donde el 89.32% de residuos generados son orgánicos (Orihuela y Camacho, 2019, p. 12); gran parte de estos residuos son dispuestos en botaderos representando de esta manera un riesgo para la salud de las personas (MINAM, 2019, p.7), además de que generan otros problemas como el daño estético al paisaje urbano (Sharma *et al.*, 2019, p. 1) y la contaminación del aire (Al-Rumaihi, McKay, Mackey y Al-Ansari, 2020, p. 1).

Ahora bien, de ello resulta necesario destacar que además de la generación de residuos orgánicos, existe otra problemática ambiental latente como es el aumento exponencial del consumo energético el cual ha intensificado los impactos del cambio climático en el planeta (Mahata, Ray y Das, 2020, p.1), ya que este sector aporta con dos tercios del total de los gases de efecto invernadero (GEI) generados en el mundo (KHAN, 2019, p.1), siendo su principal origen el petróleo y el gas (Mahata *et al.*, 2020, p.1). Dentro de este contexto cabe mencionar que en el Perú la mayor parte de la energía suministrada proviene de centrales térmicas e hidráulicas (Tamayo, Salvador, Vásquez y Carlo, 2016, p. 239).

En consecuencia, es esencial investigar y plantear alternativas de solución para resolver los problemas de contaminación ambiental, aprovechando la biomasa existente como por ejemplo los residuos orgánicos para la generación de electricidad; dentro de estas alternativas se encuentran las celdas de combustible microbianas (CCMs) (Slate, Whitehead, Brownson y Banks, 2019, p. 1), estos son sistemas electrobioquímicos que generan electricidad debido a la actividad metabólica de los microorganismos que sirven como biocatalizadores para oxidar la materia orgánica y transferir electrones a través de la oxidación del sustrato de la cámara anódica hacia la cámara catódica (Li *et al.*, 2018, p. 391). Ante esta situación se plantea el problema de investigación: ¿Cómo influyen los residuos de piña, tomate y cebolla en la generación de electricidad usando celdas de combustible microbianas?

En tal sentido la presente investigación se justificó en base a diferentes aspectos, el primero de ellos, el aspecto social, ya que las CCMs son capaces de generar bioelectricidad a partir de desechos orgánicos, debido a que son una rica fuente de materia orgánica (Sharma *et al.*, 2019, p.1); ello permite dar un valor agregado a dichos residuos, los cuales representan un problema socio-ambiental en el Perú (MINAM, 2019, p. 53), especialmente en centros de abastos muy concurridos como lo es el mercado la Hermelinda. Por otra parte, en cuanto al aspecto económico las CCM de una sola cámara son un sistema sencillo y a su vez económico, ya que su diseño implica la utilización de menos materiales en comparación a otros diseños. En relación al aspecto ambiental las CCMs representan una tecnología con un gran potencial en la transición de combustibles fósiles a energías limpias (Slate *et al.*, 2019, p.1).

Asimismo, teóricamente esta investigación se elaboró con la finalidad de proporcionar información útil y mejorar el conocimiento existente, sobre la influencia de los residuos orgánicos en la generación de electricidad usando CCMs; por lo que servirá como un antecedente para futuras investigaciones que busquen explorar más en este tema. Finalmente, en cuanto al aspecto metodológico esta es una investigación experimental por lo que permitirá a otros investigadores replicarlo y realizar sus propias investigaciones académicas.

En base a ello se plantea como objetivo general, evaluar la influencia de los residuos de piña, tomate y cebolla en la generación de electricidad usando celdas de combustible microbianas. Así mismo como objetivos específicos se planteó evaluar la incidencia de los sólidos solubles totales (SST), cationes [K], conductividad y pH de los residuos de piña, tomate y cebolla en la generación de electricidad, así como también evaluar los parámetros de voltaje, intensidad de corriente, conductividad eléctrica, resistencia, grados brix y pH durante el proceso de funcionamiento de las celdas de combustible microbianas, por último, se planteó identificar las especies de microorganismos que tengan la capacidad de generar electricidad en las celdas de combustible microbianas. Por otra parte, en esta investigación se planteó como hipótesis que los residuos de tomate, piña y cebolla si influyen en la generación de electricidad ya que propician la producción de iones producto del metabolismo microbiano lo cual favorece a las reacciones electroquímicas en las celdas de combustible microbianas.

II. MARCO TEÓRICO

Ihesinachi, Azunda, Igwe y Akpan (2020) en su investigación titulada “Electricity generation from waste tomatoes, banana, pineapple fruits and peels using single chamber microbial fuel cells”, propuso como objetivo generar bioelectricidad a partir de los residuos de tomate, plátano y piña utilizando celdas de combustible microbianas; en dicha investigación se empleó una metodología experimental - básica, en donde se consideró como población y muestra los residuos de frutas y cascaras del mercado de Bori. Los principales resultados mostraron que la salida máxima de voltaje fue de 4.2, 3, 1 y 3.0 V con la utilización de los residuos de tomate, plátano y piña, la conductividad máxima fue del tomate, concluyendo que cuanto mayor sea la cantidad del sustrato mayor electricidad generada.

Asimismo, Mbugua, Mbui, Mwaniki y Mwaura (2018) realizó un estudio sobre “Electricity Generation by *Clostridium* spp and *Proteus Vulgaris* from Rotten Tomatoes in a Double Chamber Microbial Fuel Cell”; con el objetivo de producir electricidad empleando residuos de tomate en CCMs utilizando *Clostridium spp* y *Proteus Vulgaris*, dicha investigación fue básica con diseño experimental, en donde definió como población y muestra los residuos de tomate. Los resultados mostraron que el voltaje máximo generado fue 0.622, 0.465 y 0.759 V, en cuanto a la densidad de potencia y corriente se obtuvo 8.12 mW/m² y 13.02 mA/m² utilizando *Clostridium spp.*, concluyendo que dicha bacteria proveniente de los residuos de tomate genero una alta producción de energía.

De igual modo, Mbachu y Okeke (2018) en su investigación titulada “Application of Different Organic Wastes for Electricity Generation by Means of Double Chambered Microbial Fuel Cell Technology”, plantearon como objetivo generar electricidad a partir de la aplicación de diferentes residuos orgánicos usando CCMs, empleando una metodología experimental, en donde se definió como población los residuos orgánicos y como muestra las cáscaras de plátano y piña como sustratos orgánicos y cultivos puros de *Pseudomonas*. Los resultados mostraron una potencia máxima de 3.983, 7.1625 y 8.9920 W para glucosa, cáscara de plátano y de piña, mientras que en las muestras no aireadas se generó 3.936 , 7.059 y 8.909 W, concluyendo que las ocho CCMS generaron con éxito bioelectricidad a partir de los desechos orgánicos.

De acuerdo a Nastro *et al.* (2016) efectuaron un estudio sobre “Performance evaluation of Microbial Fuel Cells fed by solid organic waste: parametric comparison between three generations”; su objetivo fue evaluar el desempeño de las CCMs alimentadas por residuos orgánicos, en donde empleo una metodología básica con diseño experimental; como muestra utilizo 2.5 kg de residuos de frutas y verduras en las tres generaciones de CCMs, obteniendo como resultado que el aumento de la superficie de los electrodos con respecto al volumen del reactor aumenta drásticamente el rendimiento de la celda en términos de potencia generada, finalmente se concluyó que las diferentes condiciones de funcionamiento y sustratos empleados resaltan la versatilidad y fiabilidad de la tecnología de las CCMs.

Piyarut, Wilaiporn y Prayak (2016) en su investigación titulada “Electricity Production from Organic Wastes Fermentation by Microbial Fuel Cell Process”; la cual tuvo como objetivo generar electricidad a partir de la fermentación de desechos orgánicos usando CCM de una sola cámara, empleo una metodología experimental, en donde se definió como muestra a los residuos de piña, jugo de coco con azúcar de caña, entre otros. Los principales resultados mostraron durante los 5 primeros días se generó un voltaje de 500 mV, densidad de corriente 25,52 mA, densidad de potencial 104,69 Vm y densidad de potencia 12,59 mW, concluyendo que la piña fermentada produce más densidad de corriente en comparación de los otros residuos.

Li *et al.* (2016), en su investigación titulada “Electricity generation from food wastes and characteristics of organic matters in microbial fuel cell”; la cual tuvo como objetivo evaluar la recuperación de electricidad de los desperdicios de alimento, en dicha investigación se empleó una metodología experimental, en donde definió como población los desechos orgánicos. Los resultados mostraron una densidad de potencia de 5,6 W y una tensión de salida media de 0,51 V concluyendo que la generación de bioelectricidad a partir de los desechos orgánicos en una CCM es eficaz.

Asefi *et al.* (2019), en su investigación titulada “Characterization of electricity production and microbial community of food waste-fed microbial fuel cells”; propuso como objetivo generar electricidad usando residuos de alimentos en

celdas de combustible microbiana en diferentes condiciones, en dicho estudio se empleó una metodología experimental, en donde se delimitó como población los residuos de alimentos. Los resultados mostraron que el voltaje y la densidad de potencia máxima generados fueron 775 ± 21 mV y 422 mW resultantes de la utilización de desperdicios de alimentos, concluyendo que las CCMs tienen potencial para la producción de electricidad a partir de desechos de alimentos.

Xin, Ma y Liu (2018), en su investigación titulada “Electric energy production from food waste: Microbial fuel cells versus anaerobic digestion”, propuso como objetivo desarrollar un proceso para la recuperación de energía mediante las CCMs y la digestión anaeróbica, empleando como metodología una investigación básica con diseño experimental, en donde obtuvieron como resultados una eficiencia de conversión de 0,245 kWh/kg de desperdicio de alimentos, así mismo estimaron que se podría generar alrededor de 192.5 millones de kWh de electricidad a partir de los residuos de alimentos generados en Singapur por año; concluyendo que las celdas de combustible microbianas son respetuosas con el medio ambiente y económicamente viables en términos de generación de electricidad en comparación con la digestión anaeróbica.

Shrestha *et al.* (2016), en su investigación titulada “Electricity generation from defective tomatoes”, planteó como objetivo generar electricidad a partir de desechos de tomate en celdas de combustible microbianas, empleando como metodología una investigación básica con diseño experimental. Los principales resultados mostraron que la corrosión potencial del electrodo del ánodo sin inocular fluctuó entre 0.09 y 0.11 V, después de 92 horas disminuyó a 0.011 V; en el cátodo la corrosión potencial osciló entre 0.32 y 0.36 V, concluyendo que los residuos de tomate son viables en la generación de electricidad.

Por otra parte, Gonzalo (2018) en su investigación titulada “Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos y de aguas residuales en bioceldas para generar energía eléctrica a nivel de laboratorio”, propuso como objetivo producir electricidad a usando dichos sustratos en bioceldas; el diseño de la investigación fue experimental, con un tipo de investigación aplicada; dentro de este estudio se consideró como población a los residuos de zanahoria, rabanito y papa procedentes del mercado Villa Hiper y las aguas residuales obtenidas del río

Huaycoloro, como muestra se consideró 2 kg de cada uno de los residuos, cabe mencionar que el muestreo fue aleatorio y se realizaron 4 tratamientos con diferentes volúmenes de residuos. Los resultados mostraron que el tratamiento N° 4 compuesto por 250 ml de zanahoria generó un voltaje máximo de 0.708 V y una intensidad de corriente de 0.082, concluyendo que los residuos orgánicos y las aguas residuales sí generan energía eléctrica.

Dentro de este contexto cabe mencionar que las celdas de combustible microbianas (CCMs) son sistemas electrobioquímicos que generan electricidad debido a la actividad metabólica de los microorganismos que sirven como biocatalizadores de la reacción para transformar la energía química en electricidad a través de la oxidación de la materia orgánica para la transferencia de electrones de la cámara anódica hacia la cámara catódica, estos sistemas poseen casi siempre una membrana de intercambio protónico para el paso de iones del ánodo al cátodo (LI *et al.*, 2018, p. 391). El funcionamiento de las CCMs se basa en que los microorganismos poseen la capacidad de generar electricidad transfiriendo electrones desde un donador de electrones a un aceptor de electrones, a causa de la diferencia de potencial electroquímico producido entre ellos, es preciso señalar que los microorganismos son capaces de maximizar su ganancia energética eligiendo el aceptor de electrones con el mayor potencial (Sotres, 2017, p. 1).

Por ejemplo, las bacterias son capaces de oxidar los sustratos reducidos, generando electrones que son transferidos a las enzimas respiratorias por el NADH (nicotinamida adenina dinucleótido). Este flujo por la cadena respiratoria genera un gradiente de protones a través de una membrana interna, cabe mencionar que dichos protones regresan a la célula mediante una enzima ATPasa, finalmente los electrones se liberan a un aceptor que puede ser el oxígeno, nitrato u sulfato (Logan y Regan, 2006, p. 5173).

La mayoría de las CCMs comprenden los mismos componentes básicos para su correcto funcionamiento como es el ánodo en el cual se encuentran los electrones que son generados por la acción de los microorganismos sobre los sustratos de las CCM; el ánodo puede ser elaborado con distintos materiales como por ejemplo carbón, grafito, entre otros. En el compartimento del ánodo se

alberga el sistema catalizador del ánodo, el combustible, los microorganismos y el sistema de transporte de electrones, dentro de este compartimento se producen diversas reacciones debido que al ingresar el combustible al ánodo se somete al tratamiento por los microorganismos, lo cual genera la oxidación del combustible, dando como resultado electrones y protones (Dutta y Kundu 2018, p. 3).

Asimismo, el cátodo es otra parte importante de las CCMs, este permanece conectado con el otro extremo del cable de titanio externo, el cual es el encargado de conectar el cátodo con el ánodo, cabe señalar que a través de él se transportan los electrones. Dentro de estos sistemas también se encuentra el compartimento del cátodo en donde se localiza el sistema catalizador del cátodo, el oxidante el cual puede ser aire u oxígeno puro y los microorganismos los cuales cumplen la función de biocatalizadores, cabe mencionar que en algunos casos se emplean catalizadores químicos que cumplen la función de acelerar la reacción, un ejemplo de estos materiales es el platino. Asimismo, las CCMs cuentan con catalizadores de cátodo, por ejemplo, se suele emplear platino metálico. (Dutta y Kundu 2018, p. 4)

Las CCMs también cuentan con electrolitos que cumplen la función de conducir los protones producidos en el compartimento del ánodo al compartimento del cátodo, este electrolito es colocado entre estos compartimentos. Dentro de estas celdas se pueden emplear aguas residuales, desechos orgánicos, entre otros sustratos para la generación de electricidad (Dutta y Kundu, 2018, p. 5), ya que aprovechan la energía contenida en la biomasa (Das, 2020, p. 195), cabe mencionar que en las CCMs las bacterias electrogénicas participan en la transferencia de electrones lo cual aumenta las salidas de potencia (Slate *et al.*, 2019, p. 60), los electrones son transferidos un ánodo sólido a los que se les denominan exoelectrógenos y a los microorganismos que aceptan electrones se les denomina electrófilos (Logan, Rossi, Ragab y Saikaly, 2019, p. 1).

Es así que la transferencia de electrones es esencial dentro de las CCMs, por ello es importante resaltar que existen tres vías diferentes por las cuales puede ocurrir dicha transferencia, la primera de ellas a través de un mediador soluble en la solución que baña el electrodo, asimismo la transferencia de electrones se

puede darse directamente al ánodo a través de proteínas situadas en la membrana externa de las bacterias; por ejemplo microorganismos de la familia *Geobacteraceae* y *Shewanella oneidensis* poseen citocromos c en su membrana externa el cual les sirve para transferir electrones a los electrodos. Por último, hay bacterias que forman una película gruesa en el cátodo transmitiendo electrones al ánodo (Clark y Pazdernik, 2016, p. 411) mediante apéndices llamados nanocables (nanowires) o pilis (Sotres, 2017, p. 1), por ejemplo, las *Pseudomonas* poseen este parte (Vyatchina, Stom, Goel y Xie, 2020, p. 1).

Por otra parte, cabe resaltar que existen diversos diseños de CCMs, por ejemplo las celdas de combustible microbianas de una sola cámara, las cuales en la mayoría de casos no cuenta con cámaras anódicas y catódicas por separado, por lo tanto, no se requieren electrolitos diferentes para el ánodo y el cátodo, en este tipo de celdas se emplea oxígeno como el receptor de electrones en el cátodo y la membrana se presionan junto con él, quedando una cara del electrodo hacia el aire (medio ambiente). Los electrones generados fluyen hacia el electrodo anódico y luego a través del circuito externo hacia el cátodo. Los protones en el electrolito pasan a través de la membrana y fluyen hacia el cátodo, donde participan en la reducción de oxígeno en el agua (Antonopoulou, Ntaikou, Bebelis, y Lyberatos, 2020, p. 2).

Este tipo de diseño presenta diversas configuraciones una de las cuales es la configuración de aire catódico, en este tipo de celda el cátodo está expuesto directamente al aire (medio ambiente), lo que permite que el oxígeno molecular presente en el aire reaccione con los electrones y protones generados en la celda (*Figura 5*). Por lo tanto, no se requiere aireación o el uso de agentes oxidantes químicos, que generalmente son esenciales para otros tipos de celdas; esto reduce el costo total de la CCM, es necesario mencionar que el cátodo debe reforzarse para soportar la presión hidráulica y minimizar las fugas (Rossi *et al.*, 2018, p. 4). Como se mencionó previamente el cátodo se encuentra en contacto directo con el ambiente lo que la hace más económica de fabricar y se evitan las pérdidas óhmicas. (Manzano y Carbajal, 2019, p. 10).

Asimismo, las CCMs de doble cámara son otro diseño, que consta de dos cámaras distintas (ánodo y cátodo) conectadas mediante una membrana de intercambio protónico empleado para la transferencia iónica, estas celdas cuentan con un circuito externo para el flujo de electrones (Prasidha and Majid, 2020, p. 162), las CCM de flujo ascendente, CCM apilado. (Kumar, Singh y Zularisam, 2017, p.1), así como también las CCMs multicámara (Anand y Rohit, 2018, p. 3). Cabe mencionar que el rendimiento de las CCMs depende de factores como los materiales del electrodo, las posiciones y configuraciones de los electrodos ubicados en los reactores (Pushkar *et al.*, 2018, p.1), los tipos de microorganismos y las condiciones de operación, entre otros (Shanmuganathan, Rajasulochana y Ramachandra, 2018, p.1).

Las CCMs presentan diversas aplicaciones en el campo ambiental, por una parte, permiten generar electricidad a partir de residuos orgánicos, gracias a la acción de los microorganismos en las celdas (Asefi *et al.*, 2019, p. 83). Asimismo, las CCMs se pueden utilizar para el tratamiento y generación de electricidad a partir de diversos sustratos, ya que los macroorganismos que se encuentran asociados a los electrodos, cumplen la función de degradar desechos, así como también sustancias químicas tóxicas (Anand, Kumar, Saket y Rajendran, 2019, p. 1), por lo cual representan una alternativa que brinda beneficios ambientales (Shuming, Hong, Dong y Wen, p. 1468); también se han estudiado para su aplicación como biosensores en el monitoreo biológico de la demanda de oxígeno (Shanmuganathan *et al.*, 2018, p. 1).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: La investigación desarrollada fue de tipo básica puesto que su finalidad fue generar un conocimiento más completo mediante la comprensión de los aspectos esenciales de los fenómenos y también de las relaciones que establecen los entes (CONCYTEC, 2019, p. 1). Asimismo, de acuerdo al enfoque esta investigación fue mixta puesto que se procesó y analizó datos numéricos sobre las variables en cuestión, así como también datos cualitativos en la identificación de los microorganismos.

Diseño de investigación: De acuerdo al diseño metodológico la presente investigación fue experimental, ya que implicó la manipulación de la variable independiente para evaluar los efectos que produzca tal estímulo sobre la variable dependiente (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.121). Es así que en esta investigación se manipuló la variable independiente (residuos de tomate, piña y cebolla) la cual generó un efecto sobre la variable dependiente (generación de corriente eléctrica). Asimismo, esta investigación fue transversal ya que los parámetros fueron evaluados en un determinado periodo de tiempo (32 días).

3.2. Variables y operacionalización

VARIABLE INDEPENDIENTE: Residuos orgánicos

- **Definición conceptual:** Los residuos orgánicos son residuos fácilmente biodegradables que se producen a partir de diversas fuentes, como residuos agrícolas, residuos de mercado, residuos de cocina, residuos urbanos. (Gonawala y Jardosh, 2018, p.1).
- **Definición operacional:** Los residuos de piña, tomate y cebolla acondicionados para ser utilizados en las celdas de combustible microbianas para la generación de corriente eléctrica.

- **Indicadores:** Sólidos solubles totales (SST), cationes [K], conductividad eléctrica y pH.
- **Escala de medición:** Razón e intervalo.

VARIABLE DEPENDIENTE: Generación de corriente eléctrica

- **Definición conceptual:** La corriente eléctrica es el flujo de carga a través de un conductor para definirla se observa la cantidad de carga que pasa por un conductor en un segundo (López, López y Solís, 2016, p. 5).
- **Definición operacional:** La corriente eléctrica generada producto de las reacciones electroquímicas en las celdas de combustible microbianas.
- **Indicadores:** Voltaje, intensidad de corriente, conductividad eléctrica, resistencia, grados brix, pH y FTIR.
- **Escala de medición:** Razón e intervalo

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: La población estuvo conformada por los residuos de frutas y verduras del mercado La Hermelinda, Trujillo, en el periodo 2021-I; en tal sentido la muestra es el conjunto de elementos con características comunes (Hernández *et al.*, 2010, p. 174).

Muestra: La muestra estuvo conformada por 6 kg de cada uno de los residuos como la piña, tomate y cebolla procedentes del mercado La Hermelinda, Trujillo.

Muestreo: En esta investigación se aplicó el muestreo aleatorio simple.

Unidad de análisis: Estuvo conformado por 250 ml de extracto provenientes de los residuos de piña, tomate y cebolla los cuales fueron utilizados como sustratos en las celdas de combustible microbianas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada en esta investigación fue la observación experimental, este procedimiento fue planificado, controlado y sujeto a comprobaciones que ayudaron a la adquisición activa de los datos obtenidos de la medición de los diferentes parámetros establecidos. Es así que esta técnica permitió recabar los datos en condiciones relativamente controladas ya que involucro la manipulación de variables por el investigador (Espinoza, 2019, p.178). Dentro de este contexto cabe mencionar que una técnica de investigación es el procedimiento para la obtención de información (Arias, 2012, p. 67). Por otra parte, en cuanto al instrumento de recolección de datos se utilizó fichas de registro de datos de los diferentes parámetros establecidos. Es así que los instrumentos de recolección de datos son el soporte para que las técnicas cumplan su propósito (Baena, 2017, p. 68).

3.5. Procedimientos

3.5.1. Diseño y construcción de las celdas de combustible microbianas

El diseño seleccionado fueron las celdas de combustible microbianas de cámara simple (*Figura 2*), las cuales se formaron por 4 tornillos hexagonales (*Figura 1 (a)*) con un grosor de 5/16" ó 0.7938 cm de diámetro y una longitud de 10.95 cm que sirvieron para ajustar las placas de acrílico de 10 x 10 cm² de área y 0.5 cm de espesor, a las cuales se le realizaron 4 orificios circulares de 0.7938 cm de diámetro a una distancia de 1 cm del borde, así como un orificio de 5 cm de diámetro en el centro (*Figura 1 (b)*). En el orificio del centro se le colocó un tubo (*Figura 1 (c)*) de 5 y 10 cm de diámetro y largo respectivamente, el cual sirvió de cámara para los desechos orgánicos; en el interior del tubo se colocaron los electrodos (ánodo y cátodo), elaborados con zinc y cobre, los cuales fueron soldados por un cable de cobre que emerge al exterior y se conecta a una resistencia (*Figura 1 (d)*). Estas celdas tienen una capacidad de 250 ml de sustrato.

3.5.2. Recolección de las muestras y pre-tratamiento

Se recolectó 6 kg de cada uno de los residuos (piña, tomate y cebolla), estas muestras se colocaron en frascos, los cuales contuvieron la siguiente información: nombre la fruta o verdura, fecha y hora de muestreo. Todos los recipientes con las muestras fueron colocados en un cooler para ser trasladados al Instituto de Investigación de Ciencia y Tecnología de la Universidad César Vallejo - Campus Trujillo.

Luego cada muestra se colocó en bandejas de plástico por separado a fin de retirar restos de plástico papel u otro material extraño antes de procesarla, luego se pesó cada muestra y se registraron los pesos. Posterior a ello, cada la muestra de piña fue procesada en un extractor de jugos y las muestras de tomate y cebolla se procesaron en una licuadora con la finalidad de obtener un jugo que se utilizó en las celdas de combustible microbianas para generar electricidad, en total 3 celdas por cada residuo.

3.5.3. Medición de parámetros

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos iniciales de cada jugo, para ello se tomó una porción de cada jugo de fruta y vegetal para determinar los siguientes parámetros: sólidos solubles totales (SST) analizados por el método de reflectometría, así como también cationes [K] analizados por el método electroquímico por ion selectivo, conductividad eléctrica y pH.

Luego en cada celda se agregó el jugo obtenido previamente y se colocaron los electrodos para la posterior medición de los parámetros fisicoquímicos como voltaje, intensidad de corriente, conductividad eléctrica, resistencia, grados brix y pH durante 32 días asimismo se empleo el FTIR para la determinación de grupos funcionales.

3.5.4. Identificación de microorganismos

Se aislaron los microorganismos presentes en las muestras de desechos orgánicos, por ello se tomaron muestras de cada celda a los 0 y 32 días de

iniciado la puesta en marcha del sistema donde se evaluó la generación de electricidad.

Primero se aislaron las bacterias y levaduras, en condiciones asépticas y con ayuda de un hisopo estéril se realizó por separado un hisopado de la superficie del ánodo de cada una de las celdas, luego el hisopo conteniendo la muestra microbiológica se colocó en un tubo que contenía caldo BHI (Brain heart infusion) para luego incubarlo a 35 °C por 18 a 24 horas, transcurrido el tiempo de incubación se realizó el aislamiento de los microorganismos empleando la técnica de la siembra en placa por agotamiento en superficie.

Así mismo para aislar bacterias se utilizaron placas con agar TSA y agar Mac Conkey, las cuales después se incubaron a 35 °C por 18 24 horas; en cuanto al aislamiento de levaduras se utilizaron placas con agar Sabouraud 2% glucosa, las cuales después de ser sembradas se incubaron a 25 °C por 48 horas. Asimismo, para la coloración Gram y obtención de cultivos puros de bacterias y levaduras se utilizaron las colonias representativas, a las cuales se les realizó la coloración Gram y se replicó con agar inclinado con TSA para su identificación. Por último, la identificación microbiológica de bacterias y hongos se realizó mediante el sistema API.

3.6. Método de análisis de datos

Al finalizar la obtención de los datos requeridos, se procedió a analizarlos mediante programas estadísticos, el primero de ellos es el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), el cual permitió tabular los datos en tablas de los cuales se obtuvo la desviación estándar y promedio, en cuanto a los gráficos se elaboraron mediante ORIGIN PRO 2019, un programa informático mediante el cual se crearon gráficos en función de la base de datos obtenida previamente, es así que mediante estos programas y métodos se procesó y analizo los datos que se obtuvieron de los diferentes parámetros medidos en las celdas de combustible microbianas.

3.7. Aspectos éticos

En la presente investigación se garantizó el respeto a la autoría de las fuentes de información, ya que cada una de ellas fue debidamente citada y referenciada según las referencias estilo ISO 690 y 690-2. Asimismo, se tuvo en cuenta el criterio de la legitimidad ya que los resultados que se obtuvieron fueron expuestos de manera real y veraz. Por otra parte, en esta investigación también se aplicó el principio de la beneficencia ya que se buscó maximizar los beneficios que trajo consigo esta investigación, dentro de este contexto cabe mencionar que los microorganismos y residuos que se utilizaron en el presente proyecto no afectaran los entornos ambientales, ya que se les brindó una adecuada disposición y manejo de los mismos con el fin de no representar ningún riesgo medioambiental.

IV. RESULTADOS

4.1. Medición de parámetros iniciales de cada jugo

Tabla 1. *Parámetros físico - químicos iniciales de cada jugo*

	Solidos Solubles Totales (SST) %	Cación [K] ppm	Conductividad mS/cm	pH
Piña	2.10	1972	187	3.96
Tomate	4.20	2940	171	4.21
Cebolla	6.29	944	194	3.81

Fuente: elaboración propia.

4.2. Valores del monitoreo de los parámetros establecidos

Los valores obtenidos de los parámetros establecidos se graficaron como se muestra en las siguientes figuras:

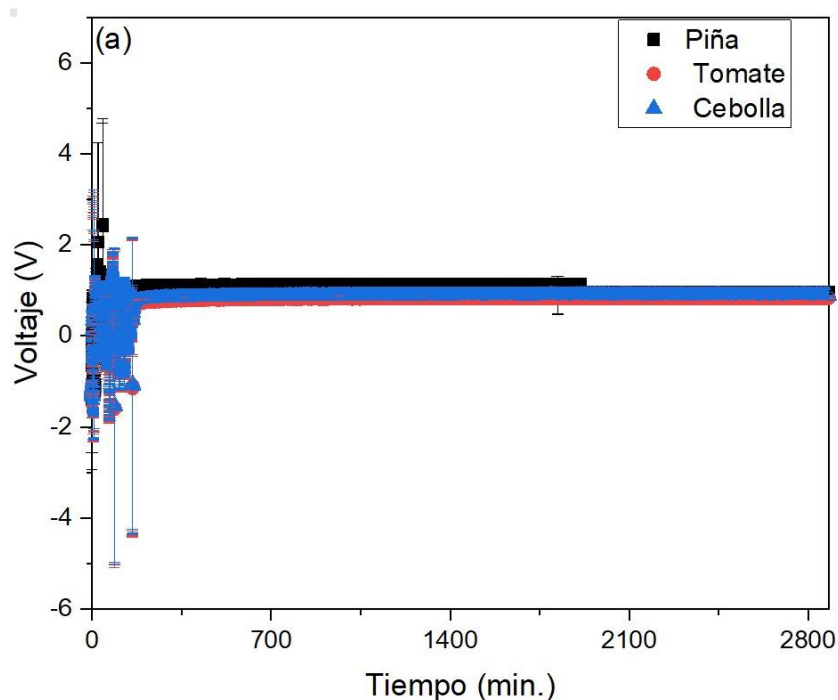


Figura 1. Valores de voltaje en los primeros 2880 minutos de las CCMs

En la *Figura 1*, se observa los valores iniciales de voltaje durante los primeros 2880 minutos, en los cuales se puede observar que en los minutos iniciales existen variaciones abruptas en los tres tipos de sustratos, esto es debido a las reacciones químicas iniciales inestables.

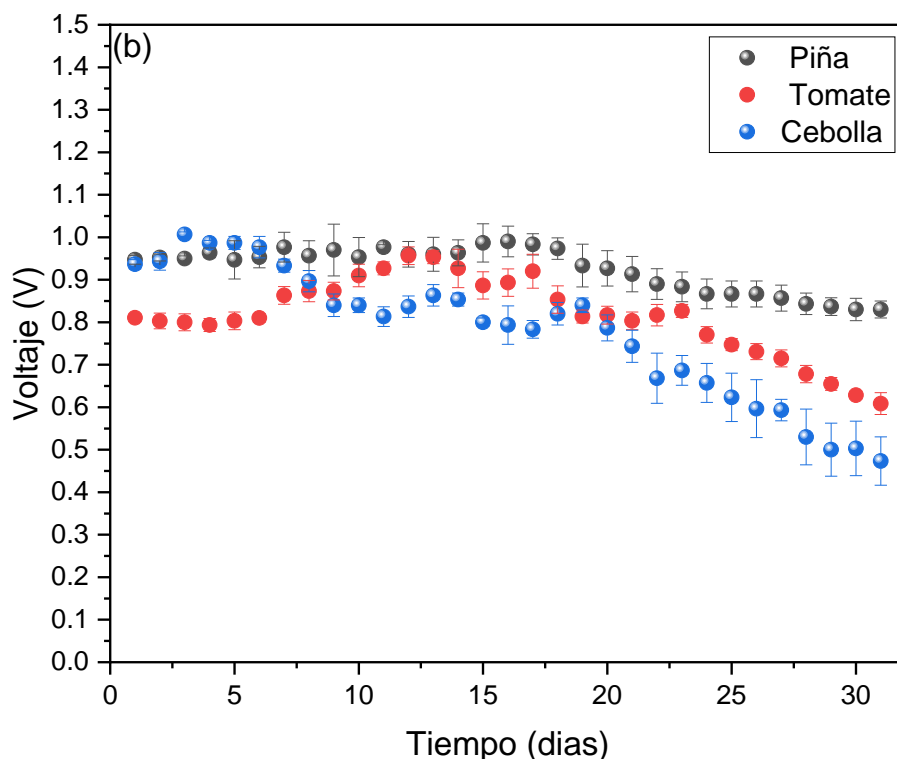


Figura 2. Valores voltaje durante los 32 días de las CCMs

En la *Figura 2* se observa que las CCMs con sustrato de *cebolla* generan mayor voltaje (1.01 ± 0.0057 V) en el tercer día en comparación con los otros dos sustratos, para después decaer lentamente hasta el último día (0.44 ± 0.05 V). Por otro lado, las CCMs que generaron un menor voltaje al comienzo fueron las celdas de tomate (0.811 ± 0.008 V), para luego aumentar, hasta llegar a su máximo en el día 12 (0.957 ± 0.0208 V) y posteriormente decaer dichos valores. Mientras que las CCMs con sustrato de piña se mantiene ligeramente constante hasta el día 16 donde muestra un voltaje pico de (0.99 ± 0.036 V), para después descender muy ligeramente hasta el último día (0.81 ± 0.03 V).

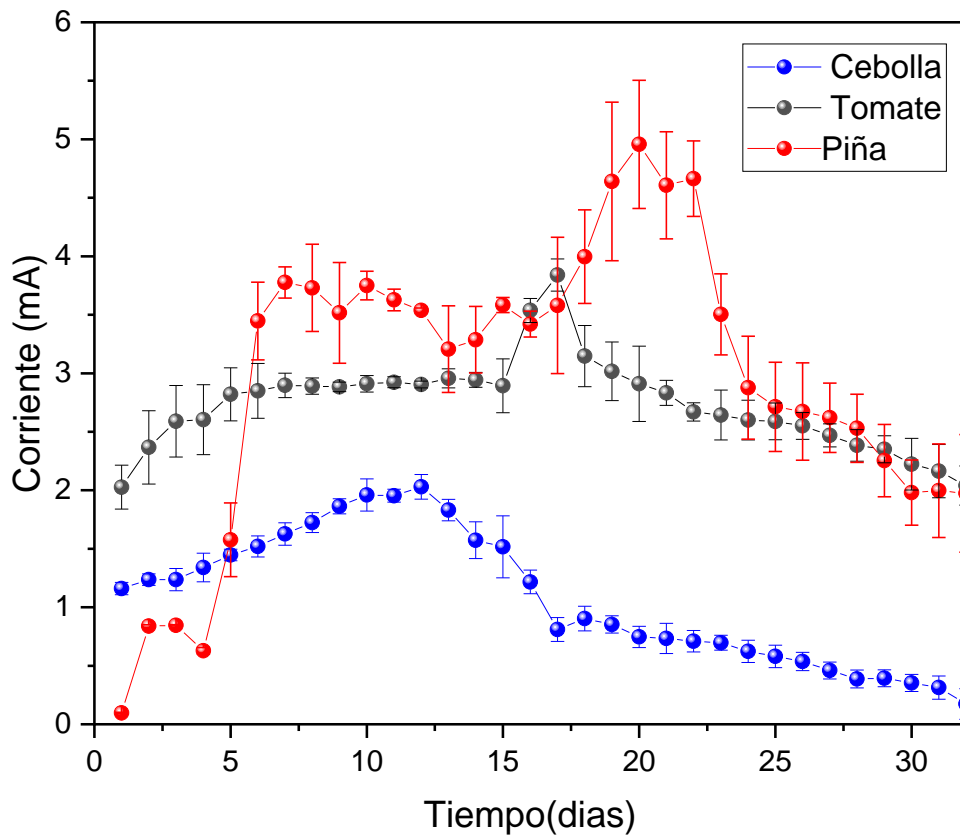


Figura 3. Valores de intensidad de corriente de las CCMs

En la *Figura 3* se observa que la CCM con sustrato de piña genera un pico mayor de corriente en el día 20 (4.96 ± 0.548 mA) en comparación con los otros dos sustratos. Las CCMs con sustrato de cebolla genero menor corriente eléctrica durante el periodo de monitoreo, siendo el pico máximo en el día 12 (2.01 ± 0.105 mA). Por otro lado, las CCMs con sustrato de tomate aumenta ligeramente hasta el día 17 (3.84 ± 0.137 mA) que se observa su aumento abrupto, para después disminuir hasta el último día.

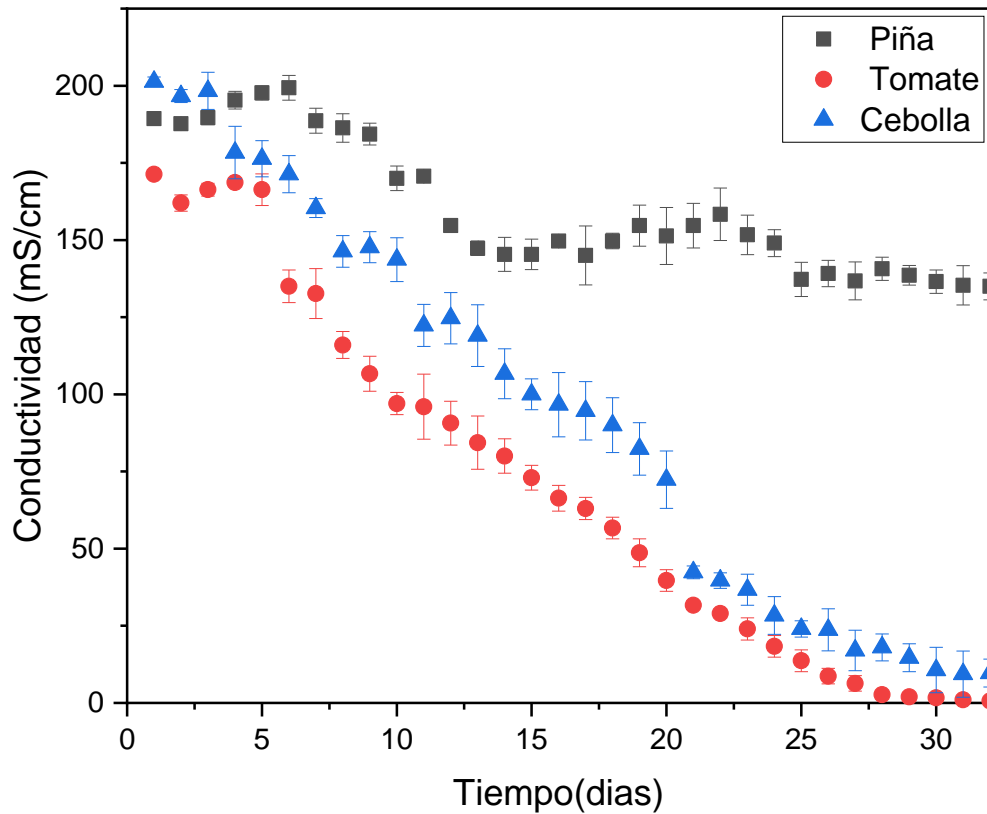


Figura 4. Valores de conductividad eléctrica de las CCMs

En la *Figura 4* se muestra los valores de conductividad monitoreados durante 32 días de las CCMs, como se puede observar que todas las CCMs disminuyen desde el primer día hasta el final; siendo las CCMs con sustrato de piña y cebolla las que tienen un mayor (135 ± 4.359 mS/cm) y menor conductividad (9.667 ± 4.509 mS/cm) en el ultima día de monitoreo, respectivamente.

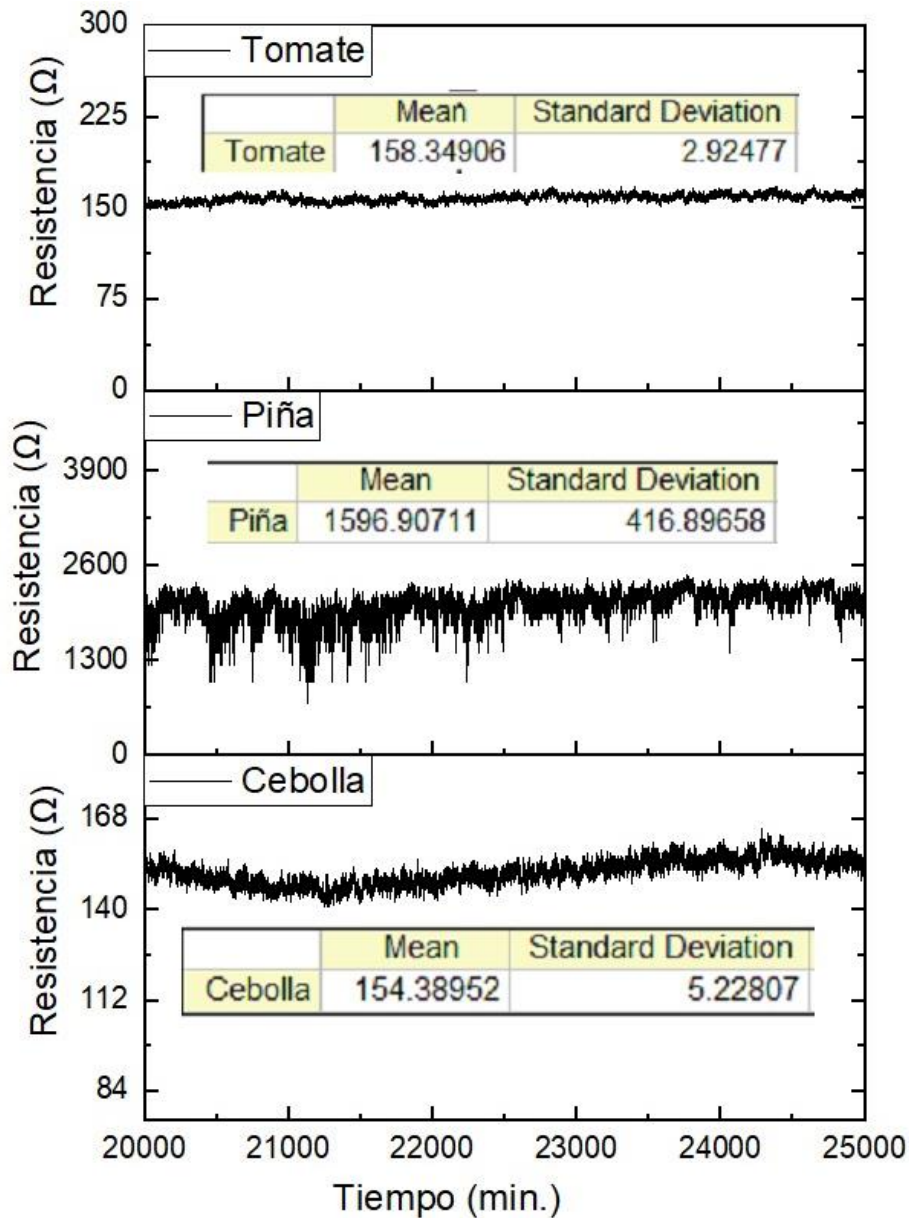


Figura 5. Valores de resistencia de las CCMs

En la *Figura 5* se muestra los valores de resistencia interna de las CCMs, como se puede observar la CCMs con sustratos de Cebolla muestra una menor resistencia con un valor promedio de $154.39 \pm 5.23 \Omega$, seguido por las celdas con sustrato de Tomate ($158.35 \pm 2.92 \Omega$); siendo la celda con sustrato de desechos de Piña es la que muestra una mayor resistencia con un valor promedio de $1596.91 \pm 416.90 \Omega$.

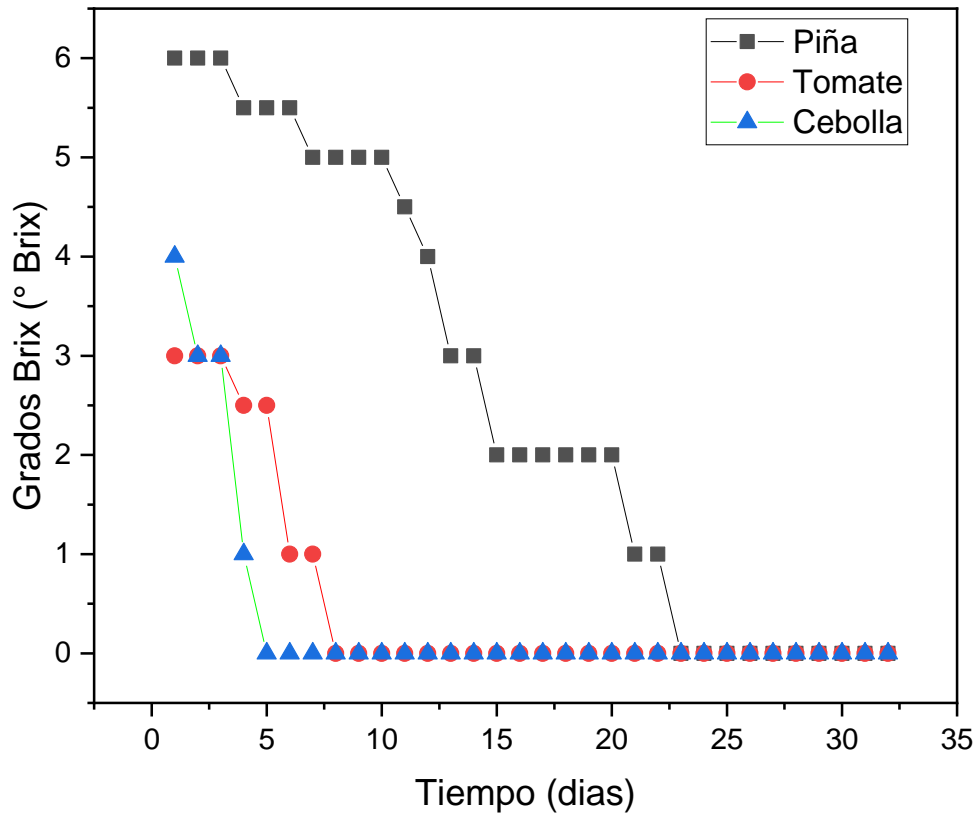


Figura 6. Valores de los grados brix de las CCMs

En la *Figura 6* se observa los valores del monitoreo de las CCMs con los diferentes sustratos, las CCMs con sustrato de piña desciende sus valores totalmente más lentamente en comparación con los otros sustratos desde el día 1 (6 ° Brix) al día 23 (0° Brix), las otras CCMs con sustratos de cebolla y tomate desciende totalmente sus valores en el cuarto y séptimo día respectivamente.

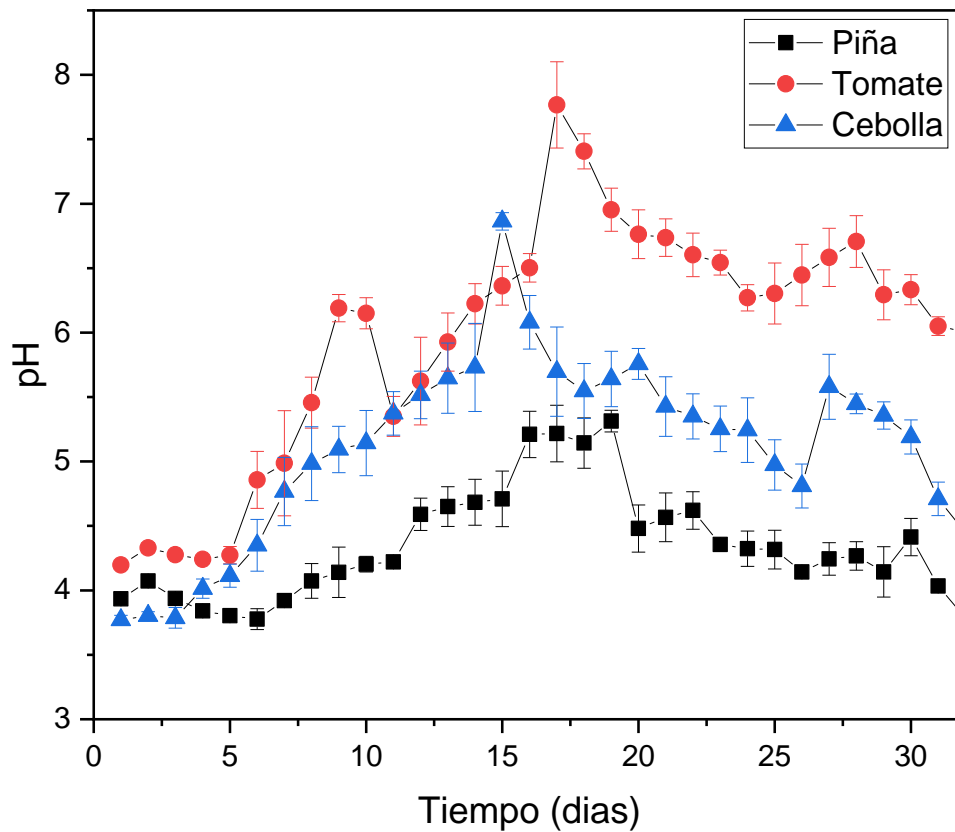


Figura 7. Valores de pH de las CCMs

En la *Figura 7* se observa que los valores de pH de las CCM con sustrato de tomate aumentan hasta ligeramente alcalino (7.767 ± 0.335) en el día 17 para después disminuir hasta 6 ± 0.14 en el último día. Mientras que las CCMs con sustrato de piña muestra los menores valores de pH, siempre manteniéndose en el rango de ligeramente ácido. Por otro lado, las CCMs con sustrato de cebolla llega a un pico de 6.86 ± 0.068 en el día 15 para después disminuir hasta 4.45 ± 0.101 en el último día de monitoreo.

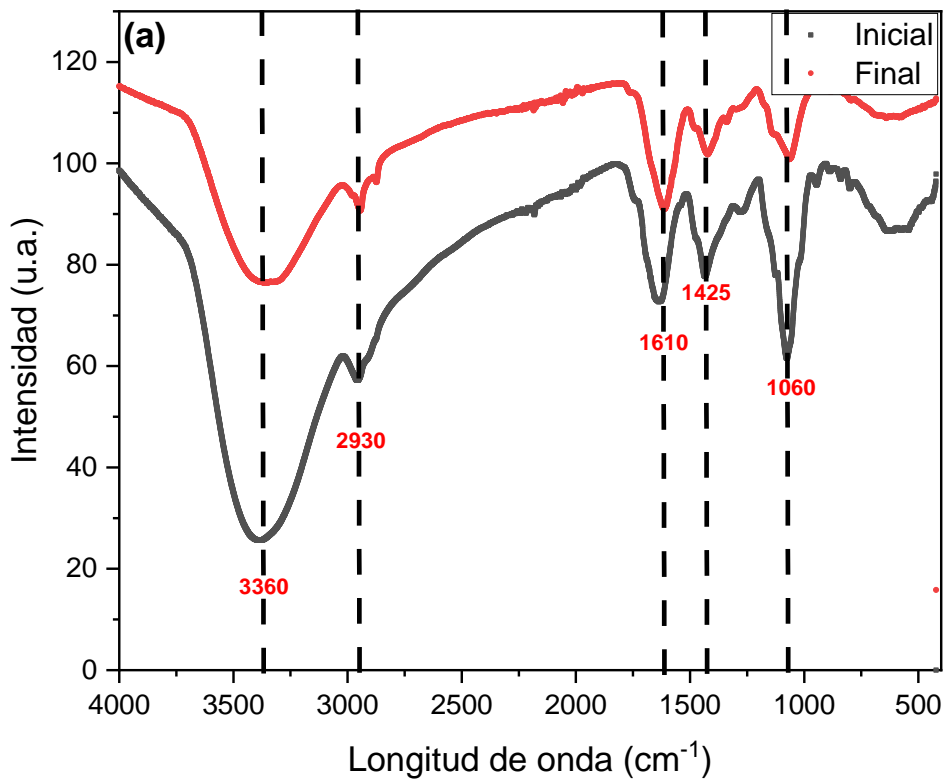


Figura 8. FTIR inicial y final de los sustratos de los desechos de (a) pïña

En la Figura 8, se usó la espectrofotometrïa de infrarrojo utilizando el FT-IR para monitorear cualitativamente la formaci3n de biopelïculas adheridas al ánodo para caracterizar los grupos funcionales, se observó una banda interna de mayor intensidad y anchura la cual se presenta a 3360 cm⁻¹, otra banda a a 2930 cm⁻¹ de estiramiento O-H, a 1610 cm⁻¹ se presenta una banda de estiramiento por el enlace C=O entre otras bandas.

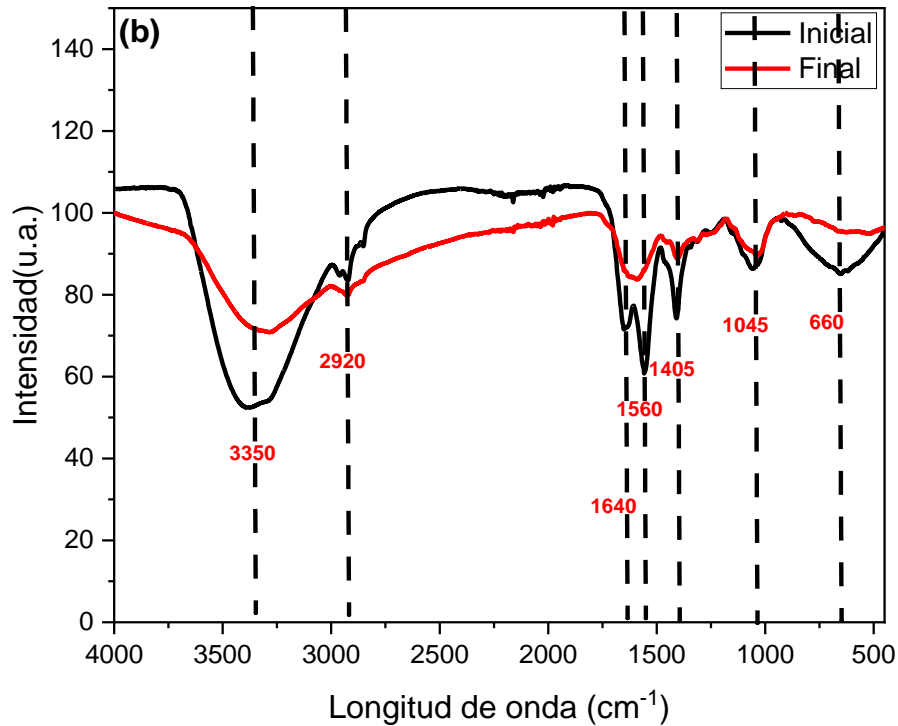


Figura 9. FTIR inicial y final de los sustratos de los desechos de (b) tomate

En la *Figura 9*, se observó una banda interna de mayor intensidad la cual se presenta a 3350 cm^{-1} , en referencia a un estiramiento de un grupo O-H; a 2920 cm^{-1} se presenta una banda CH_2 ; a 1640 cm^{-1} se presenta una banda del grupo carbonilo; a 1560 cm^{-1} también se presenta una cetona; a 1405 cm^{-1} se presenta una banda de estiramiento C=O de ácidos carboxílicos y aldehídos; a 1045 cm^{-1} y a 660 cm^{-1} se presenta una banda de estiramiento C=O.

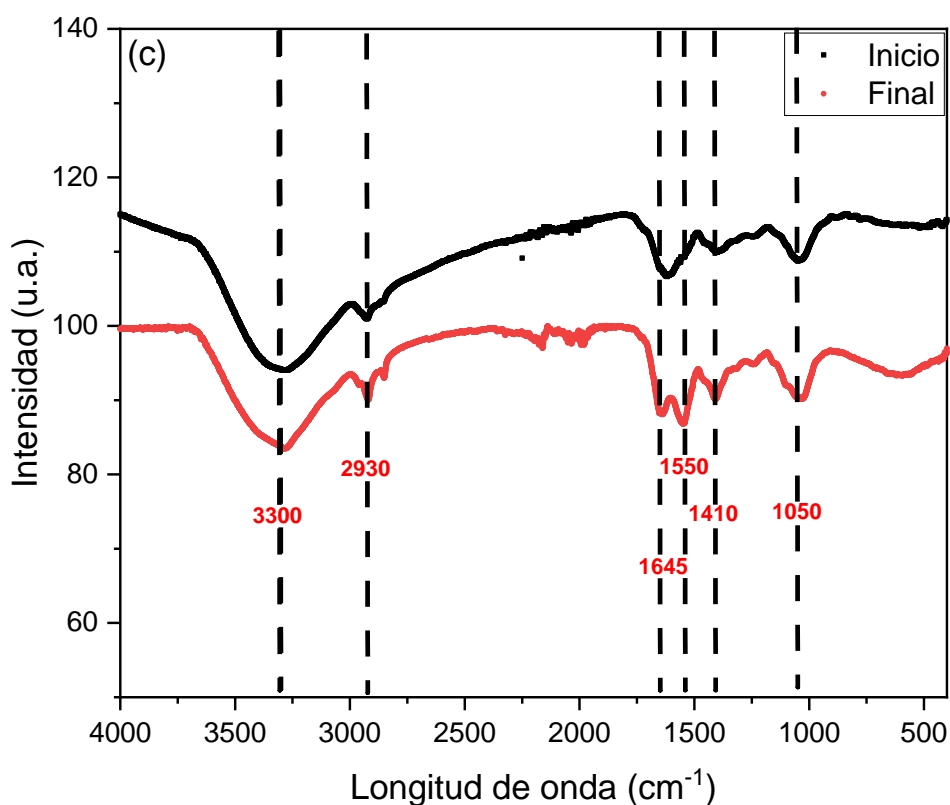


Figura 10. FTIR inicial y final de los sustratos de los desechos de (c) cebolla

En la *Figura 10*, se observó una banda interna de mayor intensidad la cual se presenta a 3300 cm^{-1} , así como también a un estiramiento del enlace N-H, específicamente una amina secundaria $\text{C}=\text{NH}$, por otro lado también se encuentran sales de aminas iónicas del grupo NH_4^+ ; a 2930 cm^{-1} se presenta una banda CH_2 perteneciente al grupo funcional representativo de los alcanos; a 1645 cm^{-1} se presenta una banda; a 1550 cm^{-1} se presenta una cetona perteneciente al grupo funcional representativo carbonilo; a 1410 cm^{-1} se presenta una banda del grupo carbonilo, específicamente un ácido carboxílico de origen debido al estiramiento del carboxilo; a 1050 cm^{-1} se presenta una banda de estiramiento $\text{C}=\text{O}$, perteneciente al grupo éster.

4.3. Microorganismos identificados

A continuación, se muestran los resultados de la identificación microbiológica realizada mediante el Sistema API®, a los tres sustratos empleados en las CCMs para la generación de electricidad.

Tabla 2. Bacterias aisladas del ánodo de las CCMs

Muestra (Ánodo de la CCM)	Microorganismos identificados
Cebolla	<i>Pseudomona aeruginosa</i>
	<i>Acinetobacter iwoffii</i>
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
Tomate	<i>Proteus penneri</i>
	<i>Proteus hauseri</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Levaduras aisladas del ánodo de las CCMs

Muestra (Ánodo de la CCM)	Microorganismos identificados
Cebolla	<i>Candida lipolytica</i>
Tomate	<i>Candida lipolytica</i>
Piña	<i>Candida pelliculosa</i>

Fuente: elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en este estudio en cuanto a los parámetros fisicoquímicos de cada jugo (Tabla 1) mostraron que la cebolla contenía mayor cantidad de sólidos solubles totales 6.29 %, seguido del tomate con 4.20 % y la piña con 2.10 %, en tal sentido es importante mencionar que este parámetro es compuesto por azúcares, ácidos y otros compuestos que forman parte del jugo, destacando entre los más abundantes los azúcares (Cazar, 2016), una fuente de energía para los microorganismos especialmente bacterias (Monahan *et al.*, 2014) las cuales son un factor importante en la generación de electricidad (Clark y Pazdernik, 2016). Asimismo, se determinó los cationes [K] en donde el tomate presentó mayor cantidad 2940 ppm, seguido de la piña y tomate. También se determinó la conductividad en donde la cebolla presentó un valor más alto 194 ,mS/cm, seguido de la piña y tomate, en tal sentido una baja conductividad resulta en una alta resistencia limitando la corriente que circula en el sistema (Joo *et al.*, 2010,). Por último, se obtuvo un pH ácido tanto en la piña, tomate y cebolla.

Asimismo se determinaron otros parámetros como el voltaje en donde el sustrato piña generó los valores más altos durante los primeros 2 días en comparación al sustrato tomate y cebolla como se apreció en la *Figura 1*; esta misma tendencia se observó en la *Figura 2* en donde el sustrato piña produjo un mayor voltaje (0.99 ± 0.036 V), estos valores se mantuvieron constantes; en contraste con el sustrato tomate y cebolla los cuales presentaron un menor voltaje y una tendencia a disminuir de sus valores. Estos resultados se atribuyen a la actividad de la microbiota sobre la superficie del ánodo, cuya influencia fue descrita por Khan *et al.* (2017). En tal sentido, Waheed *et al.* (2016) demostró que el tamaño de las partículas influyen en la velocidad de la hidrólisis, limitando la generación de voltaje máximo. Dentro de este contexto cabe resaltar que resultados similares fueron obtenidos por Ihesinachi *et al.* (2020) donde a partir de la utilización del sustrato piña se generó 0.8 V durante los primeros días sin embargo en dicho estudio se observó una tendencia a la disminución de la producción de voltaje, por otra parte, Priya and Setty (2019) generó un V_p de 0.4 V en el séptimo día a partir de la utilización de jugo de manzana en la cámara

anódica; cabe mencionar que los valores obtenidos en dicho estudio no son mayores a los encontrados en esta investigación.

Por otro lado, los valores de intensidad de corriente generados en las CCMs durante el tiempo de monitoreo como se apreció en la *Figura 3*, el sustrato piña presentó un pico mayor de corriente 4.96 mA en comparación con el sustrato tomate el cual generó 3.84 mA, al igual que el sustrato cebolla que produjo menor corriente. Estos valores son regidos por los microorganismos fermentativos que convierten al sustrato (combustible fermentado) como la glucosa en ácidos orgánicos de cadena pequeña, hidrógeno y dióxido de carbono; logrando generar electricidad y formar al mismo tiempo una interacción de los compuestos reducidos que se producen en condiciones redox, los cuales son producidos durante la fermentación o posiblemente en alguna transferencia directa de electrones entre los microorganismos y la superficie del ánodo (Takahashi *et al.*, 2016). Por otra parte, los valores de intensidad de corriente en la *Figura 3*, mostraron un descenso durante los últimos días, lo cual se debería a la difusión de oxígeno del cátodo al ánodo debido a la falta de una membrana entre ellos (Kakarla *et al.*, 2016). Asimismo, se ha comprobado que el tipo de sustrato afecta a las bacterias (microorganismos) en el ánodo los cuales en última instancia influyen en la corriente generada (Zhang *et al.*, 2011).

De igual modo se monitorearon los valores de conductividad mostrados en la *Figura 4*, en donde el sustrato cebolla inicialmente generó una mayor conductividad (135 ± 4.359 mS/cm), sin embargo, durante el transcurso del tiempo dichos valores disminuyeron, al igual que los valores de conductividad del sustrato tomate, por otra parte, el sustrato piña mostró valores de conductividad que disminuyeron ligeramente en el tiempo. Es así que en general estos resultados presentan una tendencia a disminuir, ello se relaciona con los valores de resistencia mostrados en la *Figura 5*, en donde la resistencia tanto para el sustrato piña, cebolla y tomate tiende a subir. Este fenómeno fue observado por Joo *et al.* (2010) donde la baja conductividad resultó en altas resistencias, en tal sentido se emplea materiales que posean poca conductividad para la elaboración de las celdas, ya que de acuerdo a lo reportado por Cuevas y Garcia (2020) se evita la pérdida de electrones a través del material de la celda

hacia el exterior, por lo que el flujo de energía eléctrica generada por las bacterias se puede realizar por los electrodos de la CCM.

También, se monitorearon los valores de resistencia expuestos en la *Figura 5*, donde se observó que las CCMs con sustratos cebolla generan una menor resistencia con un valor promedio de $154.39 \pm 5.23 \Omega$, seguido por las celdas con sustrato tomate ($158.35 \pm 2.92 \Omega$); siendo la celda con sustrato piña la que muestra una mayor resistencia con un valor promedio de $1596.91 \pm 416.90 \Omega$. Estos resultados presentan una relación directa con la generación de voltaje observado en la *Figura 2* donde en el caso del sustrato piña los valores en un principio tienden a subir hasta un punto máximo y posteriormente a partir del día 16 estos valores tienden a disminuir, mientras que como se observa en la *Figura 5*, en un principio los valores de resistencia se mantienen para seguir una tendencia a disminuir. Cabe mencionar que la resistencia es uno de los parámetros que pueden influir en la eficiencia de una CCM (Revelo, Hurtado y Ruiz, 2013).

De igual manera, se monitorearon los °Brix mostrados en la *Figura 6* en donde los °Brix del sustrato piña, presentaron valores iniciales mucho más elevados, los cuales descendieron progresivamente en comparación a los valores del sustrato tomate y cebolla, los cuales descendieron totalmente en el cuarto y séptimo día respectivamente; ello guarda relación con la generación de voltaje *Figura 2*, ya que como se apreció en dichas figuras la piña presentó un mejor rendimiento durante el monitoreo, lo cual se atribuye al contenido de azúcares reductores presentes en esta fruta (Avila *et al.*, 2012), como la glucosa empleada como fuente de carbono para generar energía (Rodrigues, 2021), por los microorganismos durante su actividad metabólica.

En lo que concierne al pH en las CCMs, como se observó en la *Figura 7* los valores del sustrato piña se mantuvieron constantes en el rango de pH ácido durante el monitoreo, mientras que el sustrato cebolla mantuvo un pH ácido a ligeramente alcalino, al igual que el tomate que presentó una variación entre un pH ácido a alcalino. Se ha demostrado que dichos gradientes de pH inciden en el desempeño eléctrico de las CCMs (Huang *et al.*, 2011); debido a la transferencia de electrones y protones dentro de las mismas; es así que en las

reacciones del ánodo se producen protones debido a la oxidación de los sustratos generando la acidificación, lo cual por consiguiente disminuye el pH (Huang *et al.*, 2011), mientras que en las reacciones del cátodo se consumen protones generándose la reducción por lo que se produce la alcalinización, aumentando el pH, a ello se atribuye la variación de los valores del pH durante el transcurso del tiempo. En tal sentido cabe mencionar que pH alto inhibe el crecimiento de metanógenos que indirectamente mejoran el desempeño de la celda (Nava y Castillo, 2018), es así que según lo observado la piña presenta un pH ácido (Upadhyay *et al.*, 2013), siguiendo estos valores una tendencia estable durante el monitoreo, lo cual favorece a la generación de electricidad.

Por otro lado, se realizó un FTIR (espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier) para monitorear cualitativamente la formación de biopelículas adheridas al ánodo con el fin de caracterizar los grupos funcionales presentes en las CCM con el sustrato piña mostrados en la *Figura 8* en donde se observó una banda interna de alta intensidad y anchura presentada a 3360 cm^{-1} que se atribuye a las vibraciones de estiramiento axial O – H y N – H de grupos funcionales hidroxilo y amina a (Kumar y col., 2006); a 2930 cm^{-1} también se presentó una banda de estiramiento O-H; a 1610 cm^{-1} se presenta una banda de estiramiento por el enlace C=O del grupo carbonilo, lo que indica señales pequeñas en alifáticos, más intensas y finas en aromáticos siendo su origen la torsión de un carbonilo; asimismo en 1425 cm^{-1} se presentó una banda de estiramiento por el enlace C-O, finalmente a 1060 cm^{-1} se presentó una banda de estiramiento por el enlace C-O (Li *et al.*, 2015).

Asimismo, en las CCM con el sustrato tomate mostrado en la *Figura 9* se observó una banda interna de mayor intensidad ubicada a 3350 cm^{-1} , en referencia a un estiramiento de los grupos hidroxilos -OH específicamente un alcohol en estado polimérico, a 2920 cm^{-1} se presentó una banda CH_2 perteneciente al grupo funcional representativo de los alcanos; a 1640 cm^{-1} se presentó una banda del grupo carbonilo, específicamente una cetona de origen debido al estiramiento del carbonilo; a 1560 cm^{-1} también se presentó una cetona; a 1405 cm^{-1} se presentó una banda de estiramiento C=O de ácidos carboxílicos y aldehídos; a 1045 cm^{-1} y a 660 cm^{-1} se presentó una banda de estiramiento C=O (Li *et al.* 2015).

De igual modo, se realizó un FTIR en las CCM con el sustrato cebolla mostrado en la *Figura 10* donde se observó una banda interna de mayor intensidad la cual se presentó a 3300 cm^{-1} , en referencia a un estiramiento del enlace O-H, específicamente un alcohol en estado polimérico de forma ancha, así como también a un estiramiento del enlace N-H, específicamente una amina secundaria C=NH, por otro lado también se encentraron sales de aminas iónicas del grupo NH_4^+ ; a 2930 cm^{-1} se presentó una banda CH_2 perteneciente al grupo funcional representativo de los alcanos; a 1550 cm^{-1} se presentó una cetona perteneciente al grupo funcional representativo carbonilo; a 1410 cm^{-1} se presentó una banda del grupo carbonilo, específicamente un ácido carboxílico de origen debido al estiramiento del carboxilo; a 1050 cm^{-1} se presentó una banda de estiramiento C=O, perteneciente al grupo éster (Li *et al.* 2015). Los resultados del análisis FT-IR realizados a los sustratos de piña, tomate y cebolla demostraron que las proteínas amida y los grupos carboxílico podían eliminarse fácilmente, mientras que las sustancias aromáticas y los grupos carbonilos eran resistentes a la degradación de los microorganismos dentro de las CCMs, estos resultados son similares a los obtenidos por Li *et al.* (2016), donde al igual que este estudio realizaron un análisis espectroscópico FT-IR.

Dentro de este contexto cabe resaltar que la generación de corriente eléctrica puede atribuirse a los microorganismos fermentadores que realizan la conversión del sustrato, por ejemplo azúcares como la glucosa en ácidos orgánicos de cadena corta, hidrógeno y dióxido de carbono, es así que la electricidad se genera al interactuar con los compuestos reducidos producidos en condiciones redox durante la fermentación o por transferencia directa de electrones entre los microorganismos y la superficie del ánodo (Ritcher *et al.*, 2008). Cabe mencionar dentro de las CCMs se emplearon electrodos de zinc (ánodo) y cobre (cátodo), los cuales influyeron mínimamente en la generación de electricidad ya que no se emplearon disoluciones del electrolito (sulfato de zinc y sulfato de cobre), como en el caso de una pila de Daniell en la cual se emplean estas disoluciones para generar mayor electricidad (Castaños, 2015), asimismo el diseño empleado en esta investigación es una celda de combustible microbiana de una sola cámara la cual dentro de sus estructura no contempla una membrana de intercambio de protones. En su estudio Rojas *et al.* (2020)

mostraron que el Cu puede ser tóxico para ciertos microorganismos, a pesar de que este sea un material conductor para transferir electrones al cátodo de Zn, ello conlleva a una disminución de los valores de corriente durante los últimos días de monitoreo, resultados similares obtenidos en esta investigación.

En base a ello la generación de electricidad se atribuye principalmente a los componentes de los sustratos de piña, tomate y cebolla contribuyen a la transferencia de electrones, así como también a la actividad metabólica de los microorganismos (Muhammad, Zaib and Rida, 2020) los cuales en este estudio fueron identificados del ánodo de las CCMs.

Es así que aislaron bacterias del ánodo de las CCMs identificados mediante el sistema API® (Tabla 2), a partir de lo cual en el sustrato cebolla se encontró la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, una especie de bacteria Gram-negativa, la cual según estudios autoproduce mediadores endógenos, como la piocianina, que pueden transportar electrones al ánodo (Ali *et al.*, 2015), asimismo se ha descubierto que los electrógenos transfieren los electrones directamente al ánodo a través de proteínas transportadoras de la membrana externa, como el "citocromo c" o a través de apéndices de la membrana llamados "nanocables" (Sanchez *et al.*, 2015), asimismo dentro de este sustrato se identificaron las bacterias *Acinetobacter iwoffii* y *Stenotrophomonas maltophilia*. Por otra parte, en el sustrato tomate se encontró la bacteria *Proteus penneri* y *Proteus hauseri*, los cuales pueden generar electricidades a través de medidores, en tal sentido los tomates son una rica fuente de mediadores redox autóctonos, carbono y electrones; el licopeno es uno de estos mediadores que favorece la generación de electricidad (Fogg *et al.*, 2015). Asimismo, cabe mencionar que el tomate contiene riboflavina y tiamina, compuestos que pueden servir como mediadores de la transferencia de electrones para promover las capacidades respiratorias extracelulares de los exoelectrogenos en las CCMs, esenciales para los procesos bioelectroquímicos (Mbugua *et al.*, 2018).

Asimismo se aislaron las levaduras del ánodo de las CCMs, identificándose en la levadura *Candida lipolytica* tanto en el sustrato tomate y en la cebolla, esta levadura según estudios produce pseudohifas, unas células en ciernes que permanecen adheridas unas a otras, las cuales poseen la capacidad de formar

biopelículas en varios hábitats diferentes, especialmente en presencia de glucosa (Sutherland *et al.*, 2014), una azúcar que se encuentra tanto en el tomate como en la cebolla (Fernández *et al.*, 2018), en tal sentido Sarma *et al.* (2014) en su investigación reveló que la formación de biopelículas contribuye el aumento de la transferencia de electrones de las células de levadura a la superficie del electrodo. Por otro lado, en el sustrato piña se encontró la levadura *Candida pelliculosa*, la cual posee la capacidad de crecer en condiciones extremas de estrés ambiental, como por ejemplo en condiciones anaeróbicas y un pH bajo (Chniti *et al.*, 2017) como fue el caso del pH ácido del sustrato piña *Figura 23*, por lo cual esta levadura presenta una alta adaptabilidad a diversos medios a diferencia de las otras levaduras presentes en el sustrato de cebolla y tomate.

VI. CONCLUSIONES

1. Los residuos de cebolla contienen mayor cantidad de sólidos solubles totales 6.29 %, destacando en este parámetro principalmente los azúcares una fuente de energía para los microorganismos, esenciales en las CCM. Asimismo, los residuos de tomate contienen más cationes [K] 2940 ppm en comparación a los otros residuos, en cuanto a la conductividad la cebolla presenta un valor más alto 194 mS/cm, seguido de la piña y el tomate, en tal sentido una baja conductividad resulta en una alta resistencia limitando la corriente que circula en el sistema.
2. El sustrato piña presenta un mejor desempeño en cuanto a la generación de voltaje (0.99 ± 0.036 V), intensidad de corriente (4.96 ± 0.548 mA) y grados brix (6) durante el tiempo de monitoreo de las CCMs, mientras que la cebolla presenta valores más bajos, por otra parte, en cuanto a la conductividad el sustrato piña disminuye paulatinamente sus valores a comparación de los otros sustratos, asimismo en la resistencia el sustrato cebolla presenta una menor resistencia con un valor promedio de 154.39 ± 5.23 Ω , seguido por el sustrato tomate y cebolla, por último en cuanto al pH la piña mantiene un rango entre 3.5 a 5.5 (pH ácido), en comparación al sustrato tomate y cebolla los cuales presentan una alta variación en los valores de pH lo cual incide en la generación de electricidad.
3. En las celdas de combustible microbianas se encuentran las bacterias *Proteus penneri*, *Proteus hauseri*, *Pseudomona aeruginosa*, *Acinetobacter iwoffii*, *Stenotrophomonas maltophilia* y las levaduras *Candida lipolytica* y *Candida pelliculosa* los cuales fueron identificados en el electrodo anódico correspondiente a los residuos de piña, tomate y cebolla respectivamente.

4. Esta investigación brinda una alternativa nueva de generar corriente eléctrica eco amigable con el medio ambiente a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos como la piña, tomate y cebolla los cuales influyen en el rendimiento de las celdas de combustible microbianas debido a la actividad metabólica de los microorganismos presentes en estos sustratos y a los componentes de los mismos que favorecen las reacciones electroquímicas.

VII. RECOMENDACIONES

- Es necesario identificar molecularmente a los microorganismos presentes en las CCMs, así como también realizar una caracterización fisicoquímica de los residuos a utilizar en las celdas de combustible microbianas para conocer sus componentes y poder analizar de manera más detallada el rol de estos factores en el rendimiento de las celdas de combustible microbianas para la generación de electricidad.
- Con el fin de obtener mejores resultados es conveniente llevar el diseño de la celda de combustible microbiana de una sola cámara a mayor escala para observar su comportamiento y eficacia, al variar el tamaño del diámetro de los electrodos, especies de microorganismos y configuraciones de las CCMs.
- Para futuras investigaciones se pueden llevar a cabo el armado de varias celdas de combustible microbianas en paralelo con el propósito de generar mayor electricidad la cual puede ser almacenada en baterías, para su posterior aplicación en zonas rurales donde el acceso la energía es limitada.

REFERENCIAS

- AL-RUMAIHI, A., MCKAY, G., MACKEY, H. and AL-ANSARI, T. Environmental impact assessment of food waste management using two composting techniques. *Sustainability* [online]. February 2020, vol.12, n.º 4. [Accessed: September 9, 2020]. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/4/1595/htm>
ISSN: 20711050
- ALI, J., SOHAIL, A., WANG, L., HAIDER, M., MULK, S., PAN, G. Electro-Microbiology as a Promising Approach Towards Renewable Energy and Environmental Sustainability. *Energies* [online]. 2018, vol. 11, n.º 7. [Accessed: 16 July, 2021]. Available at: <https://ideas.repec.org/a/gam/jeners/v11y2018i7p1822-d157538.html>
- ANAND, K., KUMAR, S., SAKET, R., RAJENDRAN, R. Technological aspects of microbial fuel cells and soil based green energy conversion system. *GMSARN International Journal* [online]. January 2019. [Accessed: September 24, 2020]. Available at: <https://www.mendeley.com/catalogue/9804260f-7f76-304f-91dc-e15da75b1ac7/>
ISSN: 19059094
- ANAND, R. and ROHIT, S. Yeast Microbial Fuel Cell: A Novel Approach for the Generation of Bioelectricity by Multi Chamber Method. *Environmental Science and Technology Journal* [online]. January 2018. [Accessed: September 23, 2020]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/334084768_Yeast_Microbial_Fuel_Cell_A_Novel_Approach_for_the_Generation_of_Bioelectricity_by_Multi_Chamber_Method
ISSN: 09747451
- ANKUSH, KHUSHBOO and DUBEY, K. Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts [online]. India: Academic Press, 2019. [Accessed: September 22, 2020]. Chapter 5. Food industry waste biorefineries: future energy, valuable recovery, and waste treatment. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818996-2.00017-X>
ISBN: 9780128189962

ANTONOPOULOU, G., NTAIKOU, I., BEBELIS, S. and LYBERATOS, G. On the evaluation of filtered and pretreated cheese whey as an electron donor in a single chamber microbial fuel cell. *Springer Nature* [online]. February 2020. [Accessed: September 23, 2020]. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13399-020-00653-w>

ARIAS, F. El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica [en línea]. 6.^a ed. Caracas: Editorial Episteme C.A, 2012. [fecha de consulta: 18 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/malc>
ISBN: 9800785299

ASEFI, B., LI, S., MORENO, H., SANCHEZ, V., HU, A., LI, J., CHANG, Y. Characterization of electricity production and microbial community of food waste-fed microbial fuel cells. *Process Safety and Environmental Protection* [online]. May 2019, vol.91 [Accessed: September 22, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.016>
ISSN: 09575820

AVILA, R., PERÉZ, B., HÉRNANDEZ, R., CHIRINOS, M. Contenido de azúcares totales , reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. [en línea]. Venezuela, 2012. [Fecha de consulta 18 de junio del 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90424216002.pdf>

BAENA, G. Metodología de la investigación [En línea]. 3.^a ed. México: Grupo Editorial Patria [fecha de consulta 18 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/dbo8>
ISBN: 9786077447481

CAZAR, I. Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas. Tesis (Licenciado en ciencias químicas). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11453>

CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte [en línea]. Montreal: Eastern Research Group, Inc., 2017 [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www3.cec.org/islandora/fr/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>
ISBN: 9782897002329

CLARK, P. and PAZDERNIK, N. *Biotechnology* [online]. Illinois: Biotechnology, 2016 [Accessed: 13 July, 2021]. Chapter 12. Environmental Biotechnology. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385015-7.00012-0>
ISBN: 9780123850157

COMAN, V., BERNADETTE, T., MITREA, L., MARTĂU, A., SZABO, K., LAVINIA, C. and VODNAR, D. *Advances in Food and Nutrition Research* [online]. United States: Academic Press, 2020 [Accessed: September 22, 2020]. Chapter 5. Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.07.001>
ISBN: 9780128204702

CONCYTEC (Consejo nacional de ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica). Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica - Reglamento RENACYT [en línea]. Perú, 2019. [Fecha de consulta 18 de septiembre del 2020]. Disponible en: http://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento_renacyt_version_final.pdf

CUEVAS, H. y GARCIA, J. Diseño y ejecución de un prototipo de celda de combustible microbiana para el tratamiento de aguas residuales y generación de gas metano a partir de residuos en una vivienda rural promedio en el departamento Boyaca. [en línea]. 2020 [Fecha de consulta: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31504/2020HelmerSilva.pdf?sequence=1>

CHNITI, S., JEMNI, M., BENTAHA, I., SHARIATI, M., KADMI. Y. Kinetic of sugar consumption and ethanol production on very high gravity fermentation from syrup of dates by-products (*Phoenix dactylifera* L.) by using *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida pelliculosa* and *Zygosaccharomyces rouxii*. [online] *Journal of Microbiology*, 2017. [Accessed: June 24, 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04695-8>

DAS, K. *Practices and Perspectives in Sustainable Bioenergy: A Systems Thinking Approach* [online]. India: Springer, 2020 [Accessed: September 24, 2020]. Chapter 9. Microbial Fuel Cells: A Path to Green, Renewable Energy. *ResearchGate*. Available at: <https://n9.cl/olh7x>
ISBN: 9788132239659

DUTTA, K. and KUNDU, P. Progress and Recent Trends in Microbial Fuel Cells. India: *Elsevier*, 2018. [Accessed: September 24, 2020]. Chapter 1. Introduction to Microbial Fuel Cells. Available at: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04695-8>
ISBN: 9780444640178

ESPINOZA, E., 2019. Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. *Revista Conrado* [en línea]. Julio - septiembre 2019, vol. 15, n.º 69. [Fecha de consulta: 19 de noviembre 2020]. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v15n69/1990-8644-rc-15-69-171.pdf>
ISSN: 19908644

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The State of the world - Moving forward on food loss and waste reduction food and agriculture [online]. Rome: Publishing Group (OCCP) in FAO's Office for Corporate Communication, 2019 [Accessed: September 11, 2020]. Available at: <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
ISBN: 9789251317891

FERNÁNDEZ, M., ESPINO, M., GOMEZ, F., SILVA, M. Novel approaches mediated by tailor-made green solvents for the extraction of phenolic compounds from agro-food industrial by-products. *Food Chemistry* [online]. January 2018. vol. 239. [Accessed: 16 July, 2021]. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28873620/>

FOGG, A., GADHAMSHETTY, V., FRANCO, D., WILDER, J., AGAPI, S. and KOMISAR, S. Can a microbial fuel cell resist the oxidation of Tomato pomace? *Journal of Power Sources* [online]. April 2015. vol. 279. [Accessed: 16 July, 2021]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775315000324>

GONAWALA, S. and JARDOSH, H. Organic Waste in Composting: A brief review. *International Journal of Current Engineering and Technology* [online]. February 2018, vol. 8, n.º 1. [Accessed: November 1, 2020]. Available at: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2018/01/Paper836-38.pdf>
E-ISSN: 2277

- GONZALO, D. Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos y de aguas residuales en bioceldas para generar energía eléctrica a nivel de laboratorio – 2018. Tesis (Título profesional de Ingeniera Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018. Disponible en http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21822/Gonzalo_CD.L.pdf?sequence=1
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M. Metodología de la investigación [en línea]. 5.^a ed. México: McGraw-Hill Companies, Inc., 2010. [Fecha de consulta: 26 de octubre del 2020]. Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
ISBN: 9786071502919
- IHESINACHI, K., AZUNDA, B, IGWE, B, AKPAN, B. Electricity Generation from Waste Tomatoes, Banana, Pineapple Fruits and Peels Using Single Chamber Microbial Fuel Cells (SMFC). *Open Access Journal of Waste Management & Xenobiotics Committed to Create Value for researchers* [online]. May 2020, vol.3. [Accessed: September 8, 2020]. Available at <https://medwinpublishers.com/OAJWX/OAJWX16000141.pdf>
- JOO, N., HYUN, K., KYEONG, L., HANG,S. Effects of organic loading rates on the continuous electricity generation from fermented wastewater using a single-chamber microbial fuel cell. *Bioresource Technology* [online]. January 2010, vol. 101, n.º 1. [Accessed: June 25, 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.062>
ISSN:26402718
- KAZA, S., YAO, L., BHADA, P. and VAN, F. What a waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 [online]. Washington: World Bank Publications, 2018 [Accessed: September 14, 2020]. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30317/211329ov.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
ISBN: 9781464813290
- KAKARLA, R. and MIN, B. Sustainable electricity generation and ammonium removal by microbial fuel cell with a microalgae assisted cathode at various environmental conditions. *Bioresource Technology* [online]. July 2019. vol. 284. [Accessed: 16 June, 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.111>

KHAN, I. Greenhouse gas emission accounting approaches in electricity generation systems: A review. *Atmospheric Environment* [online]. March 2019, vol. 211. [Accessed: September 9, 2020]. Available at <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.005>

KHAN, A. and HUSSAIN, M. Conversion of Wastes to Bioelectricity, Bioethanol, and Fertilizer. 2017.. *Water Environment Research* [online]. August 2017. vol. 89, n.º 8. [Accessed: 13 July. 2021]. Available at: [10.2175/106143017X14839994522588](https://doi.org/10.2175/106143017X14839994522588)
ISSN:1352-2310

KUMAR, M. ADHAM, S. PERACE, W. Investigation of Seawater Reverse Osmosis Fouling and Its Relationship To Pretreatment Type, 2019. *ACS Publications* [online]. [Accessed: 16 July, 2021]. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es0512428>

KONDAVEETI, S., LEE, S., PARK, H. and MIN, B. Specific enrichment of different *Geobacter* sp. in anode biofilm by varying interspatial distance of electrodes in air-cathode microbial fuel cell (MFC). *Electrochemical Acta Journal* [online]. January 2020, vol. 331. [Accessed: September 24, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135388>
ISSN: 00134686

KUMAR, R., SINGH, L. and ZULARISAM, A. Waste Biomass Management – A Holistic Approach [online]. *Springer Nature Switzerland*, 2017. [Accessed: September 24, 2020]. Chapter 1. Microbial Fuel Cells: Types and Applications. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-49595-8_16
ISSN: 9783319495958

La energía del futuro es cosa de bacterias. [Artículo corto en un blog]. Barcelona: SOTRES, A., (5 de abril de 2017). [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020]. Recuperado de: <https://comunicarciencia.bsm.upf.edu/?p=6196>

LI, H., TIAN, Y., ZUO, W., ZHANG, J., PAN, X., LI, L., SU, X. Electricity generation from food wastes and characteristics of organic matters in microbial fuel cell. *Bioresource Technology* [online]. January 2016. [Accessed: September 9, 2020]. Available at <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.042>
ISSN: 09608524

LI, J., YANG, W., ZHANG, B., YE, D., ZHU, X. and LIAO, Q. Bioreactors for Microbial Biomass and Energy Conversion [online]. Singapore: Springer Nature, 2018. [Accessed: September 27, 2020]. Chapter 10. Electricity from Microbial Fuel Cells. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7677-0_10
ISBN: 9789811076770

LOGAN, B. and REGAN, J. Microbial fuel cells - Challenges and applications. *Environmental Science and Technology* [online]. September 2006, vol.40, n.º17 [Accessed: December 13, 2020]. Available at: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0627592>
ISSN: 15205851

LOGAN, B., ROSSI, R., RAGAB, A., and SAIKALY, P. Electroactive microorganisms in bioelectrochemical systems. *Nature Reviews Microbiology* [online]. March 2019, n.º1. [Accessed: September 24, 2020]. Available at: https://repository.kaust.edu.sa/bitstream/handle/10754/631553/Manuscript_KAUST%20Repository.pdf;jsessionid=5D03E4E1576A4752894383C01E66A3EE?sequence=1
ISSN: 17401534

LÓPEZ, E., LÓPEZ, J. y SOLÍS, H. La electricidad y la electrónica como base para la electrofisiología y la biofísica de membranas. *Revista Arch Neurocién (Mex)* [en línea]. Octubre-diciembre 2016, vol.21, n.º 4. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2016/ane164c.pdf>

MAHATA, C., RAY, S. and DAS, D. Optimization of dark fermentative hydrogen production from organic wastes using acidogenic mixed consortia. *Energy Conversion and Management* [online]. September 2020, vol.219. [Accessed: September 11, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113047>
ISSN: 01968904

MANZANO, D. y CARVAJAL, V. Energía alternativa producida por microorganismos, un desafío para la generación de energía eléctrica y remoción de la materia orgánica [en línea]. Enero 2019, n.º 1. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/2952/ENERG%CDA%20ALTERNATIVA%20PRODUCIDA.pdf;jsessionid=9EC60F70D396D5108021D273D9C0FC49?sequence=3>

MBACHU C. and OKEKE, C. *Frontiers in Environmental Microbiology Journal*. Application of Different Organic Wastes for Electricity Generation by Means of Double Chambered Microbial Fuel Cell. *Frontiers in Environmental Microbiology* [online]. January 2018. [Accessed: September 25, 2020]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/330245722_Application_of_Different_Organic_Wastes_for_Electricity_Generation_by_Means_of_Double_Chambered_Microbial_Fuel_Cell_Technology
ISSN: 24698067

MBUGUA, J., MBUI, D., MWANIKI, M. and MWAURA F. Electricity Generation by Clostridium spp. and Proteus Vulgaris from Rotten Tomatoes in a Double Chamber Microbial Fuel Cell. *International Journal of Research Studies in Microbiology and Biotechnology (IJRSMB)* [online]. May 2018. vol. 4, n.º 4. [Accessed: October 11, 2020]. Available at: <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijrsmb/v4-i4/5.pdf>
ISSN: 24549428

MINAM (Ministerio del Ambiente). Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal - Taller: Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales [en línea]. Perú, 2019. [Fecha de consulta 18 de septiembre del 2020]. Disponible en: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/migl/municipalidades_pm_pi/meta3C_2019_implementar_SI.pdf

MUHAMMAD, D., ZAIB, H. AND RIDA, K. Bioelectricity generation from waste potatoes using single chambered microbial fuel cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [online]. July 2020 [Accessed: 14 July 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1797944>

MONAHAN, L., HAJDUK, I., BLABER, S., CHARLES, I., HARRY, E. Coordinating Bacterial Cell Division with Nutrient Availability: a Role for Glycolysis. *ASM Journals* [online]. May 2014, vol. 5, n.º 3 [Accessed: June 25, 2021]. Available at: [10.1128/mBio.00935-14](https://doi.org/10.1128/mBio.00935-14)

NASTRO, A., JANNELLI, N., MINUTILLO, M., GUIDA, M., TRIFUOGGI, M., ANDREASSI, L., FACCI, L., KRASSTEV, K. and FALCUCCI, G. Performance Evaluation of Microbial Fuel Cells Fed by Solid Organic Waste: Parametric Comparison between Three Generations. *Energy Procedia* [online]. January 2016. [Accessed: September 25, 2020]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/312931800_Performance_Evaluation_of_Microbial_Fuel_Cells_Fed_by_Solid_Organic_Waste_Parametric_Comparison_between_Three_Generations
ISSN: 18766102

NAVA, P. and CASTILLO, M. Celdas de combustible microbianas como alternativa para atender los retos de la sostenibilidad: Agua, energía y contaminación. *Revista de Ingeniería Innovativa* [en línea]. Marzo 2018, vol. 13, n.º 38. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Innovativa/vol2num5/Revista_de_Ingenieria_Innovativa_V2_N5_3.pdf

ORIHUELA, R. y CAMACHO, J. Influencia del tiempo y del estiércol de gallina en la concentración de nitrógeno del compostaje obtenido por los residuos sólidos orgánicos del mercado Hermelinda, Trujillo. Tesis (Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2019. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32450>

PARRA, J. y MADRIZ, J. Presupuesto como instrumento de control financiero en pequeñas empresas de estructura familiar. *Revista Científica Electrónica de Ciencias Gerenciales* [en línea]. Noviembre 2017, vol. 13, n.º 38. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2012]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n1/a01v13n01.pdf>
ISSN: 18561810

PIYARUT, M., WILAIORN, P. and PRAYAK, J. Applied Mechanics and Materials Journal. Electricity Production from Organic Wastes Fermentation by Microbial Fuel Cell Process [online]. August 2016, vol. 855. [Accessed: September 25, 2020]. Available at: <https://www.scientific.net/AMM.855.91.pdf>
ISSN:16627482

- PRASIDHA, W. and MAJID, A. Electricity Production from Food Waste Leachate (Fruit and Vegetable Waste) using Double Chamber Microbial Fuel Cell: Comparison between Non - aerated and Aerated Configuration. [online]. November 2012, vol 23, n.º 3. [Accessed:16 June, 2021]. Available at: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/28067/17947>
ISSN: 09648305
- PRIYA, A. and SETTY, Y. Cashew apple juice as substrate for microbial fuel cell. [online]. June 2019, vol 246, n.º 15. [Accessed:16 June, 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.100>
- PUSHKAR, P., PRAKASH, O., MUNGRAY, A., KUMAR, S., CHONGDAR, S. and MUNGRAY, A. Evaluation of the Effect of Position and Configuration of Electrodes in Benthic Microbial Fuel Cell. *Fuel Cells from Fundamentals to Systems Journal* [online]. June 2018, vol.18, n.º 4. [accessed: September 28, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1002/fuce.201700226>
ISSN: 16156854
- RAKSASAT, R., JUN, L., KIATKITTIPONG, W., KIATKITTIPONG, K., YEEK, H., MAN, L., FONT, C., ZAID, F. and CHENG, C. A review of organic waste enrichment for inducing palatability of black soldier fly larvae: Wastes to valuable resources. *Environmental Pollution* [online]. December 2020. vol. 267. [Accessed: September 12, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115488>
ISSN: 02697491
- REVELO, D., HURTADO, N. y RUIZ, J. Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Información tecnológica* [en línea]. 2013. vol. 24, n.º 6. [Fecha de consulta: 1 de junio del 2020]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600004
- RICHTER, H., MCCARTHY, K., NEVIN, K., JOHNSON, J., ROTELLO, V. and LOVLEY, D. Electricity Generation by *Geobacter sulfurreducens* Attached to Gold Electrodes. *Langmuir* [online]. February 2008, vol. 24, n.º 8. [Accessed 16 June 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1021/la703469y>

ROJAS, S., DE LA CRUZ, M., BENITES, S., AGUIRRE, G., SALVADOR, A., SILVA, F. Generation of bioelectricity from fruit waste. *Energy Reports*. [online]. October 2020 [Accessed: 14 July 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.025>

SANCHEZ, D., JACOBS, D., GREGORY, K., HUANG, J., HU, Y., VIDIC, R., YUN, M. Changes in Carbon Electrode Morphology Affect Microbial Fuel Cell Performance with *Shewanella oneidensis* MR-1. *Energies* [online]. 4 March 2015. vol. 8. [Accessed: 16 July, 2021]. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/8/3/1817>

SARMA, H., BHATTACHARYYA, P., JADHAV, D., PAWAR, P., THAKARE, M., PANDIT, S., MATHURIYA, A., PRASAD, R., 2021. Fungal-mediated electrochemical system: Prospects, applications and challenges. *Current Research in Microbial Sciences* [online]. December 2021. vol. 2, n.º 2. [Accessed: 16 July, 2021]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666517421000225>

SHANMUGANATHAN, P., RAJASULOCHANA, P. and RAMACHANDRA, M. Factors affecting the performance of microbial fuel cells. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* [online]. August 2018 [Accessed: September 24, 2020]. Available at: <https://www.mendeley.com/catalogue/8156ed88-06f0-39f2-bbee-bdd10de4c1f6/>
ISSN: 09766359

SHARMA, B., VAISH, B., MAHAJAN, M., KUMAR, U., SINGH, P., PRATAP, R. Recycling of organic wastes in agriculture: An environmental perspective. *International Journal of Environmental Research* [online]. March 2019, vol.13, n.º 6. [Accessed: October 10, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00175-y>
ISSN: 20082304

SHRESTHA, N., FOGG, A., WILDER, J., FRANCO, D., KOMISAR, S. and GADHAMSHETTY, V. Electricity generation from defective tomatoes. *Bioelectrochemistry* [online]. December 2016, vol.112. [Accessed: September 29, 2020] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2016.07.005>
ISSN: 15675394

SHUMING, S., HONG, H., DONG, X. y WEN, X. Water and energy recovery: The future of wastewater in China. *Science of The Total Environment Journal* [online]. October 2018, vol. 637 [Accessed: September 24, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.124>
ISSN: 00489697

SLATE, A., WHITEHEAD, K., BROWNSON, D. and BANKS, C. Microbial fuel cells: An overview of current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. March 2019, vol. 101 [Accessed: September 18, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.044>
ISSN: 13640321

SULLCARRAY, S. Metodología de la investigación. [En línea]. Perú: Fondo Editorial de la Universidad Continental, 2019 [Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2020]. Disponible en: https://issuu.com/ucvirtual/docs/manual_metodologia_de_la_investigacion
ISBN: 9786124196102

SUTHERLAND, J., CORNELISON, C. and CROW, S. CANDIDA | *Yarrowia lipolytica* (*Candida lipolytica*). [online]. 2014. [Accessed: 16 July, 2021]. Available from: [https://www.semanticscholar.org/paper/CANDIDA-%7C-Yarrowia-lipolytica-\(-Candida-lipolytica-Sutherland-Cornelison/eec03832b7dd13ff7484e94c9a7214da255cb12c](https://www.semanticscholar.org/paper/CANDIDA-%7C-Yarrowia-lipolytica-(-Candida-lipolytica-Sutherland-Cornelison/eec03832b7dd13ff7484e94c9a7214da255cb12c)

TAMAYO, J. SALVADOR, J. VÁSQUEZ, A., CARLO, V. La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país [en línea]. Lima: Osinergmin, 2016. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf
ISBN: 9786124735004

TAKAHASHI, S., MIYAHARA, M., KOUZUMA, A., WATANABE, K., 2016. Electricity generation from rice bran in microbial fuel cells. *Bioresources and Bioprocessing* [online]. 23 November 2016. vol. 3, n.º 1. [Accessed 16 July 2021]. Available at: [10.1186/s40643-016-0129-1](https://doi.org/10.1186/s40643-016-0129-1)

- UPADHYAY, A., LAMA, J. and TAWATA, S. Utilization of Pineapple Waste: A Review. *Journal of Food Science and Technology Nepal* [online]. 29 June 2013. [Accessed: 16 July, 2021]. Available at: <https://www.nepjol.info/index.php/JFSTN/article/view/8255>
- VYATCHINA, O., STOM, D., GOEL, S. and XIE, B. Biocathode of microbial fuel cells based on nitrate-reducing strains of *Pseudomonas aeruginosa*. *Open Access proceedings Journal of Physics: Conference Series* [online]. January 2020. [Accessed: September 24, 2020]. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/408/1/012084/pdf>
ISSN: 17426596
- WAHEED, M., MOHSIN, N., JISEON, J., DAE, L. Conversion of orange peel waste biomass to bioelectricity using a mediator-less microbial fuel cell. *Science of The Total Environment* [online]. March 2016. vol. 547. [Accessed 16 June 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.004>
- WANG, Chin, CHEN, Wei-Jung and HUANG, Ruei-Yao, 2010. Influence of growth curve phase on electricity performance of microbial fuel cell by *Escherichia coli*. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. July 2010. vol. 35, n.º 13. [Accessed 16 July 2021]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319910001096>
- XIN, X., MA, Y. and LIU, Y. Electric energy production from food waste: Microbial fuel cells versus anaerobic digestion. *Bioresource Technology* [online]. January 2018. [Accessed: October 12, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.099>
ISSN: 09608524
- YIN, W., WANG, Y., LIU, L. and HE, J. Biofilms: The Microbial “Protective Clothing” in Extreme Environments. *Journal of Molecular Sciences* [online]. July 2019. [Accessed: September 24, 2020]. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms20143423>
ISSN: 14220067

ZHANG, Y., MIN, B., HUANG, L., ANGELIDAKI, I. Electricity generation and microbial community response to substrate changes in microbial fuel cell. *Bioresource Technology* [online]. January 2011. vol. 102, n.º 2. [Accessed 16 June 2021]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.044>

ANEXOS

Tabla 4. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Residuos orgánicos	Los residuos orgánicos son residuos fácilmente biodegradables que se producen a partir de diversas fuentes, como residuos agrícolas, residuos de mercado, residuos de cocina, residuos urbanos. (Gonawala y Jardosh, 2018, p.1).	Los residuos de piña, tomate y cebolla acondicionados para ser utilizados en las celdas de combustible microbianas para la generación de corriente eléctrica.	Parámetros físico - químicos de los residuos	Sólidos solubles totales (SST)	Razón
				Cationes [K]	
				Conductividad	
			Tipo de residuo	pH	Intervalo
				Residuos de piña	Razón
				Residuos de tomate	
Residuos de cebolla					
Variable dependiente: Generación de corriente eléctrica	La corriente eléctrica es el flujo de carga a través de un conductor para definirla se observa la cantidad de carga que pasa por un conductor en un segundo (López, López y Solís, 2016, p. 5).	La corriente eléctrica generada producto de las reacciones electroquímicas en las celdas de combustible microbianas.	Parámetros eléctricos	Voltaje	Razón
				Intensidad de corriente	
				Resistencia	
			Parámetros físico - químicos	Conductividad eléctrica	
				Grados brix	
				pH	
			Tipo de microorganismo	FTIR	Ordinal
				Especie y género de microorganismo	Nominal

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. *Ficha de registro de recolección de residuos*

Procedencia de las muestras	Tipo de residuo	Nombre del residuo			Cantidad de la muestra	Tipo de muestreo
Mercado La Hermelinda	Orgánico	Piña	Tomate	Cebolla	6 kg	Aleatorio Simple

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. *Ficha de registro de datos residuos de piña*

N° Día	N° Celda	Voltaje (V)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Intensidad de corriente (mA)	pH	Grados brix (°Bx)
1	1	0.939	187	0.09	3.96	6
	2	0.959	190	0.10	3.92	6
	3	0.943	191	0.10	3.92	6
2	1	0.945	187	0.85	4.06	6
	2	0.951	186	0.83	4.12	6
	3	0.961	190	0.82	4.04	6
3	1	0.957	191	0.84	3.93	6
	2	0.948	187	0.84	3.96	6
	3	0.944	191	0.85	3.92	6

4	1	0.95	192	0.65	3.89	5.5
	2	0.97	197	0.60	3.81	5.5
	3	0.97	197	0.62	3.82	5.5
5	1	0.90	195	1.26	3.85	5.5
	2	0.99	199	1.89	3.76	5.5
	3	0.95	199	1.58	3.80	5.5
6	1	0.93	195	3.48	3.74	5.5
	2	0.98	203	3.10	3.72	5.5
	3	0.95	200	3.76	3.87	5.5
7	1	0.94	188	3.81	3.96	5
	2	1.01	193	3.89	3.89	5
	3	0.98	185	3.63	3.91	5
8	1	0.92	189	4.16	4.21	5
	2	0.99	189	3.52	3.94	5
	3	0.96	181	3.51	4.07	5
9	1	0.90	181	3.02	4.33	5
	2	1.00	188	3.74	3.94	5
	3	1.01	184	3.79	4.15	5
10	1	0.90	166	3.80	4.26	5
	2	0.98	174	3.61	4.14	5
	3	0.98	170	3.84	4.21	5
11	1	0.98	169	3.68	4.25	4.5
	2	0.98	171	3.52	4.21	4.5
	3	0.97	172	3.68	4.20	4.5
12	1	0.93	153	3.56	4.58	4
	2	0.99	157	3.52	4.72	4
	3	0.96	154	3.53	4.47	4
13	1	0.92	150	2.84	4.52	3
	2	1.00	146	3.58	4.82	3

	3	0.96	146	3.20	4.61	3
14	1	0.93	151	2.96	4.49	3
	2	0.99	140	3.48	4.84	3
	3	0.97	145	3.42	4.72	3
	1	0.94	151	3.65	4.50	2
15	2	0.99	142	3.52	4.93	2
	3	1.03	143	3.58	4.70	2
	1	0.95	151	3.42	5.01	2
16	2	1.00	150	3.53	5.36	2
	3	1.02	148	3.31	5.26	2
	1	0.96	156	3.47	5.08	2
17	2	1.01	139	4.21	5.10	2
	3	0.98	140	3.06	5.47	2
	1	0.97	152	3.55	5.36	2
18	2	1.00	147	4.32	4.98	2
	3	0.95	150	4.12	5.09	2
	1	0.98	159	4.42	5.27	2
19	2	0.88	158	5.40	5.41	2
	3	0.94	147	4.10	5.26	2
	1	0.96	162	4.38	4.27	2
20	2	0.88	146	5.47	4.57	2
	3	0.94	146	5.02	4.6	2
	1	0.96	163	4.41	4.35	1
21	2	0.88	151	5.13	4.65	1
	3	0.90	150	4.28	4.70	1
	1	0.93	168	4.58	4.47	1
22	2	0.88	152	5.02	4.63	1
	3	0.86	155	4.39	4.76	1
	1	0.92	159	3.83	4.35	0

23	2	0.88	147	3.54	4.32	0
	3	0.85	149	3.14	4.40	0
24	1	0.90	154	2.87	4.48	0
	2	0.87	146	3.32	4.23	0
	3	0.83	147	2.44	4.26	0
25	1	0.90	143	2.86	4.49	0
	2	0.86	137	3.00	4.24	0
	3	0.84	132	2.28	4.22	0
26	1	0.90	144	2.84	4.10	0
	2	0.86	137	2.98	4.13	0
	3	0.84	136	2.2	4.20	0
27	1	0.89	142	2.96	4.11	0
	2	0.85	138	2.48	4.36	0
	3	0.83	130	2.42	4.26	0
28	1	0.87	145	2.85	4.28	0
	2	0.84	139	2.46	4.15	0
	3	0.82	138	2.28	4.37	0
29	1	0.86	141	1.92	4.36	0
	2	0.83	140	2.53	3.98	0
	3	0.82	135	2.31	4.09	0
30	1	0.86	136	1.67	4.27	0
	2	0.82	141	2.21	4.41	0
	3	0.81	133	2.06	4.56	0
31	1	0.85	139	1.55	4.03	0
	2	0.81	139	2.32	4.07	0
	3	0.83	128	2.12	4.00	0
32	1	0.84	137	1.42	3.96	0
	2	0.81	138	2.40	3.57	0
	3	0.78	130	2.10	3.83	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Valores de voltaje de las CCMs de piña

N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	0.939	0.959	0.943	0.94	0.01
2	0.945	0.951	0.961	0.95	0.008
3	0.957	0.948	0.944	0.94	0.006
4	0.95	0.97	0.97	0.96	0.01
5	0.90	0.99	0.95	0.94	0.04
6	0.93	0.98	0.95	0.95	0.02
7	0.94	1.01	0.98	0.97	0.03
8	0.92	0.99	0.96	0.95	0.03
9	0.90	1.00	1.01	0.97	0.06
10	0.90	0.98	0.98	0.95	0.04
11	0.98	0.98	0.97	0.97	0.005
12	0.93	0.99	0.96	0.96	0.03
13	0.92	1.00	0.96	0.96	0.04
14	0.93	0.99	0.97	0.96	0.03
15	0.94	0.99	1.03	0.98	0.04
16	0.95	1.00	1.02	0.99	0.03
17	0.96	1.01	0.98	0.98	0.02
18	0.97	1.00	0.95	0.97	0.02
19	0.98	0.88	0.94	0.93	0.05
20	0.96	0.88	0.94	0.92	0.04
21	0.96	0.88	0.90	0.91	0.04
22	0.93	0.88	0.86	0.89	0.03
23	0.92	0.88	0.85	0.88	0.03
24	0.90	0.87	0.83	0.86	0.03
25	0.9	0.86	0.84	0.86	0.03
26	0.9	0.86	0.84	0.86	0.03
27	0.89	0.85	0.83	0.85	0.03
28	0.87	0.84	0.82	0.84	0.02
29	0.86	0.83	0.82	0.83	0.02
30	0.86	0.82	0.81	0.83	0.02
31	0.85	0.81	0.83	0.83	0.02
32	0.84	0.81	0.78	0.81	0.03

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. *Valores de intensidad de corriente de las CCMs de piña*

Intensidad de corriente (mA)					
N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	0.09	0.10	0.10	0.10	0.005
2	0.851	0.836	0.828	0.84	0.01
3	0.845	0.84	0.85	0.85	0.005
4	0.659	0.6068	0.621	0.63	0.02
5	1.26	1.89	1.58	1.58	0.31
6	3.48	3.10	3.76	3.45	0.33
7	3.81	3.89	3.63	3.78	0.13
8	4.16	3.52	3.51	3.73	0.37
9	3.02	3.74	3.79	3.52	0.43
10	3.80	3.61	3.84	3.75	0.12
11	3.68	3.52	3.68	3.63	0.09
12	3.56	3.52	3.53	3.54	0.02
13	2.84	3.58	3.20	3.21	0.37
14	2.96	3.48	3.42	3.29	0.28
15	3.65	3.52	3.58	3.58	0.06
16	3.42	3.53	3.31	3.42	0.11
17	3.47	4.21	3.06	3.58	0.58
18	3.55	4.32	4.12	4.00	0.39
19	4.42	5.40	4.10	4.64	0.67
20	4.38	5.47	5.02	4.96	0.54
21	4.41	5.13	4.28	4.61	0.45
22	4.58	5.02	4.39	4.66	0.32
23	3.83	3.54	3.14	3.50	0.34
24	2.87	3.32	2.44	2.88	0.44
25	2.86	3	2.28	2.71	0.38
26	2.84	2.98	2.20	2.67	0.41
27	2.96	2.48	2.42	2.62	0.29
28	2.85	2.46	2.28	2.53	0.29
29	1.92	2.53	2.31	2.25	0.30
30	1.67	2.21	2.06	1.98	0.27
31	1.55	2.32	2.12	2.00	0.39
32	1.42	2.40	2.10	1.97	0.50

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. *Valores de conductividad eléctrica de las CCMs de piña*

N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	187	190	191	189.33	2.081
2	187	186	190	187.66	2.08
3	191	187	191	189.66	2.30
4	192	197	197	195.33	2.88
5	195	199	199	197.66	2.30
6	195	203	200	199.33	4.04
7	188	193	185	188.66	4.04
8	189	189	181	186.33	4.61
9	181	188	184	184.33	3.51
10	166	174	170	170	4
11	169	171	172	170.66	1.52
12	153	157	154	154.66	2.08
13	150	146	146	147.33	2.30
14	151	140	145	145.33	5.50
15	151	142	143	145.33	4.93
16	151	150	148	149.66	1.52
17	156	139	140	145	9.53
18	152	147	150	149.66	2.51
19	159	158	147	154.66	6.65
20	162	146	146	151.33	9.23
21	163	151	150	154.66	7.23
22	168	152	155	158.33	8.50
23	159	147	149	151.66	6.42
24	154	146	147	149	4.35
25	143	137	132	137.24	5.51
26	144	137	136	139.16	4.25
27	142	138	130	136.75	6.13
28	145	139	138	140.67	3.78
29	141	140	135	138.59	3.17
30	136	141	133	136.51	3.80
31	139	139	128	135.33	6.35
32	137	138	130	135	4.35

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Valores de grados brix de las CCMs de piña

N° Día	Grados brix (°Bx)			Promedio	Desviación estándar
	N° Celda 1	N° Celda 2	N° Celda 3		
1	6	6	6	6	0
2	6	6	6	6	0
3	6	6	6	6	0
4	5.5	5.5	5.5	5.5	0
5	5.5	5.5	5.5	5.5	0
6	5.5	5.5	5.5	5.5	0
7	5	5	5	5	0
8	5	5	5	5	0
9	5	5	5	5	0
10	5	5	5	5	0
11	4.5	4.5	4.5	4.5	0
12	4	4	4	4	0
13	3	3	3	3	0
14	3	3	3	3	0
15	2	2	2	2	0
16	2	2	2	2	0
17	2	2	2	2	0
18	2	2	2	2	0
19	2	2	2	2	0
20	2	2	2	2	0
21	1	1	1	1	0
22	1	1	1	1	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Valores de pH de las CCMs de piña

N° Día	pH			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	3.96	3.92	3.92	3.93	0.02
2	4.06	4.12	4.04	4.07	0.04
3	3.93	3.96	3.92	3.93	0.02
4	3.89	3.81	3.82	3.84	0.04
5	3.85	3.76	3.80	3.80	0.04
6	3.74	3.72	3.87	3.77	0.08
7	3.96	3.89	3.91	3.92	0.03
8	4.21	3.94	4.07	4.07	0.13
9	4.33	3.94	4.15	4.14	0.19
10	4.26	4.14	4.21	4.20	0.06
11	4.25	4.21	4.20	4.22	0.02
12	4.58	4.72	4.47	4.59	0.12
13	4.52	4.82	4.61	4.65	0.15
14	4.49	4.84	4.72	4.68	0.17
15	4.50	4.93	4.70	4.71	0.21
16	5.01	5.36	5.26	5.21	0.18
17	5.08	5.10	5.47	5.21	0.21
18	5.36	4.98	5.09	5.14	0.19
19	5.27	5.41	5.26	5.31	0.08
20	4.27	4.57	4.60	4.48	0.18
21	4.35	4.65	4.70	4.56	0.18
22	4.47	4.63	4.76	4.62	0.14
23	4.35	4.32	4.40	4.35	0.04
24	4.48	4.23	4.26	4.32	0.13
25	4.49	4.24	4.22	4.31	0.15
26	4.10	4.13	4.20	4.14	0.05
27	4.11	4.36	4.26	4.24	0.12
28	4.28	4.15	4.37	4.26	0.11
29	4.36	3.98	4.09	4.14	0.19
30	4.27	4.41	4.56	4.41	0.14
31	4.03	4.07	4.00	4.03	0.035
32	3.96	3.57	3.83	3.78	0.19

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. *Ficha de registro de datos residuos de tomate*

N° Día	N° Celda	Voltaje (V)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Intensidad de corriente (mA)	pH	Grados brix (°Bx)
1	1	0.812	171	1.81	4.21	3
	2	0.802	171	2.12	4.20	3
	3	0.818	172	2.15	4.18	3
2	1	0.81	160	2.12	4.37	3
	2	0.817	161	2.72	4.33	3
	3	0.782	165	2.26	4.29	3
3	1	0.80	167	2.62	4.27	3
	2	0.82	168	2.88	4.25	3
	3	0.78	164	2.27	4.31	3
4	1	0.81	168	2.66	4.25	2.5
	2	0.78	168	2.87	4.25	2.5
	3	0.79	170	2.28	4.22	2.5
5	1	0.81	162	2.98	4.33	2.5
	2	0.82	165	2.92	4.29	2.5
	3	0.78	172	2.56	4.20	2.5
6	1	0.82	133	2.58	5.09	1
	2	0.81	131	2.98	4.83	1
	3	0.80	141	2.99	4.65	1
7	1	0.84	128	2.78	5.44	1
	2	0.87	128	2.93	4.87	1
	3	0.88	142	2.98	4.65	1

8	1	0.87	118	2.81	5.67	0
	2	0.85	111	2.94	5.28	0
	3	0.90	119	2.92	5.42	0
9	1	0.85	113	2.89	6.08	0
	2	0.89	105	2.92	6.29	0
	3	0.88	102	2.84	6.20	0
10	1	0.88	94	2.88	6.04	0
	2	0.93	101	2.99	6.13	0
	3	0.92	96	2.86	6.28	0
11	1	0.94	106	2.94	5.20	0
	2	0.91	97	2.96	5.34	0
	3	0.93	85	2.87	5.51	0
12	1	0.94	97	2.87	5.29	0
	2	0.95	92	2.92	5.61	0
	3	0.98	83	2.92	5.97	0
13	1	0.94	92	2.92	5.69	0
	2	0.95	86	3.05	5.95	0
	3	0.97	75	2.90	6.14	0
14	1	0.93	85	2.98	6.10	0
	2	0.97	81	2.98	6.17	0
	3	0.88	74	2.87	6.40	0
15	1	0.90	77	2.64	6.24	0
	2	0.91	73	2.95	6.32	0
	3	0.85	69	3.09	6.53	0
16	1	0.88	65	3.42	6.40	0
	2	0.93	71	3.58	6.49	0
	3	0.87	63	3.61	6.62	0

17	1	0.92	60	3.81	7.70	0
	2	0.96	62	3.99	7.47	0
	3	0.88	67	3.72	8.13	0
18	1	0.84	53	2.90	7.30	0
	2	0.89	60	3.12	7.36	0
	3	0.83	57	3.42	7.56	0
19	1	0.83	44	3.01	6.77	0
	2	0.81	53	3.27	6.99	0
	3	0.80	49	2.77	7.10	0
20	1	0.84	36	3.27	6.68	0
	2	0.81	43	2.81	6.63	0
	3	0.80	40	2.65	6.98	0
21	1	0.82	31	2.95	6.62	0
	2	0.81	33	2.74	6.69	0
	3	0.78	31	2.81	6.90	0
22	1	0.84	30	2.76	6.46	0
	2	0.79	29	2.63	6.79	0
	3	0.82	28	2.62	6.56	0
23	1	0.83	20	2.89	6.44	0
	2	0.81	27	2.53	6.56	0
	3	0.84	25	2.51	6.63	0
24	1	0.79	15	2.74	6.38	0
	2	0.75	22	2.41	6.25	0
	3	0.77	18	2.65	6.18	0
25	1	0.75	10	2.51	6.50	0
	2	0.73	17	2.49	6.37	0
	3	0.76	14	2.77	6.04	0

26	1	0.73	6	2.67	6.66	0
	2	0.71	11	2.44	6.49	0
	3	0.75	9	2.54	6.19	0
27	1	0.72	4	2.58	6.8	0
	2	0.69	6	2.44	6.6	0
	3	0.73	9	2.39	6.35	0
28	1	0.66	2	2.54	6.9	0
	2	0.67	2	2.31	6.72	0
	3	0.70	4	2.3	6.50	0
29	1	0.67	3	2.47	6.08	0
	2	0.65	2	2.24	6.34	0
	3	0.64	1	2.34	5.46	0
30	1	0.62	2	2.41	6.23	0
	2	0.64	2	1.98	6.46	0
	3	0.63	1	2.28	6.31	0
31	1	0.58	2	2.37	6.11	0
	2	0.62	1	1.92	6.07	0
	3	0.63	0	2.2	5.97	0
32	1	0.59	1	2.22	6.05	0
	2	0.60	1	1.89	5.85	0
	3	0.62	0	2.01	6.12	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. *Valores de voltaje de las CCMs de tomate*

N° Día	Voltaje (V)			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	0.812	0.802	0.818	0.81	0.008
2	0.81	0.817	0.782	0.80	0.01
3	0.8	0.82	0.78	0.8	0.02
4	0.81	0.78	0.79	0.79	0.01
5	0.81	0.82	0.78	0.80	0.02
6	0.82	0.81	0.80	0.81	0.01
7	0.84	0.87	0.88	0.86	0.02
8	0.87	0.85	0.90	0.87	0.02
9	0.85	0.89	0.88	0.87	0.02
10	0.88	0.93	0.92	0.91	0.02
11	0.94	0.91	0.93	0.92	0.01
12	0.94	0.95	0.98	0.95	0.02
13	0.94	0.95	0.97	0.95	0.01
14	0.93	0.97	0.88	0.92	0.04
15	0.90	0.91	0.85	0.88	0.03
16	0.88	0.93	0.87	0.89	0.03
17	0.92	0.96	0.88	0.92	0.04
18	0.84	0.89	0.83	0.85	0.03
19	0.83	0.81	0.80	0.81	0.01
20	0.84	0.81	0.80	0.81	0.02
21	0.82	0.81	0.78	0.80	0.02
22	0.84	0.79	0.82	0.81	0.02
23	0.83	0.81	0.84	0.82	0.01
24	0.79	0.75	0.77	0.77	0.01
25	0.75	0.73	0.76	0.74	0.01
26	0.73	0.71	0.75	0.73	0.01
27	0.72	0.69	0.73	0.71	0.01
28	0.66	0.67	0.70	0.67	0.02
29	0.67	0.65	0.64	0.65	0.01
30	0.62	0.64	0.63	0.62	0.007
31	0.58	0.62	0.63	0.60	0.02
32	0.59	0.60	0.62	0.60	0.01

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. *Valores de intensidad de corriente de las CCMs de tomate*

N° Día	Intensidad de corriente (mA)			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	1.81	2.12	2.15	2.02	0.18
2	2.12	2.72	2.26	2.36	0.31
3	2.62	2.88	2.27	2.59	0.30
4	2.66	2.87	2.28	2.60	0.29
5	2.98	2.92	2.56	2.82	0.22
6	2.58	2.98	2.99	2.85	0.23
7	2.78	2.93	2.98	2.89	0.10
8	2.81	2.94	2.92	2.89	0.07
9	2.89	2.92	2.84	2.88	0.04
10	2.88	2.99	2.86	2.91	0.07
11	2.94	2.96	2.87	2.92	0.04
12	2.87	2.92	2.92	2.90	0.02
13	2.92	3.05	2.90	2.95	0.08
14	2.98	2.98	2.87	2.94	0.06
15	2.64	2.95	3.09	2.89	0.23
16	3.42	3.58	3.61	3.53	0.10
17	3.81	3.99	3.72	3.84	0.13
18	2.90	3.12	3.42	3.14	0.26
19	3.01	3.27	2.77	3.01	0.25
20	3.27	2.81	2.65	2.91	0.32
21	2.95	2.74	2.81	2.83	0.10
22	2.76	2.63	2.62	2.67	0.07
23	2.89	2.53	2.51	2.64	0.21
24	2.74	2.41	2.65	2.6	0.17
25	2.51	2.49	2.77	2.58	0.15
26	2.67	2.44	2.54	2.55	0.11
27	2.58	2.44	2.39	2.47	0.09
28	2.54	2.31	2.30	2.38	0.13
29	2.47	2.24	2.34	2.35	0.11
30	2.41	1.98	2.28	2.22	0.22
31	2.37	1.92	2.20	2.16	0.22
32	2.22	1.89	2.01	2.04	0.16

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. *Valores de conductividad eléctrica de las CCMs de tomate*

N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	171	171	172	171.33	0.57
2	160	161	165	162	2.64
3	167	168	164	166.33	2.08
4	168	168	170	168.66	1.15
5	162	165	172	166.33	5.13
6	133	131	141	135	5.29
7	128	128	142	132.66	8.08
8	118	111	119	116	4.35
9	113	105	102	106.66	5.68
10	94	101	96	97	3.60
11	106	97	85	96	10.53
12	97	92	83	90.66	7.09
13	92	86	75	84.33	8.62
14	85	81	74	80	5.56
15	77	73	69	73	4
16	65	71	63	66.33	4.16
17	60	62	67	63	3.60
18	53	60	57	56.66	3.51
19	44	53	49	48.66	4.50
20	36	43	40	39.66	3.51
21	31	33	31	31.66	1.15
22	30	29	28	29	1
23	20	27	25	24	3.60
24	15	22	18	18.33	3.51
25	10	17	14	13.66	3.51
26	6	11	9	8.66	2.51
27	4	6	9	6.33	2.51
28	2	2	4	2.66	1.15
29	3	2	1	2	1
30	2	2	1	1.66	0.57
31	2	1	0	1	1
32	1	1	0	0.66	0.57

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. *Valores de grados brix de las CCMs de tomate*

N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	3	3	3	3	0
2	3	3	3	3	0
3	3	3	3	3	0
4	2.5	2.5	2.5	2.5	0
5	2.5	2.5	2.5	2.5	0
6	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Valores de pH de las CCMs de tomate

pH					
N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	4.21	4.20	4.18	4.19	0.01
2	4.37	4.33	4.29	4.33	0.04
3	4.27	4.25	4.31	4.27	0.03
4	4.25	4.25	4.22	4.24	0.01
5	4.33	4.29	4.20	4.27	0.06
6	5.09	4.83	4.65	4.85	0.22
7	5.44	4.87	4.65	4.98	0.40
8	5.67	5.28	5.42	5.45	0.19
9	6.08	6.29	6.20	6.19	0.10
10	6.04	6.13	6.28	6.15	0.12
11	5.20	5.34	5.51	5.35	0.15
12	5.29	5.61	5.97	5.62	0.34
13	5.69	5.95	6.14	5.92	0.22
14	6.10	6.17	6.40	6.22	0.15
15	6.24	6.32	6.53	6.36	0.14
16	6.40	6.49	6.62	6.50	0.11
17	7.70	7.47	8.13	7.76	0.33
18	7.30	7.36	7.56	7.40	0.13
19	6.77	6.99	7.10	6.95	0.16
20	6.68	6.63	6.98	6.76	0.18
21	6.62	6.69	6.90	6.73	0.14
22	6.46	6.79	6.56	6.60	0.16
23	6.44	6.56	6.63	6.54	0.09
24	6.38	6.25	6.18	6.27	0.10
25	6.5	6.37	6.04	6.30	0.23
26	6.66	6.49	6.19	6.44	0.23
27	6.80	6.6	6.35	6.58	0.22
28	6.90	6.72	6.50	6.70	0.20
29	6.08	6.34	6.46	6.29	0.19
30	6.23	6.46	6.31	6.33	0.11
31	6.11	6.07	5.97	6.05	0.07
32	6.05	5.85	6.12	6	0.14

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. *Ficha de registro de datos residuos de cebolla*

N° Día	N° Celda	Voltaje (V)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Intensidad de corriente (mA)	pH	Grados brix (°Bx)
1	1	0.93	201	1.20	3.81	4
	2	0.93	200	1.10	3.76	4
	3	0.95	203	1.18	3.74	4
2	1	0.92	195	1.18	3.83	3
	2	0.96	196	1.27	3.81	3
	3	0.95	199	1.26	3.77	3
3	1	1.01	192	1.33	3.87	3
	2	1.01	199	1.14	3.78	3
	3	1.00	204	1.24	3.71	3
4	1	0.99	170	1.48	4.01	1
	2	0.99	178	1.28	4.09	1
	3	0.98	187	1.26	3.94	1
5	1	0.99	172	1.48	4.17	0
	2	1.00	174	1.39	4.16	0
	3	0.97	183	1.47	4.01	0
6	1	0.98	165	1.43	4.44	0
	2	1.00	172	1.61	4.49	0
	3	0.95	177	1.52	4.12	0
7	1	0.95	157	1.54	4.77	0
	2	0.93	163	1.73	5.03	0
	3	0.92	161	1.61	4.50	0

8	1	0.87	145	1.64	5.05	0
	2	0.92	152	1.81	5.23	0
	3	0.90	142	1.72	4.67	0
9	1	0.86	143	1.79	4.91	0
	2	0.81	153	1.91	5.10	0
	3	0.85	147	1.89	5.27	0
10	1	0.85	136	1.81	5.05	0
	2	0.85	145	2.08	4.95	0
	3	0.82	150	1.99	5.43	0
11	1	0.84	117	1.89	5.33	0
	2	0.80	130	1.99	5.23	0
	3	0.80	120	1.98	5.56	0
12	1	0.84	118	1.92	5.33	0
	2	0.81	122	2.13	5.52	0
	3	0.86	134	2.04	5.70	0
13	1	0.84	109	1.73	5.34	0
	2	0.89	119	1.85	5.74	0
	3	0.86	129	1.91	5.86	0
14	1	0.84	98	1.75	5.34	0
	2	0.85	108	1.52	5.87	0
	3	0.87	114	1.45	5.98	0
15	1	0.79	95	1.79	6.81	0
	2	0.81	105	1.50	6.94	0
	3	0.80	100	1.26	6.84	0
16	1	0.79	85	1.23	5.95	0
	2	0.84	100	1.31	6.32	0
	3	0.75	105	1.11	5.97	0

17	1	0.79	84	0.92	5.80	0
	2	0.76	102	0.72	5.98	0
	3	0.80	98	0.79	5.31	0
18	1	0.80	80	0.92	5.79	0
	2	0.85	97	1.00	5.46	0
	3	0.81	93	0.79	5.39	0
19	1	0.85	74	0.88	5.85	0
	2	0.85	82	0.91	5.65	0
	3	0.82	91	0.77	5.42	0
20	1	0.76	66	0.76	5.64	0
	2	0.82	68	0.65	5.88	0
	3	0.78	83	0.83	5.75	0
21	1	0.76	43	0.64	5.40	0
	2	0.77	44	0.68	5.67	0
	3	0.70	40	0.88	5.21	0
22	1	0.70	40	0.69	5.55	0
	2	0.70	37	0.63	5.28	0
	3	0.60	42	0.81	5.22	0
23	1	0.72	32	0.66	5.36	0
	2	0.69	42	0.66	5.05	0
	3	0.65	36	0.77	5.35	0
24	1	0.70	35	0.55	5.27	0
	2	0.66	27	0.59	4.98	0
	3	0.61	23	0.73	5.48	0
25	1	0.67	27	0.52	5.19	0
	2	0.64	22	0.53	4.81	0
	3	0.56	23	0.69	4.92	0

26	1	0.65	29	0.60	5.00	0
	2	0.62	16	0.45	4.67	0
	3	0.52	26	0.56	4.76	0
27	1	0.62	24	0.48	5.81	0
	2	0.59	11	0.38	5.31	0
	3	0.57	16	0.52	5.62	0
28	1	0.60	23	0.47	5.43	0
	2	0.47	16	0.32	5.38	0
	3	0.52	15	0.37	5.53	0
29	1	0.57	19	0.43	5.34	0
	2	0.45	10	0.31	5.47	0
	3	0.48	15	0.44	5.26	0
30	1	0.55	19	0.39	5.04	0
	2	0.43	5	0.27	5.24	0
	3	0.53	8	0.4	5.29	0
31	1	0.52	17	0.38	4.86	0
	2	0.41	2	0.20	4.64	0
	3	0.49	9	0.36	4.63	0
32	1	0.49	14	0.07	4.56	0
	2	0.39	5	0.13	4.36	0
	3	0.44	10	0.32	4.43	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. *Valores de voltaje de las CCMs de cebolla*

Voltaje (V)					
N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	0.93	0.93	0.95	0.93	0.011
2	0.92	0.96	0.95	0.94	0.02
3	1.01	1.01	1.00	1.00	0.005
4	0.99	0.99	0.98	0.98	0.005
5	0.99	1.00	0.97	0.98	0.01
6	0.98	1.00	0.95	0.97	0.02
7	0.95	0.93	0.92	0.93	0.01
8	0.87	0.92	0.90	0.89	0.02
9	0.86	0.81	0.85	0.84	0.02
10	0.85	0.85	0.82	0.84	0.01
11	0.84	0.80	0.80	0.81	0.02
12	0.84	0.81	0.86	0.83	0.02
13	0.84	0.89	0.86	0.86	0.02
14	0.84	0.85	0.87	0.85	0.01
15	0.79	0.81	0.80	0.8	0.01
16	0.79	0.84	0.75	0.79	0.04
17	0.79	0.76	0.80	0.78	0.02
18	0.80	0.85	0.81	0.82	0.02
19	0.85	0.85	0.82	0.84	0.01
20	0.76	0.82	0.78	0.78	0.03
21	0.76	0.77	0.70	0.74	0.03
22	0.7	0.70	0.6	0.66	0.05
23	0.72	0.69	0.65	0.68	0.03
24	0.70	0.66	0.61	0.65	0.04
25	0.67	0.64	0.56	0.62	0.05
26	0.65	0.62	0.52	0.59	0.06
27	0.62	0.59	0.57	0.59	0.02
28	0.6	0.47	0.52	0.53	0.06
29	0.57	0.45	0.48	0.5	0.06
30	0.55	0.43	0.53	0.50	0.06
31	0.52	0.41	0.49	0.47	0.05
32	0.49	0.39	0.44	0.44	0.05

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. *Valores de intensidad de corriente de las CCMs de cebolla*

N° Día	Intensidad de corriente (mA)			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	1.2	1.10	1.18	1.16	0.05
2	1.18	1.27	1.26	1.23	0.04
3	1.33	1.14	1.24	1.23	0.09
4	1.48	1.28	1.26	1.34	0.12
5	1.48	1.39	1.47	1.44	0.04
6	1.43	1.61	1.52	1.52	0.09
7	1.54	1.73	1.61	1.62	0.09
8	1.64	1.81	1.72	1.72	0.08
9	1.79	1.91	1.89	1.86	0.06
10	1.81	2.08	1.99	1.96	0.13
11	1.89	1.99	1.98	1.95	0.05
12	1.92	2.13	2.04	2.03	0.10
13	1.73	1.85	1.91	1.83	0.09
14	1.75	1.52	1.45	1.57	0.15
15	1.79	1.50	1.26	1.51	0.26
16	1.23	1.31	1.11	1.21	0.10
17	0.92	0.72	0.79	0.81	0.10
18	0.92	1.00	0.79	0.90	0.10
19	0.88	0.91	0.77	0.85	0.07
20	0.76	0.65	0.83	0.74	0.09
21	0.64	0.68	0.88	0.73	0.12
22	0.69	0.63	0.81	0.71	0.09
23	0.66	0.66	0.77	0.69	0.06
24	0.55	0.59	0.73	0.62	0.09
25	0.52	0.53	0.69	0.58	0.09
26	0.6	0.45	0.56	0.53	0.07
27	0.48	0.38	0.52	0.46	0.07
28	0.47	0.32	0.37	0.38	0.07
29	0.43	0.31	0.44	0.39	0.07
30	0.39	0.27	0.40	0.35	0.07
31	0.38	0.20	0.36	0.31	0.09
32	0.07	0.13	0.32	0.17	0.13

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. *Valores de conductividad eléctrica de las CCMs de cebolla*

N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	201	200	203	201.33	1.52
2	195	196	199	196.66	2.08
3	192	199	204	198.33	6.02
4	170	178	187	178.33	8.50
5	172	174	183	176.33	5.85
6	165	172	177	171.33	6.02
7	157	163	161	160.33	3.05
8	145	152	142	146.33	5.13
9	143	153	147	147.66	5.03
10	136	145	150	143.66	7.09
11	117	130	120	122.33	6.80
12	118	122	134	124.66	8.32
13	109	119	129	119	10
14	98	108	114	106.66	8.08
15	95	105	100	100	5
16	85	100	105	96.66	10.40
17	84	102	98	94.66	9.45
18	80	97	93	90	8.88
19	74	82	91	82.33	8.50
20	66	68	83	72.33	9.29
21	43	44	40	42.33	2.08
22	40	37	42	39.66	2.51
23	32	42	36	36.66	5.03
24	35	27	23	28.33	6.11
25	27	22	23	24	2.64
26	29	16	26	23.66	6.80
27	24	11	16	17	6.55
28	23	16	15	18	4.35
29	19	10	15	14.66	4.50
30	19	5	8	10.66	7.37
31	17	2	9	9.33	7.50
32	14	5	10	9.66	4.50

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22. *Valores grados brix de las CCMs de cebolla*

Grados brix (°Bx)					
N° Día	N° Celda			Promedio	Desviación estándar
	1	2	3		
1	4	4	4	4	0
2	3	3	3	3	0
3	3	3	3	3	0
4	1	1	1	1	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. *Valores de pH de las CCMs de cebolla*

N° Día	pH			Promedio	Desviación estándar
	N° Celda				
	1	2	3		
1	3.81	3.76	3.74	3.77	0.03
2	3.83	3.81	3.77	3.80	0.03
3	3.87	3.78	3.71	3.78	0.08
4	4.01	4.09	3.94	4.01	0.07
5	4.17	4.16	4.01	4.11	0.08
6	4.44	4.49	4.12	4.35	0.20
7	4.77	5.03	4.50	4.76	0.26
8	5.05	5.23	4.67	4.98	0.28
9	4.91	5.10	5.27	5.09	0.18
10	5.05	4.95	5.43	5.14	0.25
11	5.33	5.23	5.56	5.37	0.16
12	5.33	5.52	5.70	5.51	0.18
13	5.34	5.74	5.86	5.64	0.27
14	5.34	5.87	5.98	5.73	0.34
15	6.81	6.94	6.84	6.86	0.06
16	5.95	6.32	5.97	6.08	0.20
17	5.80	5.98	5.31	5.69	0.34
18	5.79	5.46	5.39	5.54	0.21
19	5.85	5.65	5.42	5.64	0.21
20	5.64	5.88	5.75	5.75	0.12
21	5.4	5.67	5.21	5.42	0.23
22	5.55	5.28	5.22	5.35	0.17
23	5.36	5.05	5.35	5.25	0.17
24	5.27	4.98	5.48	5.24	0.25
25	5.19	4.81	4.92	4.97	0.19
26	5.00	4.67	4.76	4.81	0.17
27	5.81	5.31	5.62	5.58	0.25
28	5.43	5.38	5.53	5.44	0.07
29	5.34	5.47	5.26	5.35	0.10
30	5.04	5.24	5.29	5.19	0.13
31	4.86	4.64	4.63	4.71	0.13
32	4.56	4.36	4.43	4.45	0.10

Fuente: elaboración propia.

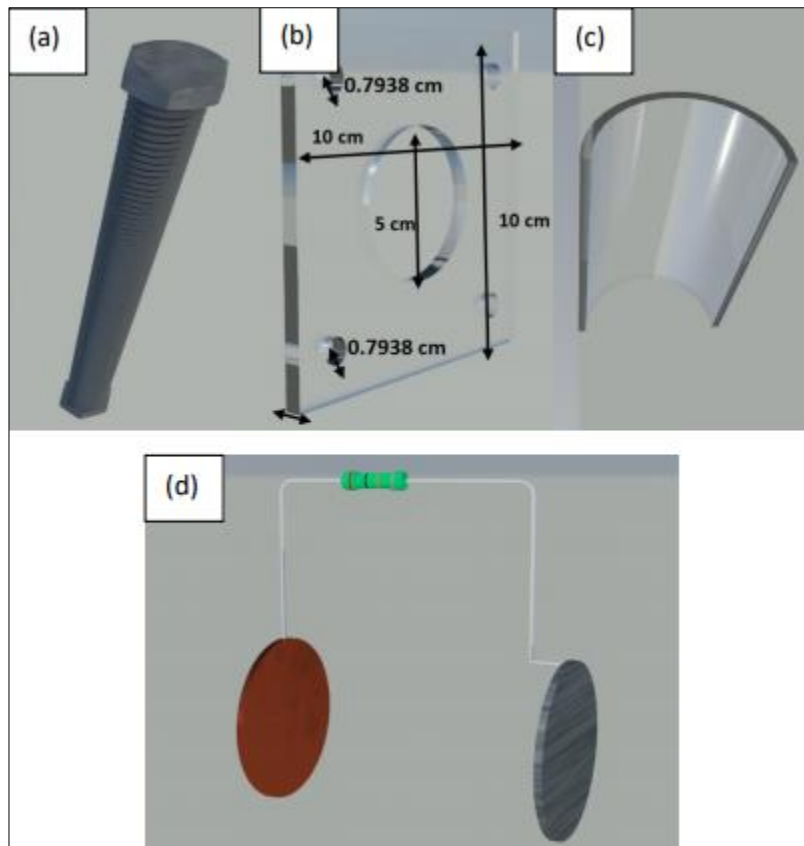


Figura 11. Partes de la celda de combustible microbiana de una sola cámara

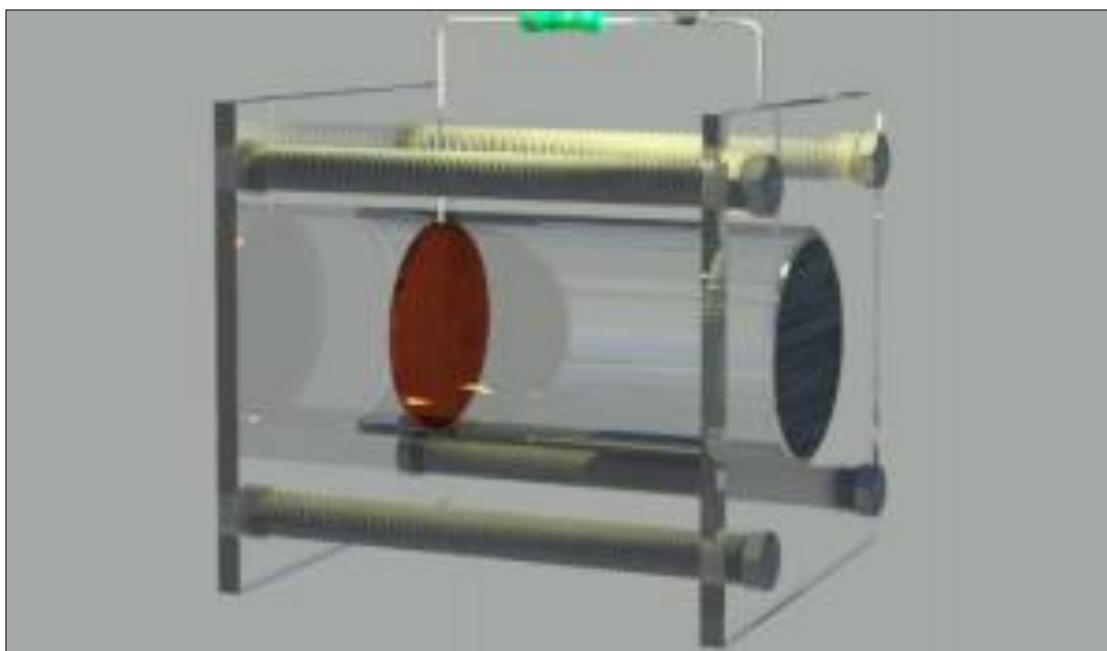


Figura 12. Diseño de la CCM de una sola cámara



Figura 13. Visualización de la estructura de las CCMs



Figura 14. Estructura interna del cátodo de las CCMs

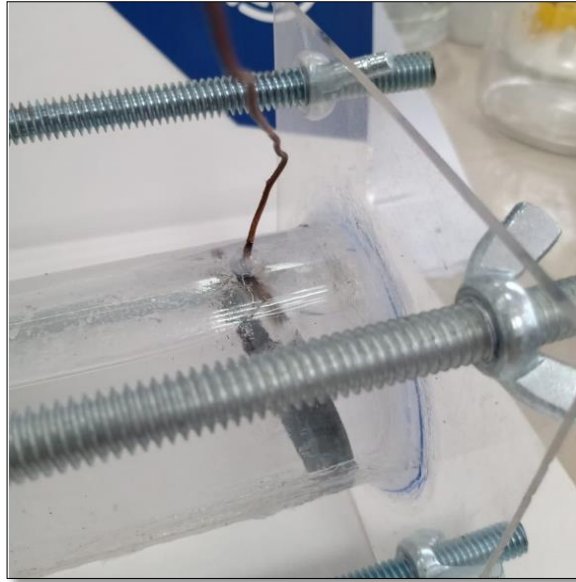


Figura 15. Estructura interna del ánodo de las CCMs

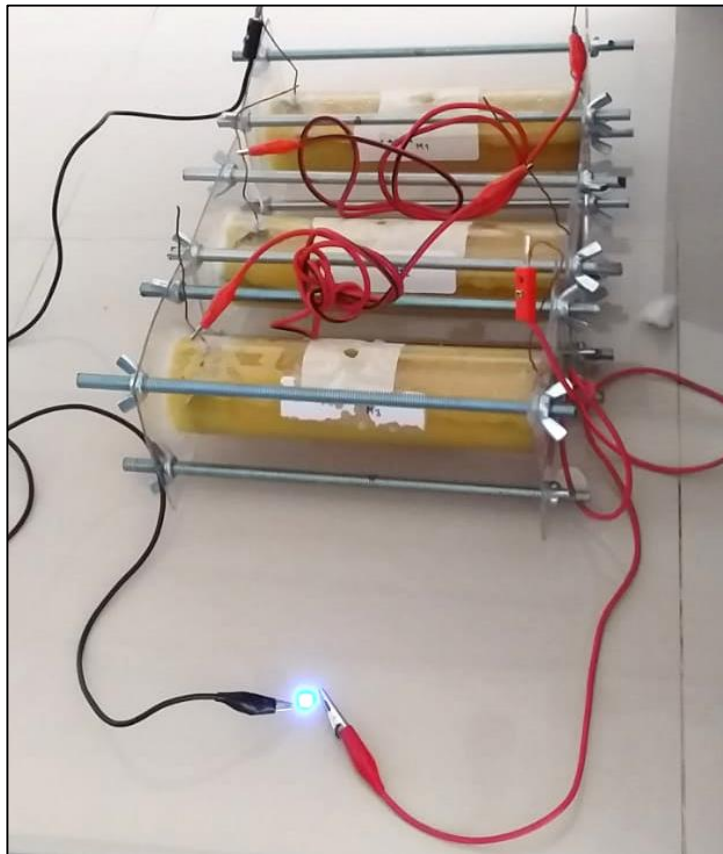


Figura 16. Celdas de combustible microbianas con sustrato piña

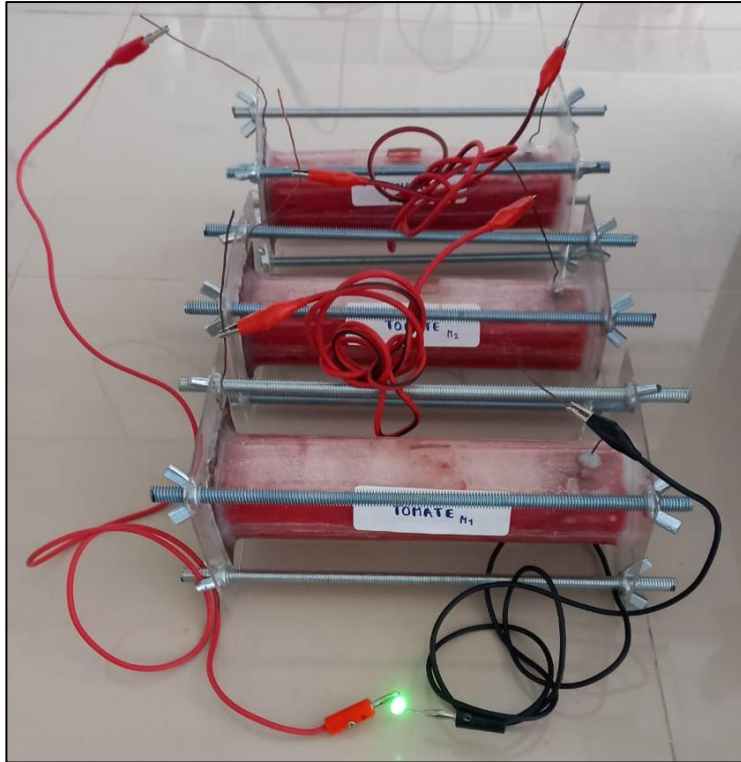


Figura 17. Celdas de combustible microbianas con sustrato tomate



Figura 18. Celdas de combustible microbianas con sustrato cebolla

API 20 E V5.0 [Impresora](#) [Exportar](#) [Nuevo test](#) [Modificar](#)

REFERENCIA: CONCYTEC FECHA: 20/05/21

COMENTARIO: Celda de Combustión Microbiana con jugo de Cebolla

EXCELENTE IDENTIFICACION

Galería	API 20 E V5.0
Perfil	2 2 0 6 0 0 4 6 3
Nota	

Taxón significativo	% ID	T	Pruebas en contra			
Pseudomonas aeruginosa	99.9	1.0				

Taxón siguiente	% ID	T	Pruebas en contra			
Pseudomonas fluorescens/putida	0.1	0.35	GLU 25%	N2 0%		

Figura 19. Bacterias aisladas del ánodo de las CCMs de cebolla

API 20 C AUX V5.0 [Impresora](#) [Exportar](#) [Nuevo test](#) [Modificar](#)

REFERENCIA: CONCYTEC FECHA: 29/05/21

COMENTARIO: Celda de Combustión Microbiana con Jugo de Piña

MUY BUENA IDENTIFICACION

Galería	API 20 C AUX V5.0
Perfil	6 4 4 6 2 7 7
Nota	

Taxón significativo	% ID	T	Pruebas en contra			
Candida pelliculosa	99.5	0.94				

Taxón siguiente	% ID	T	Pruebas en contra			
Candida spherica 1	0.4	0.52	XYL 2%			

Figura 20. Levaduras aisladas del ánodo de las CCMs de piña