

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**LA ALCACHOFA (*Cynara scolymus L.*) COMO FUENTE DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN BIOCELDAS GALVÁNICAS: INFLUENCIA  
DEL TIEMPO DE RETENCIÓN**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**Br. GONZALES GONZÁLEZ GISSELY BELÉN**

**ASESOR:**

**Dr. CROSWEL AGUILAR QUIROZ**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**LA ALCACHOFA (*Cynara scolymus L.*) COMO FUENTE DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN BIOCELDAS GALVÁNICAS: INFLUENCIA  
DEL TIEMPO DE RETENCIÓN**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**Br. GONZALES GONZÁLEZ GISSELY BELÉN**

**ASESOR:**

**Dr. CROSWEL AGUILAR QUIROZ**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2018**

## **NOMBRES DEL JURADO DICTAMINADOR**

---

**Ing. Ernesto Wong López**

**PRESIDENTE**

---

**Dr. Alfredo Cruz Monzón**

**SECRETARIO**

---

**Dr. Croswel Aguilar Quiroz**

**ASESOR**

## PRESENTACIÓN

De conformidad con los requisitos del Reglamento para el otorgamiento del grado de Bachiller y Título Profesional de Ingeniero Ambiental, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo, me es honroso presentar a consideración de vuestro elevado criterio el presente trabajo titulado: **“LA ALCACHOFA (*Cynara scolymus L.*) COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BIOCELDAS GALVÁNICAS: INFLUENCIA DEL TIEMPO DE RETENCIÓN”** que sustentaré como tesis para obtener el Título de Ingeniero Ambiental, si vuestro dictamen me es favorable.

Trujillo, 29 de agosto del 2018

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Pilar y Javier, quienes me acompañan y dirigen en cada paso que doy, ya sea si están cerca mío o si no.

A mi hermana, Gissbel, quién es mi rayo de sol aún en los días más nublados.

A mis abuelos, sin quienes no podría ser lo que soy.

Rosendo y Encarnación, quienes me enseñaron a ser humilde y agradecida.

Florimo y Yolanda, quienes me mostraron que la felicidad no depende de las circunstancias.

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mi asesor de tesis, el Dr. Croswel Aguilar, quién se encontró siempre presente para consejo y guía.

Igualmente agradezco al técnico de laboratorio, el Sr. Alcántara, quién siempre prestó su ayuda y consejo.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a mi familia: mis padres, quienes siempre me apoyaron en todos los ámbitos de mi vida y mi hermana, quién me enseña a ser mejor persona día a día.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

PRESENTACION.....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE DE TABLAS .....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPITULO I .....	1
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO II .....	13
MATERIALES Y METODOS.....	13
2.1. Equipos, materiales y reactivos.....	13
2.2. Elaboración de materiales .....	14
2.3. Procedimiento.....	16
CAPITULO III.....	17
RESULTADOS Y DISCUSION .....	17
3.1 Influencia de la concentración de alcachofa adicionando 2 mL de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	17
3.2 Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno .....	20
3.3 Influencia de la concentración de alcachofa adicionando 4 mL de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	23
3.4 Influencia del catalizador.....	26
3.5 Influencia del electrolito .....	28
CAPITULO IV .....	31
CONCLUSIONES .....	44
CAPITULO V .....	45
RECOMENDACIONES .....	45
CAPITULO VI.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	46
ANEXOS .....	55

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Corte transversal mostrando las partes de la alcachofa .....	3
Figura N° 2. Esquema de semicelda de biocombustible. ....	5
Figura N° 3. Estructura química de los tipos de hidratos de carbono .....	9
Figura N° 4. Adaptación de una caja pandora a cuatro celdas galvánicas. ....	14
Figura N° 5. Esquema de conexión voltímetro a electrodos en las celdas galvánicas.....	15
Figura N° 6. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje con adición de 2 mL de peróxido de hidrógeno.....	18
Figura N° 7. Influencia de la concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en la generación de voltaje .....	21
Figura N° 8. Voltaje generado a diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno en el tiempo de retención de 300 horas. ....	22
Figura N° 9. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje con adición de 4 mL de peróxido de hidrógeno.....	24
Figura N° 10. Influencia de la concentración de catalizador para la generación de voltaje .....	27
Figura N° 11. Influencia de la concentración del NaCl en la generación de voltaje .....	30
Figura N° 12. Diagrama del sistema y las reacciones de oxidación – reducción. ....	35
Figura N° 13. Productos de la oxidación de la glucosa. ....	37
Figura N° 14. Medición de generación de voltaje en las bioceldas, mediante un multímetro....	65
Figura N° 15. Vista superior de cuatro (4) celdas.....	65
Figura N° 16. Moho que aparece dentro de las semiceldas. ....	65



## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Composición química de la alcachofa en base de 100 g.....	2
Tabla N° 2. Materiales utilizados en el presente trabajo de investigación. ....	13
Tabla N° 3. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de alcachofa. ....	17
Tabla N° 4. Tiempo de aparición de hongos respecto a la concentración de alcachofa. ....	19
Tabla N° 5. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno. ....	20
Tabla N° 6. Tiempo de aparición de hongos respecto a la concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	22
Tabla N° 7. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de alcachofa en condiciones de 4 mL de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	23
Tabla N° 8. Tiempo de la aparición de hongos respecto a la concentración de alcachofa con adición de 4 mL de peróxido de hidrógeno. ....	25
Tabla N° 9. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de catalizador.....	26
Tabla N° 10. Tiempo de la aparición de hongos en las celdas respecto a la concentración de catalizador.....	26
Tabla N° 11. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración del cloruro de sodio. ....	28
Tabla N° 12. Tiempo de la aparición de hongos respecto a la concentración de NaCl. ....	29
Tabla N° 13. Análisis porcentual de compuestos de la alcachofa, con base de 100 g.....	32
Tabla N° 14. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje.....	55
Tabla N° 15. Análisis de varianza de la generación de energía, con la concentración alcachofa como variable.....	56
Tabla N° 16. Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno en la generación de voltaje .....	57
Tabla N° 17. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje.....	58
Tabla N° 18. Influencia de la concentración del catalizador en la generación de voltaje .....	59
Tabla N° 19. Influencia de la concentración del electrolito en la generación de voltaje.....	60
Tabla N° 20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 16 (influencia de peróxido de hidrógeno).....	61
Tabla N° 21. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 17 (influencia de concentración de alcachofa). ....	62
Tabla N° 22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 18 (influencia de catalizador). ....	63
Tabla N° 23. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 19 (influencia de cloruro de sodio).....	64

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la generación de voltaje aprovechando los restos agroindustriales de alcachofa (*Cynara scolymus L.*) como materia prima, se utilizaron bioceldas y el proceso se realizó en presencia de peróxido de hidrógeno y ácido tungsteno fosfórico como catalizador. Las variables de estudio fueron las concentraciones de: peróxido de hidrógeno, alcachofa, ácido tungsteno fosfórico y cloruro de sodio. Los resultados mostraron que se genera voltaje hasta 635 mV para condiciones de: 0.5 g de alcachofa, 4 mL de peróxido de hidrógeno, 0.2 g de catalizador, 0.05 g de cloruro de sodio en 75 mL de agua destilada. Estadísticamente, la presencia de hongos no expresa una influencia significativa en el sistema, así mismo la generación de voltaje se ve favorecida por el incremento en la concentración de catalizador, y la presencia de cloruro de sodio como electrolito no favorece al sistema.

## PALABRAS CLAVES

Alcachofa, hidratos de carbono, peróxido de hidrógeno, ácido tungsteno fosfórico.

## ABSTRACT

In this work the voltage generation was studied taking advantage of the artichoke agroindustrial raw material (*Cynara scolymus L.*) as raw material, biocells were used and the process was carried out in the presence of hydrogen peroxide and tungsten phosphoric acid as a catalyst. The study variables were the concentrations of: hydrogen peroxide, artichoke, tungsten phosphoric acid and sodium chloride. The results showed that voltage is generated up to 635 mV for conditions of: 0.5 g of artichoke, 4 mL of hydrogen peroxide, 0.2 g of catalyst, 0.05 g of sodium chloride in 75 mL of distilled water. Statistically, the presence of mushrooms does not express a significant influence on the system, besides the voltage generation is favored by the increase of the catalyst concentration, and the presence of sodium chloride as an electrolyte does not favor the system.

## KEYWORDS

Artichoke, Carbohydrates, Hydrogen Peroxide, Tungsten Phosphoric Acid.



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

La Libertad, Ica y Lima concentran el 88% de la producción agroindustrial peruana de alcachofa. De las quince empresas exportadoras de alcachofa en el Perú, destacan Danper Trujillo S.A.C. (30% del total) y Sociedad Agrícola Virú S.A. (20%). (Agrodata, 2015) (Agencia Agraria, 2014)

Entre los años 2015 y 2017, los principales productos agroindustriales liberteños demandados para exportación fueron: espárragos, palta, alcachofa, arándanos y uvas. La Libertad se posiciona como tercer productor a nivel nacional de piquillo 11% y alcachofa 20%. (Mondragón, 2016) (Bazán, 2016)

En el caso de la alcachofa, en La Libertad se siembra en las provincias de Virú, Pacasmayo, Chepén y Trujillo, y se exporta principalmente a Estados Unidos, España y Francia, aunque en los últimos años se han abierto nuevos mercados en la Unión Europea. (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2015)

La alcahofa (*Cynara scolymus*), pertenece a la familia de las Compuestas (Asteráceas); sus componentes mayoritarios son los hidratos de carbono, entre los que destaca el tipo polisacárido inulina y fibra. Los principales minerales presentes son el potasio, el fósforo, el hierro; y en las vitaminas, la tiamina, vitamina B6 y vitamina C. (Rodríguez, 2006) (Ramírez y Goyes, 2004)

En la tabla N° 1 se muestra la composición química de la alcachofa en base a 100 gramos de materia fresca.



Tabla N° 1. Composición química de la alcachofa en base de 100 g.

Composición Química	Cantidad
Energía (kcal)	38
Agua (g)	88.1
Proteínas (g)	2.3
Lípidos (g)	0.1
Hidratos de Carbono (g)	7.5
Fibra (g)	2
Calcio (mg)	45
Hierro (mg)	1.5
Potasio (mg)	430
Sodio (mg)	430
Fósforo (mg)	130
Magnesio (mg)	12
Tiamina (mg)	0.11

Referencia: Tablas de Composición de alimentos (Moreiras et al., 2013).

Durante el procesamiento industrial de la alcachofa, aproximadamente el 80-85% de la biomasa total de la planta se descarta (Pandino et al., 2013). Este desecho consiste principalmente en hojas de alcachofa, tallos y brácteas, es decir, los pétalos de flores externas, sin valor comercial y generalmente desechados como desechos sólidos (ver figura N° 1). (Maietta et al., 2017). Lo cual llega a ser un total de 40 toneladas diarias, la mayoría de las cuales se trasladan a un vertedero de residuos o se venden como alimento de ganado.



Figura N° 1. Corte transversal mostrando las partes de la alcachofa. (García Zapata, 2008)

Diversos trabajos de investigación buscan reaprovechar los residuos de la alcachofa, como se muestra a continuación:

Saleh et al. (2016) utilizaron el residuo sólido agroindustrial de la alcachofa, específicamente las hojas de las plantas, para la extracción asistida por ultrasonido de ácido clorogénico.

Conidi et al (2014) desarrollaron un sistema de membrana integrado, a escala laboratorio, para descomponer en fases las aguas residuales de alcachofa. Investigaron una etapa preliminar de ultrafiltración, basada en el uso de membranas de fibras huecas, para eliminar los sólidos suspendidos de un extracto de alcachofa. La solución clarificada se sometió luego a una etapa de nanofiltración.

Conidi et al (2015) usaron como materia prima el agua residual de la producción de alcachofa para evaluar un proceso integrado basado en el uso de tecnología de membranas y resinas adsorbentes para la recuperación, concentración y purificación de compuestos fenólicos.

Claus et al. (2015) con los resultados obtenidos de analizar los compuestos principales de las partes de la alcachofa (brácteas, receptáculo y espigas), sugirieron que los picos de alcachofa



pueden tener aplicaciones industriales como aditivos antioxidantes naturales para alimentos, como el aceite de canola.

ElShafei et al. (2016) usaron las cáscaras de alcachofa para producir carbón activado usando métodos de activación química, compararon dos protocolos diferentes con agentes activadores innovadores: KCl, CrCl<sub>3</sub> y TiCl<sub>4</sub>.

Rabelo et al. (2016) utilizaron los residuos industriales de alcachofa para extraer componentes fenólicos, mediante el uso de ultrasonido y nanofiltración, con la finalidad de usarlos como aditivos de comida.

Zuorro et al (2016) investigó los residuos sólidos de alcachofa como fuente potencial de compuestos fenólicos y bionergía. Se logró recuperar casi la totalidad de compuestos fenólicos y los resultados evidenciaron que los residuos de alcachofa poseen un alto valor calorífico y bajo contenido en cenizas, lo que los hace ideales para la bioenergía renovable.

A la fecha, no se reporta el uso de la alcachofa para la producción de energía, desde este punto de vista, la utilización de bioceldas (celdas de combustible con sustrato orgánico), sobresale como una alternativa prometedora de aprovechamiento de la biomasa. (Ramanavicius et al., 2005)

Las bioceldas galvánicas generan energía eléctrica transformando directamente la energía química de las reacciones de descomposición de la biomasa por medio de reacciones electroquímicas y bioquímicas. (Bullen et al., 2006)

En un sistema de bioceldas, se producen reacciones de oxidación en el ánodo y de reducción en el cátodo. La oxidación libera electrones, que viajan hacia el cátodo a través del circuito externo realizando trabajos de electricidad. El circuito se completa por el movimiento de una



carga de compensación a través del electrolito a menudo en la forma de iones positivos, como muestra la figura N° 02. (Pant et al, 2010).

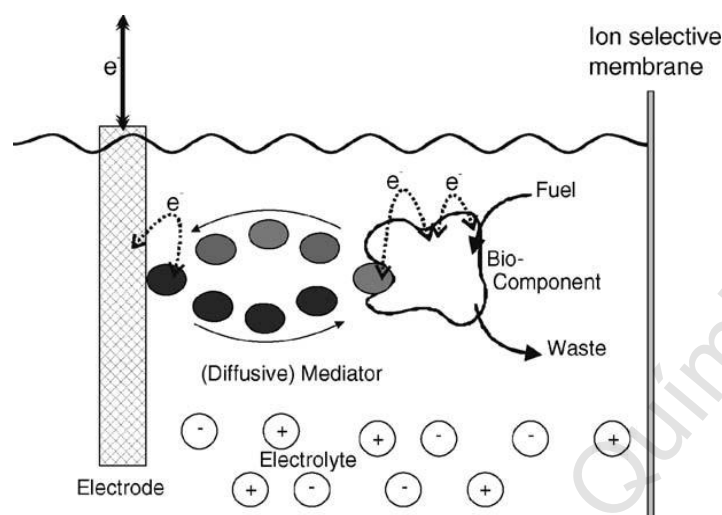


Figura N° 2. Esquema de semicelda de biocombustible. (Bullen et al., 2006)

Existen una gran variedad de sustratos que pueden ser usados como materia prima para la generación de energía, desde compuestos puros hasta mezclas complejas de materia orgánica. Entre los sustratos que se emplean se tienen:

### Acetatos

- Chae *et al.* (2009) demostró la eficiencia superior de la biocelda alimentada con acetato, en términos de la conductividad eléctrica y potencia, frente a otros tes sustratos.
- Liu *et al.* (2005) estudiaron la generación de electricidad en una sola cámara usando acetato o butirato. La energía generada con acetato fue de hasta un 66% mayor que la generada con butirato.

### Glucosa

- Rabaey *et al.* (2003) investigaron utilizando glucosa como fuente de carbono, en una celda de combustible microbiana conteniendo un cultivo mixto de bacterias, para investigar el potencial de salida en relación a la dosis de glucosa.





- Giroud *et al.* (2012) reportaron el desarrollo y optimización de una celda de biocombustible glucosa/O<sub>2</sub>.
- Pizzariello *et al.* (2002) desarrollaron una biocelda de glucosa conjuntamente con peróxido de hidrógeno en una matriz de unión sólida. La celda de biocombustible demostró ser estable durante un período de trabajo continuo de 30 días.
- Hu (2008) utilizaron al lodo anaeróbico como combustible para la generación de electricidad en la celda de combustible microbiana y compararon con la glucosa.
- Lee *et al.* (2008) compararon la eficiencia de conversión de energía del acetato (no fermentable) y glucosa (fermentable) como sustratos en una celda de combustible microbiana.

### **Biomasa lignocelulósica**

La abundancia y la capacidad de renovación de los materiales lignocelulósicos provenientes de residuos agrícolas son un tipo de materia prima prometedora para la producción rentable de energía. Sin embargo, la biomasa lignocelulósica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos en las bioceldas microbianas para la generación de electricidad. Tienen que ser convertidos a monosacáridos u otros compuestos de bajo peso molecular. (Ren et al., 2007) Zuo et al. (2006) analizaron la generación de electricidad en bioceldas a partir de biomasa de residuos de rastrojo de maíz utilizando procesos de hidrólisis ácida o neutra que convierte la hemicelulosa en azúcar soluble.

### **Celulosa**

Rismani-Yazdi et al. (2007) estudiaron la posibilidad de generar electricidad con microorganismos del rumen como biocatalizadores y celulosa como sustrato en una biocelda de dos compartimentos.



## **Residuos de celulosa y quitina**

Sustratos de partículas como celulosa y quitina son materiales biopoliméricos baratos y fácilmente disponibles que pueden ser utilizados para la generación de electricidad. Estos sustratos renovables también constituyen un componente importante de la materia orgánica en las aguas residuales industriales y municipales. (Rezaei et al., 2009)

Catal et al. (2008) Demostraron que la quitina se puede utilizar como un sustrato, el cual se degrada lentamente y sirve como combustible a largo plazo para mantener la energía en la celda de combustible microbiana.

## **Aguas residuales**

Las aguas residuales de las fábricas de cerveza han sido una de las favoritas como sustrato, por ser derivadas de la materia orgánica y por la ausencia de altas concentraciones de sustancias inhibitorias (por ejemplo, amoníaco en las aguas residuales de origen animal).

- Wen et al. (2009) construyeron una biocelda utilizando un cátodo de aire, un ánodo de fibra de carbono y agua residual de cervecería diluida como sustrato.
- Feng et al. (2008) investigaron el tratamiento de aguas residuales de las fábricas de cerveza mediante celdas de combustible microbianas.

## **Almidón**

El agua residual del procesamiento de almidón contiene carbohidratos (2300 – 3500 mg/L), azúcares (0.65 – 1.18 %), proteínas (0.12 – 0.15%) y almidón (1500 – 2600 mg/L), representando un recurso rico en energía, (Jin et al., 1998).

- Kim et al. (2004) empleó aguas residuales del procesamiento de almidón para enriquecer a un consorcio microbiano. La corriente generada fue de 0.044 mA/cm<sup>2</sup>.
- Lu et al. (2009) ensamblaron un cátodo de aire de la biocelda microbiana con un



electrodo de membrana, los que fueron operados durante cuatro ciclos batch (140 días en total). Los resultados indicaron que las aguas residuales con almidón podrían ser utilizadas como sustrato para producir electricidad en la celda de combustible microbiana.

### **Hidratos de carbono**

Los hidratos de carbono, también conocidos con nombres como glúcidos, carbohidratos o sacáridos, son moléculas de tipo orgánico cuya composición se basa en carbono, oxígeno e hidrógeno. Constituyen una parte fundamental de la alimentación humana, tienen una misión principalmente energética. Se clasifican en monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, en función del grado de polimerización (GP) de la molécula. (Mataix y Sánchez, 2004).

El principal monosacárido es la glucosa, cuya polimerización da lugar a dos grandes grupos de polisacáridos de gran importancia para la vida: la celulosa y el almidón. Ambos compuestos están constituidos fundamentalmente por cadenas lineales de moléculas de glucosa, unidas por enlaces glucosídicos o covalentes que enlazan el carbono 1 de un residuo de glucosa con el carbono 4 del siguiente residuo; estos enlaces al romperse liberan gran cantidad de energía, como se muestra en la figura 02. (Polaina, 2004)

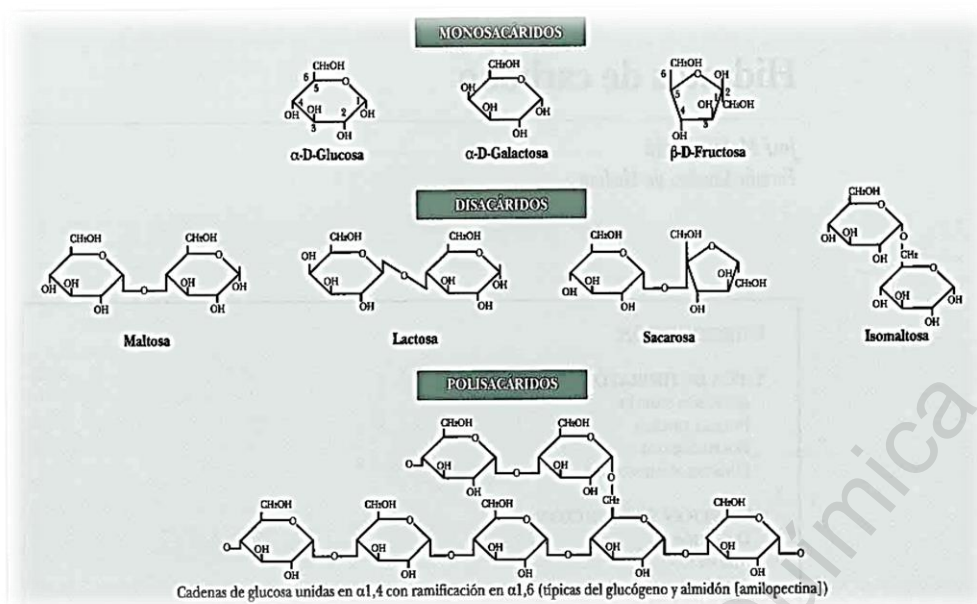


Figura N° 3. Estructura química de los tipos de hidratos de carbono (Polaina et al., 2004).

Los catalizadores son importantes para cualquier proceso químico, los catalizadores ácidos son utilizados a menudo en procesos industriales. Sin embargo, son tóxicos, corrosivos y difíciles de eliminar del medio de reacción. De manera que se busca reemplazarlos por catalizadores sólidos tales como zeolitas, alúmina o resinas, que son más fáciles de separar de los productos y son menos tóxicos (Kim et al., 2006).

De acuerdo a su estructura, los ácidos sólidos se dividen en dos grupos principales:

- (a) [IPA] isopoliácidos, isopolioximetales
- (b) [HPA] heteropoliácidos, heteropolianiones, heteropolioximetales. (Kourasi, 2014)

Los catalizadores basados en HPA tienen diversas ventajas sobre los catalizadores ácidos líquidos; como que no son corrosivos, ambientalmente benignos y presentan menos problemas de eliminación. Su uso repetido es posible y su separación de los productos líquidos es más fácil que los catalizadores homogéneos. (Chimienti et al., 2001)

Kourasi et al. (2014) realiza una revisión de las propiedades del HPA, al igual que una evaluación de sus aplicaciones:



- Se puede sintetizar de diferentes composiciones y estructuras y el resultado tiene una amplia gama de propiedades químicas.

Esto explica la variedad de aplicaciones: aditivos en membranas electrolíticas, soluciones de electrolitos, soportes de electrodos y como catalizadores independientes.

- De las diferentes estructuras disponibles, un pequeño número de estructuras han sido investigadas para su uso en celdas de combustible, siendo: Estructuras de Keggin y Wells-Dawson.
- Un reto para la incorporación de HPA en estos sistemas es que son altamente solubles en medios acuosos.
- En la mayoría de los casos, los HPA se incorporan en la membrana de PEMFC (Proton Exchange membrane fuel cell) y DMFC (direct metanol fuel cell) con el fin de mejorar su conductividad de protones y el rendimiento global de la celda.

Los HPA son catalizadores más activos para diversas reacciones en solución de ácidos inorgánicos y orgánicos convencionales. Se utilizan como catalizador industrial para varias reacciones en fase líquida: Como la deshidratación de alcohol, reacciones de alquilación, esterificación, etc. Entre ellos, los ácidos politungsténicos son los catalizadores más utilizados debido a su acidez y estabilidad. (Chimienti et al., 2001)

El ácido tungsteno fosfórico es utilizado como catalizador debido a su fuerte acidez, estabilidad y alto potencial de oxidación – reducción y puede ser reciclado hasta cuatro veces (Nikbakht et al., 2013) (Khder et al., 2014).

Los electrodos que se utilizan en las bioceldas deben ser conductores electrónicos químicamente estables en el medio de reacción. En este sentido, metales como el platino y acero inoxidable se han utilizado sin ningún tipo de problemas. El material más versátil es el carbón como electrodo y se puede utilizar en diferentes formas, debe tener una elevada área



superficial y porosidad para evitar obstrucciones (Cañizares et al., 2013). Yan et al. (2007) describe una biocelda a base de nanotubos de carbono con pared múltiple glucosa/O<sub>2</sub>.

En el laboratorio de catálisis de la universidad nacional de Trujillo se han realizado los siguientes trabajos, con diferentes insumos como materia prima:

Farje y Vargas (2013) trabajaron en la obtención de energía eléctrica en una sola etapa, mediante bioceldas, utilizando como sustrato el almidón soluble degradándolo con ácido clorhídrico. Los mejores resultados obtenidos fueron: relación agua/almidón 150mL/1g, tiempo de vida útil 338 horas y el mayor voltaje obtenido fue de 214 mV.

Urteaga y Zavaleta (2013) estudiaron la obtención de energía eléctrica a partir de almidón obtenido del extracto de nabo y peróxido de hidrógeno (activación de la enzima peroxidasa). El proceso se realizó en una sola etapa en bioceldas electroquímicas con electrodos de grafito. Los resultados mostraron que el sistema se inhibe cuando hay exceso de almidón y/o de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Bajo las condiciones de 0.5 g de almidón, 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 10 mL de extracto de nabo y 70 mL de agua, se logró el máximo voltaje de 63.6 mV.

Huaman (2014) estudió la generación de energía eléctrica por descomposición anaeróbica de la cáscara de mandarina en bioceldas electroquímicas. Los resultados muestran que al aumentar la cantidad de peróxido de hidrogeno se incrementa la generación de energía alcanzando hasta 400 mV. Se requiere inicialmente la presencia de oxígeno para generar que las reacciones que producen energía. El incremento de la cantidad de cáscara de mandarina en el sistema aumenta la generación de energía, obteniendo un promedio máximo de 225 mV. Los ensayos de cáscara de mandarina/agua destilada muestran que la presencia de agua destilada en el sistema es un factor controlante para la generación de energía.

Perez y Rodriguez (2014) estudiaron la concentración del ácido tungsteno fosfórico, concentración del almidón y el tiempo de reacción en la generación de energía eléctrica



utilizando bioceldas electroquímicas. Los resultados muestran que la concentración de ácido tungsteno fosfórico para 0.5g. de almidón, 75 mL de agua destilada y 2 mL de peróxido de hidrógeno de 30 volúmenes, alcanzo voltajes superiores a 100 mV; sin embargo, a mayores concentraciones de almidón la concentración de energía no alcanza los 80 mV.

Alayo y Baca (2016) estudiaron la influencia de la densidad de corriente en el incremento de la generación de energía en bioceldas de almidón. El proceso se realizó en bioceldas electroquímicas equipadas con electrodos de grafito. Los resultados indican que la densidad de corriente disminuye con el incremento de la concentración de almidón en el sistema, así como con áreas de electrodo grandes; sin embargo, se demuestra que es la cinética de la reacción quien domina el comportamiento del sistema y que se puede realizar un escalamiento lo cual podría ser beneficioso para las industrias alimentarias ya que podrían utilizar sus efluentes ricos en almidón, para generar energía eléctrica.

Vásquez y Zavala (2017) estudiaron la influencia de la concentración de espárrago, ácido tungsteno fosfórico y peróxido de hidrogeno en la generación de energía eléctrica a partir de residuos de espárrago verde utilizando bioceldas electroquímicas. Los resultados muestran que, al incrementar la concentración de espárrago, la energía eléctrica producida aumenta exponencialmente en las primeras horas (250 mV) y posteriormente disminuye progresivamente en el tiempo (97 mV). El ácido tungsteno fosfórico acelera la reacción, incrementando la energía producida.

En el presente trabajo de investigación se ha usado la alcachofa como residuo sólido agroindustrial para la obtención de energía eléctrica en bioceldas galvánicas, utilizando el HPA como catalizador.



## CAPITULO II

### MATERIALES Y METODOS

#### 2.1. Equipos, materiales y reactivos

##### 2.1.1. Equipos

- Balanza analítica OHAUS Pioneer. Capacidad Max. 210g.  
Sensibilidad:  $\pm 0.0001$  g
- Multitester digital PRASEK Premium PR-301 (2 unidades)

##### 2.1.2. Materiales

Tabla N° 2. Materiales utilizados en el presente trabajo de investigación.

Materiales	Cantidad
Probeta 100mL	1
Caja de Tecnopor	8
Plancha de Tecnopor	80cm x 70cm x 2.5cm
Pipeta de 5 x 1/10 $\pm 0.04$ mL PYREX	2
Varillas de vidrio	1
Electrodos de grafito	10
Membrana de acetato de celulosa	1m x 15cm
Cable mellizo de parlantes N° 16 (metros)	10

Referencia: Realización propia.

Adicionalmente, la materia prima, alcachofa: 5 Kg aproximadamente, procedente de la provincia de Virú del Departamento de La Libertad

##### 2.1.3. Reactivos

- Agua destilada
- Cloruro de sodio (N° ACS 7647-14-5)
- Ácido tungsteno fosfórico (G.R. 85 % pureza)
- Peróxido de hidrogeno (30 Vol.)





## 2.2. Elaboración de materiales

### 2.2.1. Celdas galvánicas

- Las cajas de plástico son adaptadas para funcionar como celdas galvánicas, figura N° 4.
- La membrana de acetato de celulosa es colocada en la parte central de la celda.

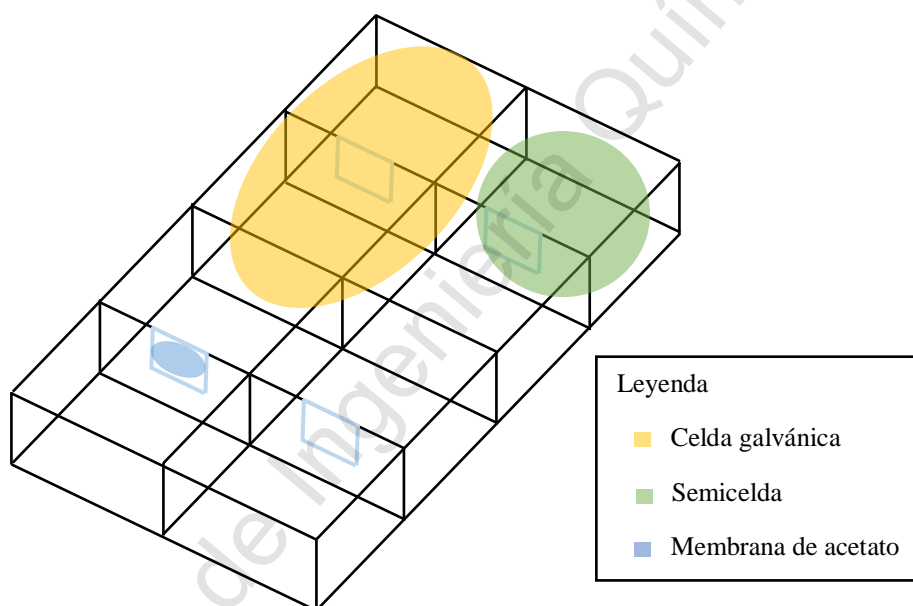


Figura N° 4. Adaptación de una caja de plástico a cuatro celdas galvánicas.

### 2.2.2. Electrodo

Los electrodos usados para la medición del voltaje generado en las celdas; son de grafito. Los cuales tienen una longitud aproximada de 6cm y se conectan a cables de cobre; tal como lo muestra la figura N° 5.

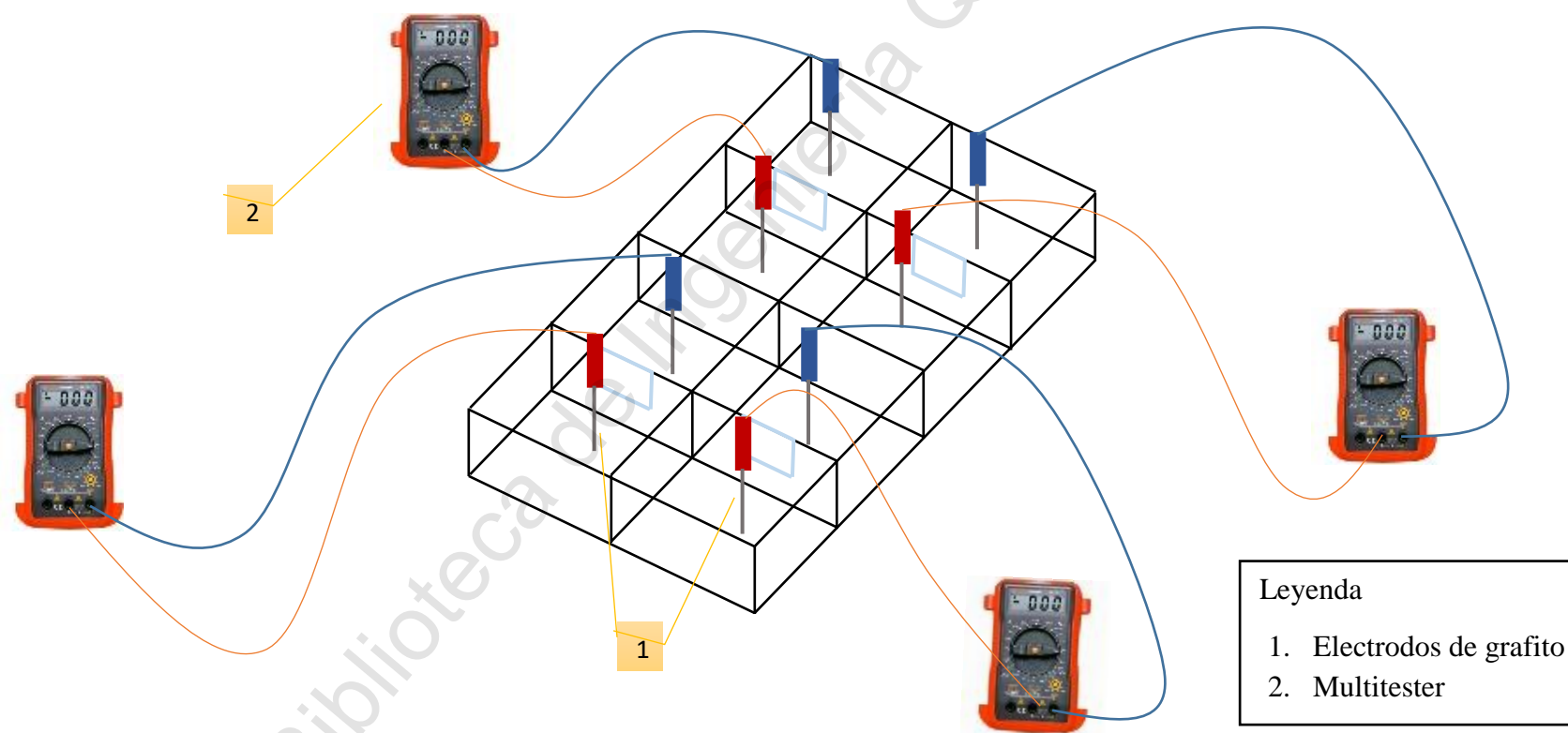


Figura N° 5. Esquema de conexión voltímetro a electrodos en las celdas galvánicas.



## 2.3. Procedimiento

### 2.3.1. Procedimiento para la elaboración de bioceldas

- a) Se diseñan los compartimientos de la caja de plástico tal como se muestra en la figura N° 04.

### 2.3.2. Procedimiento para la conexión de electrodos

- a) Pelar los cables que se conectarán a los electrodos.
- b) Conectar cada electrodo con un cable.

### 2.3.3. Procedimiento para ensayos en semicelda

- a) En cada semicelda se colocó una cantidad determinada de alcachofa y 75 mL de agua destilada.
- b) A una de las semiceldas se adicionó un volumen determinado de peróxido de hidrógeno.
- c) A la otra semicelda se adicionó una cantidad determinada de heteropoliácido
- d) Se procedió a medir en el tiempo.

### 2.3.4. Procedimiento para la medición de voltaje

- a) Se tomarán datos del voltaje por medio del uso de un voltímetro (multitester), tres veces al día.



### CAPITULO III

### RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, según las variables utilizadas.

#### 3.1 Influencia de la concentración de alcachofa adicionando 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Se estudió la influencia de la concentración de alcachofa para la generación de voltaje, en un tiempo de retención de 1168 horas. Las condiciones de ensayo se especifican en la tabla N° 3.

*Tabla N° 3. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de alcachofa.*

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Semicelda	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Alcachofa (g)										
Catalizador (g)										
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)										
NaCl (g)										
H <sub>2</sub> O (mL)										

*Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos en los ensayos, se encuentran en la tabla N° 14 (Anexos) y en la figura N° 6.

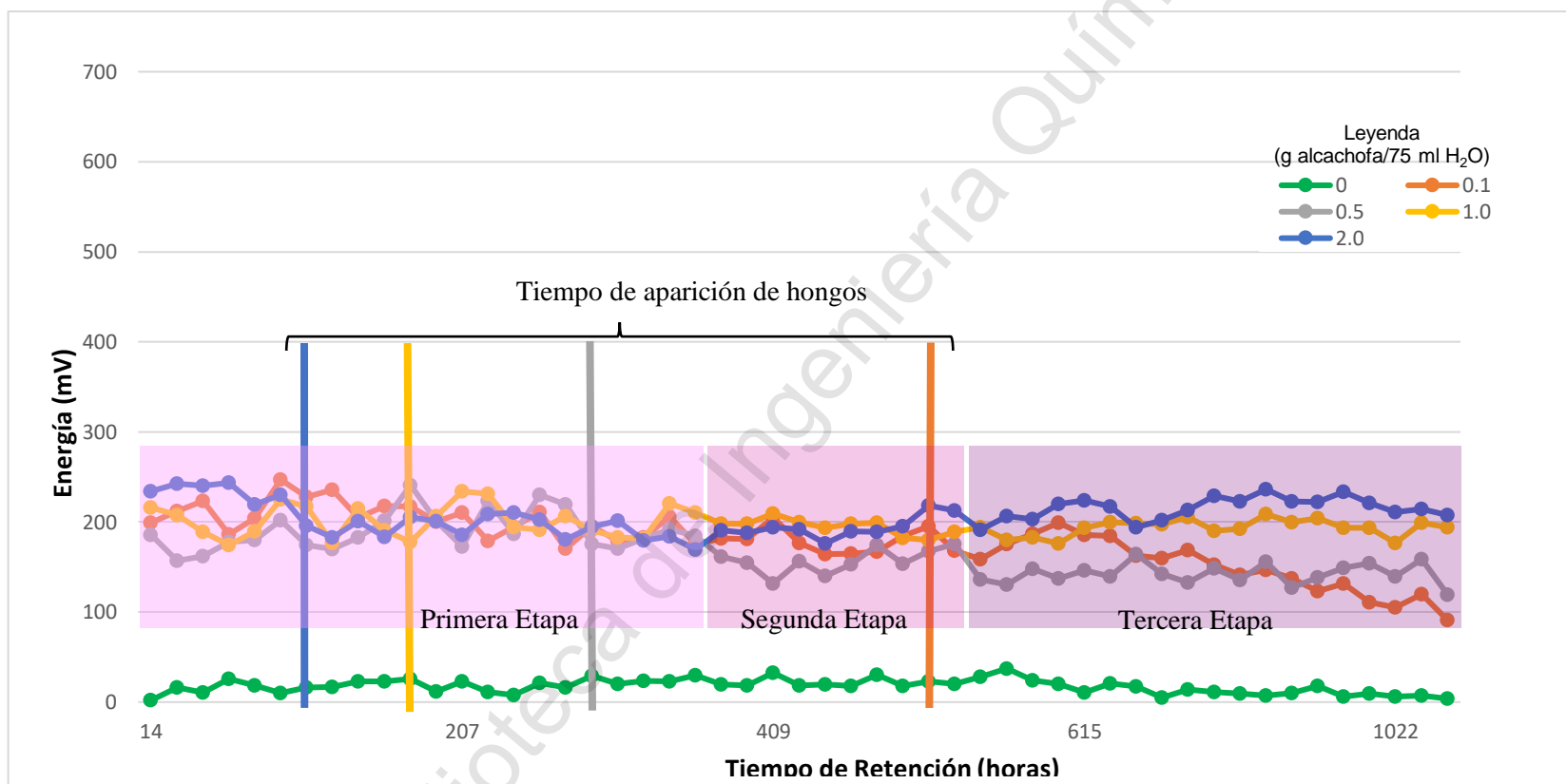


Figura N° 6. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje con adición de 2 mL de peróxido de hidrógeno. El inicio de la presencia de hongos se muestra con una línea vertical.



Adicionalmente, en el sistema se formaron hongos después de cierto tiempo, el cual se muestra en la tabla N° 4 y la figura N° 6 (indicado con una línea perpendicular). Se puede observar que a mayor concentración de alcachofa la aparición de hongos se da en menor tiempo.

Tabla N° 4. Tiempo de aparición de hongos respecto a la concentración de alcachofa.

[Alch.] (g alcachofa / 75 mL H <sub>2</sub> O)	Tiempo (horas)
0.0	----
0.1	530
0.5	268
1.0	145
2.0	98

Elaboración propia.



### 3.2 Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno

Se estudió la influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno para la generación de voltaje, en un tiempo de retención de 1168 horas. Las condiciones de ensayo se especifican en la tabla N° 5.

Tabla N° 5. *Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno.*

N° Ensayo	1		2		3		4		5		6	
Semicelda	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Alcahofa (g)												
Catalizador (g)												
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)												
NaCl (g)												
H <sub>2</sub> O (mL)												

*Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos en los ensayos, se presentan en la tabla N° 16 (Anexos) y la figura N° 7.

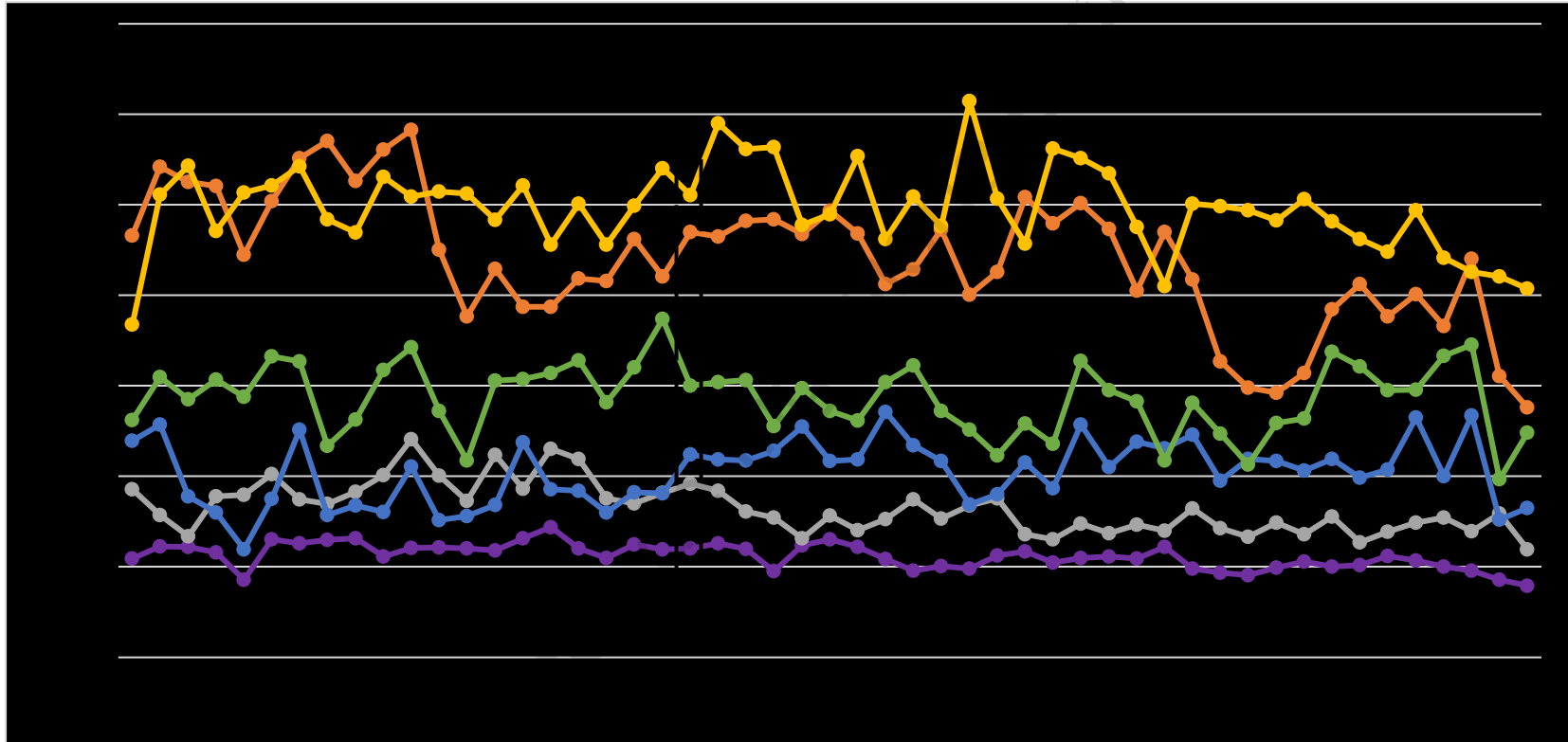
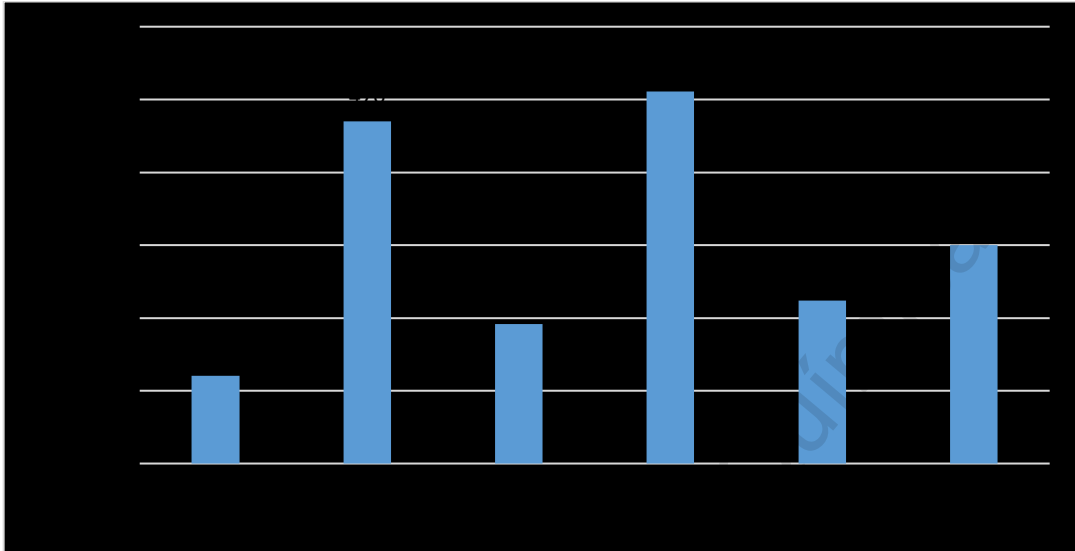


Figura N° 7. Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno en la generación de voltaje.





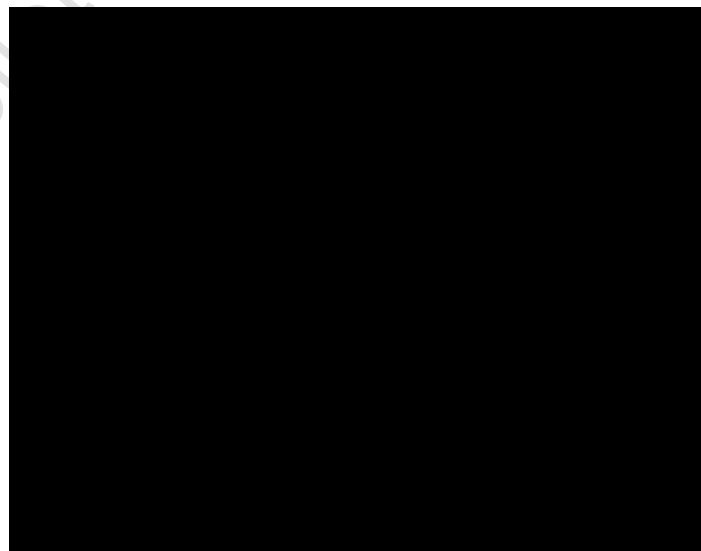
La figura N° 8 muestra la generación de voltaje a 300 horas de iniciado el sistema, en las diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno.



*Figura N° 8. Voltaje generado a diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno en el tiempo de retención de 300 horas.*

La presencia de hongos en el sistema se retarda con el aumento de concentración de peróxido de hidrógeno como se muestra en la tabla N° 6.

*Tabla N° 6. Tiempo de aparición de hongos respecto a la concentración de peróxido de hidrógeno.*



*Elaboración propia.*



### 3.3 Influencia de la concentración de alcachofa adicionando 4 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

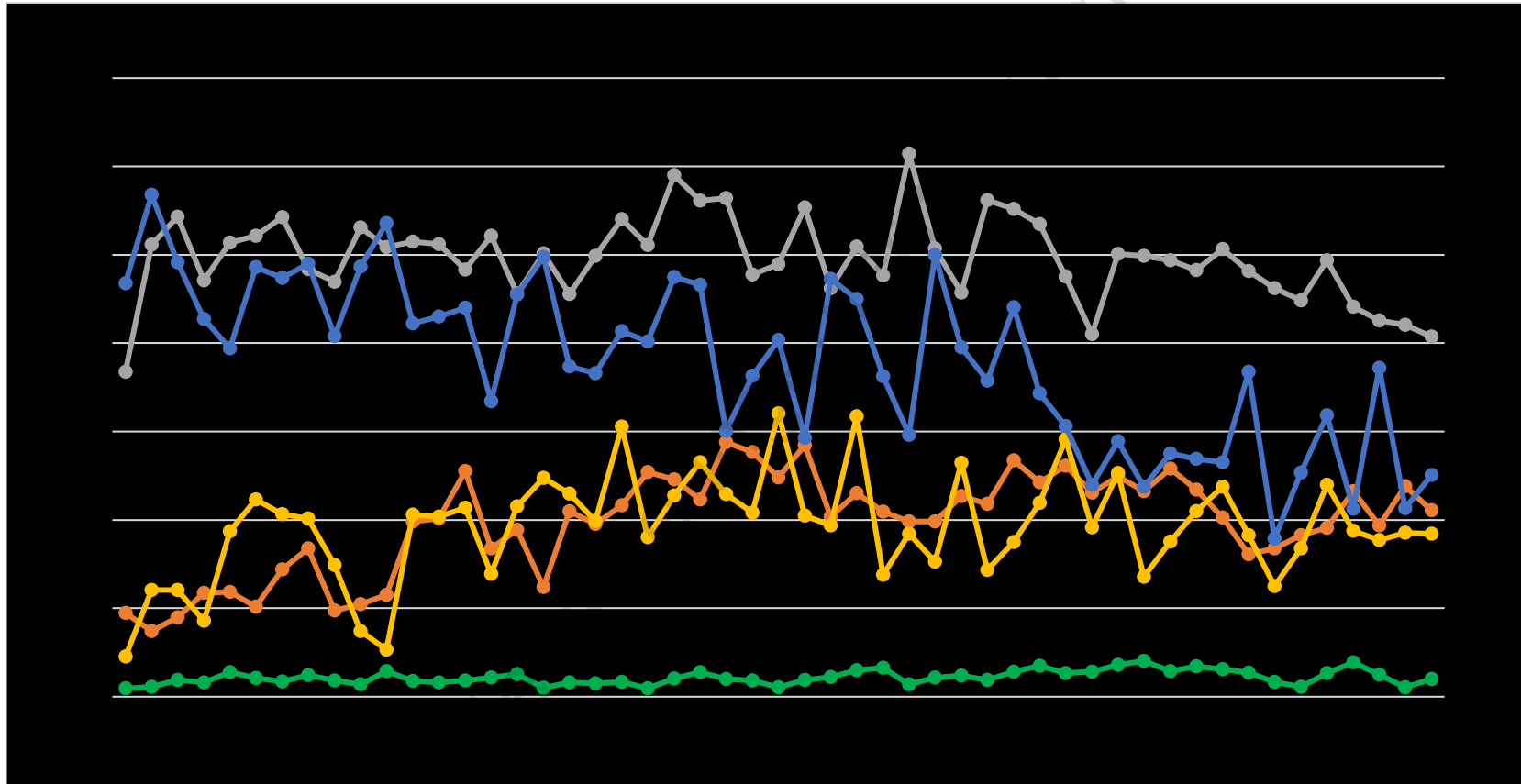
Se estudia la influencia de la concentración de alcachofa para cuando al sistema se adiciona una concentración de 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / 75 mL H<sub>2</sub>O. Se considera esta concentración de peróxido en función a los resultados obtenidos que se muestran en la figura N° 8. Las condiciones de ensayo se especifican en la tabla N° 7.

Tabla N° 7. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de alcachofa en condiciones de 4 mL de H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>.

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Semicelda	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Alcahofa (g)										
Catalizador (g)										
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)										
NaCl (g)										
H <sub>2</sub> O (mL)										

*Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 17 (Anexos) y en la figura N° 9.



*Figura N° 9. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje*



Tabla N° 8. Tiempo de la aparición de hongos respecto a la concentración de alcachofa con adición de 4 mL de peróxido de hidrógeno.

[Alch.] (g alcachofa / 75 mL H <sub>2</sub> O)	Tiempo (horas)
0.0	-----
0.1	-----
0.5	277
1.0	230
2.0	90

Elaboración propia.



### 3.4 Influencia de la concentración de catalizador

Se estudió la influencia de la concentración del catalizador, para la generación de voltaje. Las condiciones de ensayo se muestran en la tabla N° 9.

Tabla N° 9. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración de catalizador.

N° Ensayo	1		2		3		4	
Semicelda	A	B	A	B	A	B	A	B
Alcahofa (g)								
Catalizador (g)								
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)								
NaCl (g)								
H <sub>2</sub> O (mL)								

Elaboración propia.

Los resultados de ensayo, se encuentran en la tabla N° 18 (Anexos) y la figura N° 10. El tiempo de aparición de hongos se encuentra en la tabla N° 10.

Tabla N° 10. Tiempo de la aparición de hongos en las celdas respecto a la concentración de catalizador.

[Catalizador] (g cat. / 75 mL H <sub>2</sub> O)	Tiempo (horas)
0	-----
0.05	300
0.1	292
0.2	316

Elaboración propia.

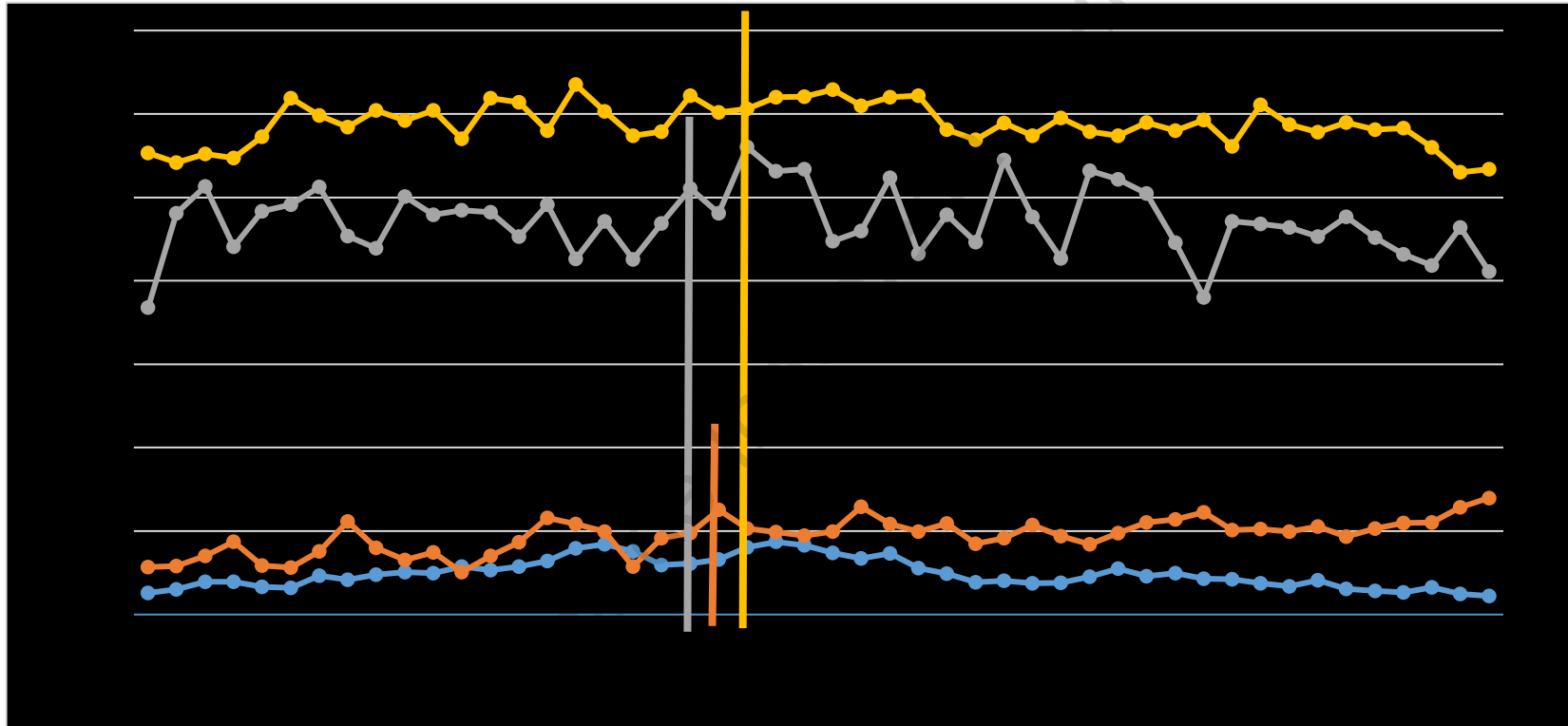


Figura N° 10. Influencia de la concentración de catalizador para la generación de voltaje.



### 3.5 Influencia de concentración de electrolito (NaCl)

Se estudió la influencia de la concentración del cloruro de sodio (NaCl) como electrolito, para la generación de voltaje, las condiciones de ensayo se muestran en la tabla N° 11.

*Tabla N° 11. Parámetros de ensayo para el estudio de la influencia de la concentración del cloruro de sodio.*

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Semicelda	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Alcahofa (g)										
Catalizador (g)										
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)										
NaCl (g)										
H <sub>2</sub> O (mL)										

*Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla N° 19 (Anexos) y la figura N° 11.

En el sistema se observa la presencia de hongos, los cuales aparecen en el tiempo y se muestran de la tabla N° 12 y en la figura N° 11 se indica con una línea perpendicular al eje del tiempo de retención.



Tabla N° 12. Tiempo de la aparición de hongos respecto a la concentración de cloruro de sodio.

<b>[NaCl] (g NaCl/75mL H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Tiempo (horas)</b>
0.0	---
0.05	277
0.1	300
0.15	316
0.2	325

Elaboración propia.

Biblioteca de Ingeniería Química



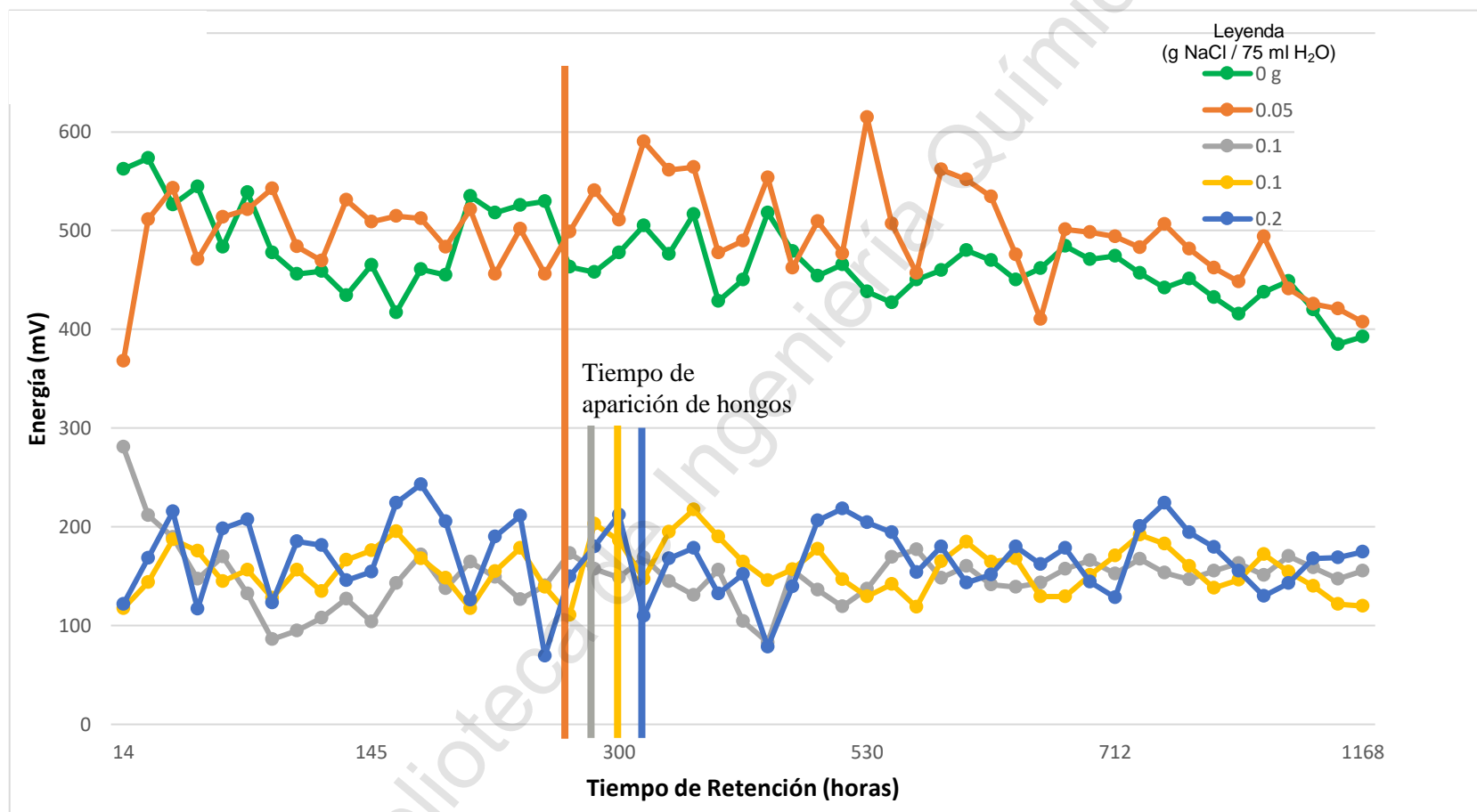


Figura N° 11. Influencia de la concentración del cloruro de sodio en la generación de voltaje.



## CAPITULO IV

### DISCUSION

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, según las variables utilizadas.

#### 4.1 Influencia de la concentración de alcachofa adicionando 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Se observan tres comportamientos en el tiempo:

- a. Primera etapa, de 0 a 316 horas, no se observa diferencia significativa en la generación de voltaje para las diferentes concentraciones de alcachofa, los resultados varían en el rango de medición, el cual fue entre 157 mV y 247 mV. Lo anteriormente expuesto queda demostrado en la tabla N° 15 de anexos, donde se encuentran los cálculos realizados de ANOVA, que muestran que se acepta la hipótesis nula, lo cual nos indica que no existen diferencias significativas entre las variables.
- b. Tercera etapa, entre 548 y 1168 horas, se observa una marcada diferencia en la generación de voltaje, presentándose en el siguiente orden para las diferentes concentraciones de alcachofa:

$$0.1 \text{ g alcachofa}/75 \text{ mL H}_2\text{O} < 0.5 \text{ g alcachofa}/75 \text{ mL H}_2\text{O} < 1 \text{ g alcachofa}/75 \text{ mL H}_2\text{O} < 2 \text{ g alcachofa}/75 \text{ mL H}_2\text{O}$$

Adicionalmente, se puede observar lo siguiente:

- En **0.1** g alcachofa / 75 mL H<sub>2</sub>O, la generación de voltaje llega a alcanzar los 91 mV, mientras que para **1** g alcachofa / 75 mL H<sub>2</sub>O se mantiene en el rango de 176 mV y 209 mV. Lo cual no guarda relación simétrica, debido a que las concentraciones se diferencian en diez veces y los voltajes en el doble.



- La diferencia de voltaje generado para 1 g alcachofa / 75 mL H<sub>2</sub>O y 2 g alcachofa / 75 mL H<sub>2</sub>O, es de aproximadamente 30 mV, la cual es relativamente pequeña, comparando con la diferencia de concentraciones de alcachofa.

En general, a mayor concentración de alcachofa, el sistema genera mayor cantidad de voltaje, sin embargo, cuando la concentración de alcachofa es elevada la generación de voltaje no es muy significativa.

Los resultados muestran una proporcionalidad entre el contenido de alcachofa y la generación de voltaje. Para obtener voltaje de la alcachofa, se deben producir reacciones de oxidación-reducción.

El compuesto orgánico que se encuentra en mayor proporción en la alcachofa son los carbohidratos, como se muestra en la tabla N° 13. (García et al., 2008)

*Tabla N° 13. Análisis porcentual de compuestos de la alcachofa, con base de 100 g.*

<b>Compuestos</b>	<b>Contenido</b>	<b>Compuestos</b>	<b>Contenido (mg)</b>
Agua (%)	86.5	Calcio	51
Ceniza (g)	1.8	Magnesio	10
Calorías totales (kcal)	4.0	Fósforo	69
Calorías de grasa	0	Potasio	310
Carbohidratos (%)	9.9	Hierro	1.1
Azúcares (g)	1.0	Ac. Ascórbico (Vit. C)	8.0
Proteína (g)	2.8	Tiamina (Vit. B1)	0.07
Grasas (g)	0.2	Riboflavina (Vit. B2)	0.04
Fibra (g)	3.4	Niacina	0.85
Colesterol	0	Retinol (Vit. A)	150

*Referencia: Industrialización integral de la alcachofa en pasta nutricional y para alimentos balanceados. (García et al, 2008)*



Dosi et al. (2013) indican que el 10.17% del contenido total de alcachofa está conformado por carbohidratos. Dentro de ellos, el tipo inulina conforma del 10 al 30.7% concentración en peso seco (Ruiz-Aceituno et al., 2016).

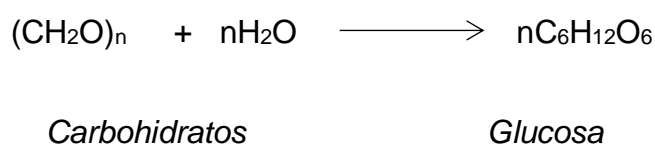
Lattanzio et al. (2009), muestran que la alcachofa se caracteriza por un alto contenido de inulina que puede representar hasta el 75% del contenido glucídico total.

Adicionalmente, existen otros carbohidratos de bajo peso molecular en las brácteas internas de alcachofa, compuestos bioactivos tales como inositoles (*chiro-*, *scyllo-* y *myo*-inositol) a niveles de 2 mg / g de peso seco. (Hernández –Hernández et al., 2011)

La alcachofa contiene bajos niveles de lípidos, altos niveles de minerales, vitamina C y fibra; son especialmente una fuente importante de inulina como hidrato de carbono de reserva (Ruiz-Cano et al, 2015) (Tengilimoglu-Metin et al., 2017).

Las reacciones de oxidación – reducción que probablemente se producen en el sistema son debido a los carbohidratos.

Gracia y Zavala (2017) proponen la siguiente reacción de hidrólisis (en ambas semi-celdas):



Se presentan las reacciones de oxidación-reducción:

- En el ánodo, se oxida la glucosa, produciéndose liberación de electrones.

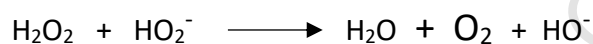
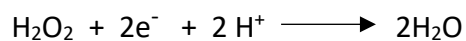
Referencia: The Bodner Group, Division of Chemistry Education  
“Electrochemical Reactions” (2004).





- En el cátodo, la glucosa se reduce, de igual modo, el peróxido de hidrógeno hasta la formación de agua, produciéndose ganancia de electrones.

Referencia (Monteza V., 2016)



Lo expuesto anteriormente se muestra en la figura N° 12. Es el peróxido de hidrógeno el que inicia la reacción, cuya influencia es estudiada a continuación.

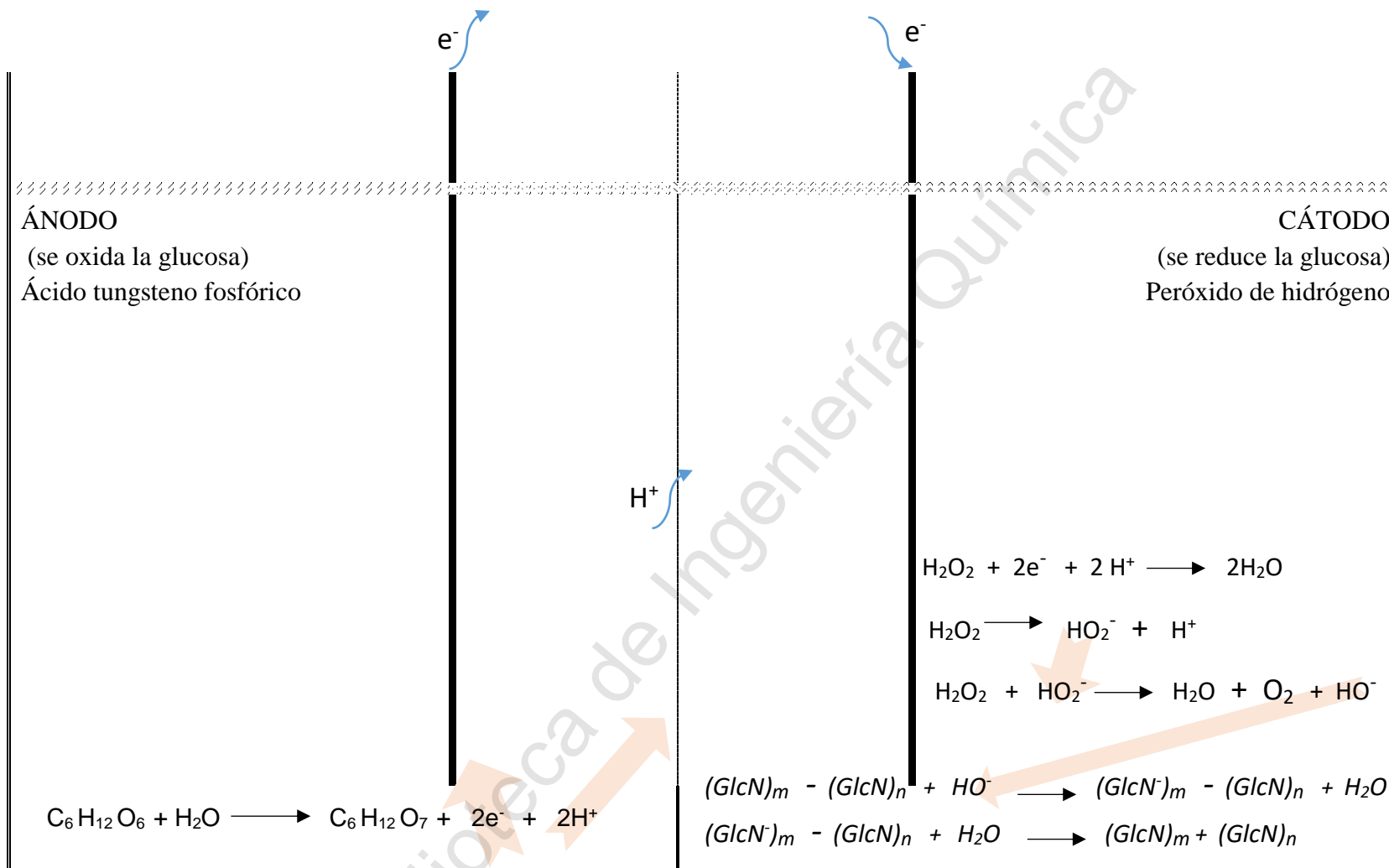


Figura N° 12. Diagrama del sistema y las reacciones de oxidación – reducción.



## 4.2 Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno

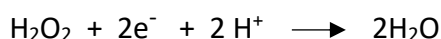
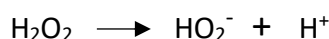
Dados los resultados, se observa que:

- a) No hay una relación directamente proporcional entre la generación de voltaje y la concentración de peróxido. Si se considera los resultados a 300 horas de contacto, mostrados en la figura N° 8 (repetidos dos veces en cada ensayo), se observa que para 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / 75 mL H<sub>2</sub>O y 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / 75 mL H<sub>2</sub>O de peróxido existe la mayor generación de voltaje.

Se ha comentado que son los hidratos de carbono los que generan las reacciones de oxidación – reducción. Las cuales son activadas por los radicales OH<sup>-</sup> del peróxido de hidrógeno.

Gonzales et al. (2015) Indican que el radical hidroxilo es un oxidante muy poderoso, cuya principal acción química del HO• con un polisacárido es la abstracción de hidrógeno para formar agua.

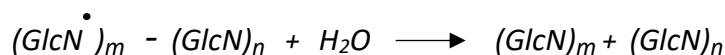
Domenech et al. (2004), muestra que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se descompone en radicales OH\* de manera:



El ataque del peróxido está enfocado principalmente a degradar los grupos terminales y enlaces glucosídicos en las últimas unidades de glucosa de la cadena polisacárida. Reaccionan con los carbohidratos degradándolo mediante reacciones de



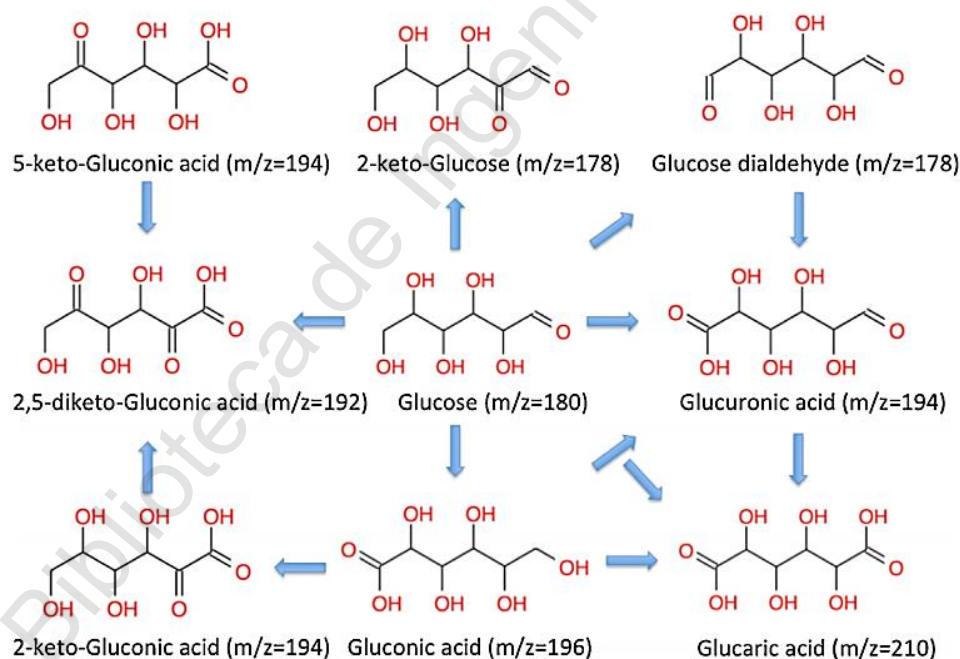
oxidación-reducción.



Referencia: Gonzales *et al.* (2015).

Wojcieszak R. *et al.* (2016) proponen que el ataque oxidativo que ocurre preferentemente en los grupos terminales de las cadenas poliméricas, generando diferentes ácidos en una secuencia como se muestra a continuación.

Figura N° 13. Productos de la oxidación de la glucosa.

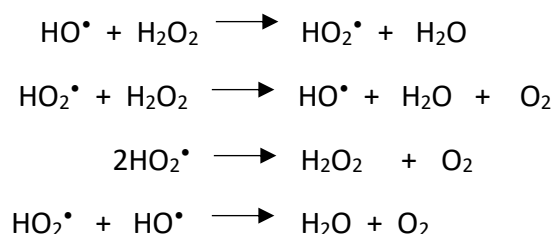


Fuente: Wojcieszak R. *et al.* (2016).

En exceso de peróxido y con altas concentraciones de HO•, tienen lugar reacciones competitivas que producen un efecto inhibitorio para la degradación. Los HO• son susceptibles de recombinarse o de reaccionar de acuerdo con el siguiente esquema:

Referencia: Domenech *et al.* (2001)





La primera y última reacción consumen  $\text{HO}^\bullet$  y disminuyen la probabilidad de oxidación. Se debe determinar en cada caso la cantidad óptima de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , para evitar un exceso que podría retardar la degradación. (Domenech et al, 2001)

La presencia de hongos en el sistema se retarda con el aumento de concentración de peróxido de hidrógeno (tabla N° 6). Dicha presencia no parece influir en la generación de voltaje lo cual queda demostrado en la tabla N° 20 (anexos) donde se concluye que la diferencia observada no es estadísticamente significativa.

- Para concentraciones de alcachofa de **0.5 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O** se generan los más altos voltajes, que en promedio es de 500 mV hasta las 600 horas de tiempo de reacción y posteriormente presenta una tendencia a disminuir que a las 1000 horas queda aproximadamente en 400 mV.
- Para una concentración de alcachofa de **2.0 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O**, se alcanza inicialmente voltajes del orden aproximado de 480 mV hasta las 500 horas para posteriormente disminuir, alcanzando los 220 mV a las 1000 horas.

Se observa que existen comportamientos similares para concentraciones de 0.1 y 1.0 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O, así como 0.5 y 2.0 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O. En donde al analizar los promedios de los voltajes generados se observa que se inicia con 197 mV para 0.1 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O, luego se incrementa el voltaje a 496 mV para 0.5 g alc./75 mL H<sub>2</sub>O. Posteriormente el voltaje disminuye a 192 mV para



1.0 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O y finalmente volver a incrementar el voltaje generado a 379 mV para 2.0 g alc./ 75 mL H<sub>2</sub>O.

Los ensayos fueron realizados por triplicado, mostrándose las tendencias antes descritas. Por lo tanto, este comportamiento en zigzag posiblemente se debe a un problema disfuncional debido a que el sistema no se agita.

En el sistema se observa la aparición de hongos, la tabla N° 8 muestra el tiempo en el cuál dicha presencia se hizo notable, sin embargo, como se refleja en los resultados, la presencia de hongos aparentemente no influye en la generación de voltaje, como se demuestra en la prueba t de student (tabla N° 21 – anexos).



#### 4.4 Influencia del catalizador

La utilización del ácido tungsteno fosfórico como catalizador para acelerar las reacciones ha sido estudiado por Pizzio et al (1997), Chimienti et al. (2000), Kim et al. (2006), García (2010) y Kourasi et al. (2014) en donde muestran que el heteropoliácido es responsable de acelerar las reacciones de oxidación - reducción de la glucosa.

También se observa que la presencia del ácido tungsteno fosfórico incrementa el voltaje generado hasta en el orden de magnitud desde 50 mV (sin catalizador) a 580 mV (0.2 g catalizador/75 mL H<sub>2</sub>O), a condiciones de 0.5 g alcachofa, 4 mL catalizador, 0.05 g cloruro de sodio y 75 mL agua destilada.

Los resultados obtenidos tienen la misma tendencia que los reportados por Pérez y Rodríguez (2014), Alayo y Baca (2016), Vásquez y Zavala (2017), López y Puente (2017), donde se indica que, en sistemas similares al realizado en el presente trabajo, al incrementarse la cantidad del catalizador, se incrementa la generación de voltaje.

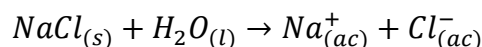
En el sistema también se observa la presencia de hongos, los cuales aparecen en el tiempo y que se muestran en la tabla N° 10 (en la figura N° 10 se indica con una línea perpendicular al eje del tiempo). Por los valores de voltaje obtenidos, indicaría que no existe relación entre la presencia de hongos y la concentración del catalizador.

Los hongos aparecen aproximadamente a las 300 horas para las diferentes concentraciones de catalizador utilizado, lo cual indicaría, que la aparición de hongos estaría relacionada más con la concentración de alcachofa y no con la adición de catalizador. Así mismo no influyen en la generación de voltaje como se comprueba en la tabla N° 22 (anexos) con pruebas de t de student, antes y después de la aparición de hongos.



#### 4.5 Influencia del electrolito

El cloruro de sodio se disocia completamente en agua como  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  siendo un electrolito fuerte: (Gomez, 2010)



El uso del cloruro de sodio como electrolito en bioceldas, ha sido reportado por Jang *et al* (2004) donde observa que existe diferencia significativa en amperaje entre los ensayos con y sin adición de NaCl. Los resultados muestran un incremento de generación de energía de 34 % y de hasta 120 % cuando la adición es continuada, posiblemente debido a la mayor disponibilidad de protones para el cátodo.

Reimers *et al* (2001) y Tender *et al* (2002) utilizan el entorno marino para un mejor rendimiento en un sistema de celdas de combustible, aprovechando los electrolitos NaCl del mismo.

Los resultados obtenidos muestran que la influencia de la concentración del electrolito en la generación de voltaje es:

- Cuando la concentración de NaCl es de 0.1, 0.5 y 0.2 g NaCl/75mL  $\text{H}_2\text{O}$  la generación de voltaje es similar en el tiempo en el orden entre 100 mV y 250 mV aproximadamente.
- Para concentraciones de cloruro de sodio de 0 y 0.05 g NaCl/75mL  $\text{H}_2\text{O}$  los voltajes generados es entre 400 mV a 600 mV. Estos resultados son muy superiores a los observados para mayores concentraciones de NaCl.



Los resultados indican que al incrementar la concentración de cloruro de sodio disminuye sustancialmente la generación de voltaje, lo cual se explicaría con:

- La ecuación de Kohlrausch, la cual muestra que la conductividad molar depende de la concentración del electrolito, no de manera proporcional, debido a que la interacción entre los iones es asociativa a concentraciones altas. De manera que, la conductividad disminuye lentamente cuando aumenta la concentración, porque aumentan las atracciones entre iones de signo contrario, disminuyendo su movilidad.
- La teoría de Debye – Hückel sobre las interacciones iónicas, postulan que la base de que los iones en solución se encuentran rodeados de un exceso de iones de carga opuesta (atmósfera iónica), que limita su movimiento.

Adicionalmente la alcachofa en su composición presenta potasio; presumiblemente como ion potasio, el cual es también un electrolito (García et al., 2008), por lo tanto, la adición de pequeñísimas cantidades de cloruro de sodio es suficiente para la movilidad iónica y que, al adicionar mayor cantidad de NaCl prácticamente la movilidad iónica se satura, situación que es materia de investigación.

En el sistema se observa la presencia de hongos, los cuales aparecen en el tiempo y se muestran de la tabla N° 12 y en la figura N° 11 se indica con una línea perpendicular al eje del tiempo de retención.



La presencia de hongos no parece influir en la generación de voltaje (ver figura N° 11 y tabla N° 23 de anexos). Como se observa en la tabla N° 12, los hongos aparecen a las 300 horas aproximadamente para las diferentes concentraciones de cloruro de sodio utilizado; lo cual indica que éstos no se encuentran condicionados a la adición del electrolito.

Biblioteca de Ingeniería Química



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

En el trabajo realizado de: “La alcachofa (*Cynara Scolymus L.*) como fuente de energía eléctrica en bioceldas galvánicas: influencia del tiempo de retención” se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se puede utilizar la alcachofa para generación de voltaje en presencia de peróxido de hidrógeno y ácido tungsteno fosfórico, mediante reacciones de oxidación-reducción.
- La presencia del ácido tungsteno fosfórico como catalizador incrementa la generación de voltaje, de 50 mV (sin adición de catalizador) hasta 580 mV (adición de 0.2 g catalizador / 75 mL H<sub>2</sub>O).
- En el sistema se genera hongos los cuales dependen principalmente de la concentración de alcachofa utilizada y su presencia no tiene influencia estadísticamente significativa en la generación del voltaje.
- Las condiciones bajo las cuales se obtiene la mayor generación de voltaje son: **0.5** g alcachofa, **4** mL peróxido de hidrógeno, **0.2** g catalizador, **0.05** g cloruro de sodio y **75** mL agua destilada.



## CAPITULO VI

### RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar una identificación de los hongos presentes en el sistema.
- ✓ Realizar ensayos de escalamiento para generar mayor cantidad de voltaje y poder almacenarlo.
- ✓ Realizar ensayos a condiciones anaeróbicas.

Biblioteca de Ingeniería Química





## CAPITULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agencia agraria de noticias (2014) Exportaciones de alcachofa alcanzaron US\$ 22.9 millones. Recuperado de <http://agraria.pe/noticias>

Alayo Z. y Baca L. (2016) Influencia de la densidad de corriente para incrementar la generación de energía en bioceldas de almidón. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.

Banco Central de Reserva del Perú. (2015) *Informe Económico y Social – Región La Libertad*. Encuentro Económico. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional>

Bazán, R. (2016) *Desarrollo Regional y Competitividad*. Cámara de Comercio de La Libertad. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe>

Bullen R.A., Arnot T.C., Lakeman J.B., Walsh. F.C. (2006). Biofuel cells and their development. *Biosensors and Bioelectronics*. 21(11). 2015 – 2045. doi: 10.1016/j.bios.2006.01.030

Cañizares P., Rodrigo M.A. y Lobato J. (2013). Celdas de combustible microbiológicas: Producción de energía eléctrica a partir de la depuración de aguas residuales. (tesis de pregrado). Universidad de Castilla - La Mancha, España.

Catal T., Li K., Bermek H. & Liu H. (2008). Electricity production from twelve monosaccharides using microbial fuel cells. *Journal Power Sources*. 175. 196–200.

Agrodata (2015) Centro Peruano de Estudios Sociales. Cultivo de la alcachofa en el Perú. Agrodata. Revista Agraria, 2, p. 88



- Chae K-J., Choi M-J., Lee J-W., Kim K-Y. & Kim S. (2009). Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells. *Bioresource Technology*. 100. 3518.
- Chimienti, M. E., Pizzio, L. R., Cáceres, C. V, Blanco, M. N. (2001). Tungstophosphoric and tungstosilicic acids on carbon as acidic catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 208(1-2), 7–19. doi:10.1016/S0926-860X(00)00702-X
- Claus T., Maruyama S. A., Palombini S. V., Montanher P. F., Bonafé E. G., Santos O. O., Matsushita M. y Visentainer J. V. (2015) Chemical characterization and use of artichoke parts for protection from oxidative stress in canola oil. *LWT – Food Science and Technology*. 61. 346-351. doi: 10.1016/j.lwt.2014.12.050
- Conidi C., Cassano A. & Garcia-Castello E. (2014) Valorization of artichoke wastewaters by integrated membrane process. *Water Research*. 48, 363–374. doi:10.1016/j.watres.2013.09.047
- Conidi C., Rodriguez-Lopez A.D., Garcia-Castello E.M. & Cassano A. (2015) Purification of artichoke polyphenols by using membrane filtration and polymeric resins. *Separation and Purification Technology*. 144, 153–161.
- Corzo, N., Alonso, J. L., Azpiroz, F., Calvo, M. A., Cirici, M., Leis, R., Lombó, F., M. Aparicio, I., Plou, F. J., Ruas-Madiedo, P., Rúperez, P., Redondo-Cuenca, A., Sanz, M. L., & Clemente, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrición Hospitalaria*, 31, 99-118.
- Coussement, P. A. A. (1999). Inulin and oligofructose as dietary fiber: Analytical, nutrition and legal aspects. In: Cho, S. S., Prosky, L., & Greher, M. (eds). *Complex Carbohydrates in Foods*. Marcel Dekker, New York, pp. 203-212.
- Decreto Legislativo N°1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario El Peruano. Normas Legales, Lima, Perú. 23 de diciembre de 2016. 607472-607488
- Domenech X., Jardim W., Litter M. (2001) “Procesos Avanzados De Oxidación para la Eliminación de Contaminantes” CONICET y ANPCYT Argentina.



- Domènech X., Jardim W. F. y Litter M. I. (2004) Advanced oxidation processes for the removal of pollutants. *Investigación que forma parte del proyecto CNEA-CAC-UAG#95 Q-03-05*. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/>
- Dosi, R., Daniele, A., Guida, V., Ferrara, L., Severino, V. y Di Maro, A. (2013). Nutritional and metabolic profiling of the globe artichoke ('*Cynara scolymus*' L. 'Capuanella' heads) in province of Caserta, Italy. *Australian Journal of Crop Science*, 7(12).
- ElShafei G. M. S., ElShebiny I. M. A., Darwish A. S. & Philip C. A. (2016) Artichoke as a non-conventional precursor for activated carbon: Role of the activation process. *Journal of Taibah University for Science*. doi: 10.1016/j.jtusci.2016.04.006
- Farje O. Z. y Vargas E.F. (2013) Obtención de energía eléctrica a partir del almidón: influencia de la concentración de HCL, temperatura y sustrato. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú
- Feng Y., Wang X., Logan B.E. & Lee H. (2008). Brewery wastewater treatment using air-cathode microbial fuel cells. *Appl. Microbiology Biotechnology*. 78. 873–880.
- Flamm G, Glinsmann W, Kritchevsky D, Prosky L. y Roberfroid M. (2001) Inulin and oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. *Crit. Rev Food Sci Nutr*. 41.353-362.
- Franck, A. (2002) Technological functionality of inulin and oligofructose. *British J Nutr*. 87: 287-291.
- García E., Rodríguez P., Lobo A., Hoffman P., Uzcategui A., Villarroel M., Castillo H., González S., Imbert F. (2010) "Isomerización de m-xileno sobre MCM-48 impregnada con ácido tungsteno fosfórico" *Avances en Química*, 5(2), 99-105.
- García Zapata, Teonila (2008). Industrialización integral de la alcachofa en pasta nutricional y para alimentos balanceados. *Industrial Data*. Vol 11 (1), 37-46
- Giroud F. et al. (2012). An enzymatic biofuel cell based on electrically wired polyphenol oxidase and glucose oxidase operating under physiological conditions. *Electrochimica Acta*. Vol 85, 278-282.



- González C., Valbuena A., Celis B., Perentena L., Colina M., (2015) Degradación Oxidativa de Quitosano con Peróxido de Hidrógeno. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen* 16(1). Universidad del Zulia - Maracaibo, Venezuela.
- Gonzales C., Valbuena A., Celis B., Perentena L., Colina M., (2015) “Degradación Oxidativa de Quitosano con Peróxido de Hidrógeno” *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 16(1) - Universidad del Zulia-Maracaibo-Venezuela.
- Hernández-Hernández, O., Ruiz-Aceituno, L., Sanz, M. L., & Martínez-Castro, I. (2011). Determination of free inositols and other low molecular weight carbohydrates in vegetables. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59(6), 2451–2455.
- Hu, Z., (2008) Electricity generation by a baffle-chamber membraneless microbial fuel cell. *Journal Power Sources*. 179, 27–33.
- Huaman Arqueros J. (2014). Generación de energía eléctrica utilizando residuos orgánicos líquidos en procesos anaeróbicos. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.
- Jang J. K., Pham T. H., Chang I. S., Kang K. H., Moon H., Cho K. S. & Kim B. H. (2004) Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell. *Process Biochemistry*. 39. 1007–1012
- Khder, A., Hassan, H., El-Shall, M. (2014). Metal-organic frameworks with high tungstophosphoric acid loading as heteroneous acid catalysts. *Applied Catalysis A General*, 487, 110 – 118.
- Kim B.H., Park H.S., Kim H.J., Kim G.T., Chang I.S., Lee J. & Phung N.T. (2004). Enrichment of microbial community generating electricity using a fuel cell-type electrochemical cell. *Appl. Microbiology Biotechnology*. 63, 672–681.
- Kim J., Jia H., Wang P. (2006). Challenges in biocatalysis for enzyme-based biofuel cells. *Biotechnology Advances*. 24. 296-300.
- Kourasi M., Wills R.G.A, Shah A.A., Walsh F.C. (2014). Heteropolyacids for fuel cell applications. *Electrochimica Acta*. 127. 454-466.



Lattanzio, V., Kroon, P. A., Linsalata, V., & Cardinali, A. (2009). Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods*, 1(2), 131–144.

Lee H.S., Parameswaran P., Kato-Marcus A., Torres C.I. & Rittman B.E. (2008). Evaluation of energy-conversion efficiencies in microbial fuel cells (MFCs) utilizing fermentable and non-fermentable substrates. *Water Resource*. 42. 1501– 1510.

Li W., Zhang J., Yu C., Li Q., Dong F., Wang G. y Gu G., Guo Z.. (2015) Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydrate Polymers*. 121. 315-319. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.12.055

Liu H., Cheng S. & Logan B.E. (2005). Production of electricity from Acetate or Butyrate using a single-chamber Microbial Fuel Cell. *Environmental Science and Technology*. 39. 658,661.

López-Molina, D., Navarro-Martínez, M.D., Rojas Melgarejo, F., Hiner, A.N.P., Chazarra, S. y Rodríguez-López, J.N. (2005). Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Phytochemistry*. 66, 1476-1484.

Lu N., Zhou S-G., Zhuang L., Zhang J-T. & Ni J-R. (2009). Electricity generation from starch processing wastewater using microbial fuel cell technology. *Biochemical Engineering Journal*. 43. 246.

Madrigal L. y Sangronis E. (2007) La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Caracas, Venezuela.

Maietta M., Colombo R., Lavecchia R., Sorrenti M., Zuorro A. y Papetti A. (2017). Artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *Scolymus*) waste as a natural source of carbonyl trapping and antiglycative agents. *Food Research International*. doi: 10.1016/j.foodres.2017.08.007

Mataix J. y Sanchez F. (2004). Lípidos: Nutrientes. Majadahonda (Madrid): ISBN 84-8473-247-9

Mondragón V. M. (2017). La Libertad: Análisis de las exportaciones del sector agropecuario 2015 – 2016. Recuperado de <http://www.victormondragon.com>

Ediciones Pirámide. Madrid, España.

Morris, C. & Morris, G. A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: *A review. Food Chemistry*, 133, 237-248.

Natividad Bardales, A. D., Cisneros Santos, G., Rojas Portal, R. M., Matos Ramirez, A. M. y Ramos Ramírez, M. E. (2008). Conserva de Fondos de Alcachoha (*Cynara scolymus*) de la Región Huánuco. *Investig. Valdivama 2* (2).

Nikbakht, F., Akbar, H., Sabari, D., Azizi, K. (2013). Oxidation secondary amines to nitrones using magnetically separable tungstophosphoric acid supported on sílica – encapsulated  $\gamma$  –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles. *Tetrahedron Letters*, 54, 6520 – 6523.

Pandino, G., Lombardo, S., Mauromicale, G. y Williamson, G. (2011). Profile of polyphenols and phenolic acids in bracts and receptacles of globe artichoke (*Cynara scolymus*) germplasm. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 148–153.

Pant D., Bogaert G.V., Diels L., Vanbroekhoven K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*. 101. 1533-1543.

Pérez Zumaeta R. P. y Rodríguez García M. L. (2014). Influencia del ácido tungsteno fosfórico para la generación de energía eléctrica en bioceldas de almidón. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.

Pizzariello A., Stred'ansky M. & Miertus S. (2002). A glucose/hydrogen peroxide biofuel cell that uses oxidase and peroxidase as catalysts by composite bulk-modified bioelectrodes based on a solid binding matrix. *Bioelectrochemistry*. Vol. 56, 99-105.

Polaina J. (2004). Estructura, función e ingeniería molecular de enzimas implicadas en la digestión de Carbohidratos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Instituto de



- Rabaey K., Lissens G., Siciliano S.D. & Verstraete W. (2003). A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. *Biotechnology Letters*. 25. 1531, 1535.
- Rabelo R. S., Machado M. T. C., Martínez J. & Hubinger M. D. (2016) Ultrasound assisted extraction and nanofiltration of phenolic compounds from artichoke solid wastes. *Journal of Food Engineering*. 178, 170-180. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.018
- Ramanaviciusa A., Kausaitea A. & Ramanaviciene A. (2005). Biofuel Cell Base On Direct Bioelectrocatalys. *Biosensors And Bioelectronics*. 20, 1963.
- Ramírez Padilla, B. R. y Goyes Acosta, R. I. (2004) *Botánica Generalidades, Morfología y Anatomía de las Plantas Superiores*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/305566736\\_Botanica\\_Generalidades\\_Morfologia\\_y\\_Anatomia\\_de\\_plantas\\_superiores](https://www.researchgate.net/publication/305566736_Botanica_Generalidades_Morfologia_y_Anatomia_de_plantas_superiores)
- Reimers CE, Tender LM, Fertig S, Wang W. Harvesting energy from the marine sediment-water interface. *Environ Sci Technol* 2001; 35:192-5
- Ren Z., Ward T.E. & Regan J.M. (2007). Electricity production from cellulose in a microbial fuel cell using a defined binary culture. *Environmental Science and Technology*. 41. 4781.
- Rezaei F., Richard T.L. & Logan B.E. (2009). Analysis of chitin particle size on maximum power generation, power longevity, and Coulombic efficiency in solid-substrate microbial fuel cells. *Journal Power Sources*. 192. 304.
- Rismani-Yazdi H., Christy A. D., Dehority B. A., Morrison M., Yu Z. & Tuovinen O. H. (2007). Electricity generation from cellulose by rumen microorganisms in microbial fuel cells. *Biotechnol. Bioeng*. Vol 97, 1398-1407.
- Roberfroid M. (2002) Functional foods: concepts and applications to inulin and oligofructose. *Brit J Nutr*. 87: 139-143.
- Rodríguez López, J. N. (2006) Aprovechamiento de Residuos de Alcachofa. Murcia, España. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular.
- Ronkart, S. N., Blecker, C. S., Fourmanoir, H., Fougnes, C., Deroanne, C., Van Herck, J. C., & Paquot, M. (2007). Isolation and identification of inuloooligosaccharides resulting from inulin hydrolysis. *Analytica Chimica Acta*, 604, 81-87.



Extraction of bioactive carbohydrates from artichoke (*Cynara scolymus L.*) external bracts using microwave assisted extraction and pressurized liquid extraction. *Food Chemistry*. 196. 1156–1162. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.10.046

Ruiz-Cano D., López J. A., Frutos M. J., Zamora S. y Pérez-Llamas F. (Marzo de 2015)

Efecto del tipo de manteca de cerdo sobre la calidad de la grasa y características organolépticas de una masa pastelera. Simposio llevado a cabo en el IX Congreso FESNAD. Clínica en Medicina. Sevilla. España.

Ruiz-Cano, D., Frutos, M. J., Hernández-Herrero, J. A., Pérez-Llamas, F., & Zamora S.

(2015). Effect of chlorophyll removal and particle size upon the nutritional and technological properties of powdered by-products from artichoke (*Cynara scolymus, L.*) industrial canning. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 2383-2390.

Saleh I. A., Vinatoru G., Mason T. J., Abdel-Azim N. S. Aboutabl E. A. & Hammouda F.

M. (2016) A possible general mechanism for ultrasound-assisted extraction (UAE) suggested from the results of UAE of chlorogenic acid from *Cynara scolymus L.* (artichoke) leaves. *Ultrasonic Sonochemistry*. 31, 330-336. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.01.002

Sims R., Mabee W., Saddler J & Taylor M. (2010). An Overview of Second Generation

Biofuel Technologies. *Bioresource Technology*. 101, 1570–1580.

Tender LM, Reimers CE, Stecher HA, Holmes DE, Bond DR, Lowy DA, Pilobelo K, Fertig

SJ, Lovley DR. Harnessing microbially generated power on the seafloor. *Nature biotechnology* 2002; 20:821–5.

Tengilimoglu-Metin, M. M. y Kizil M. (2017) Reducing effect of artichoke extracto n

heterocyclic aromatic amine formation in beef and chicken breast meat. *Meat Science*. Vol. 134, 68-75.

Urteaga T.L y Zavaleta Z.A. (2013) Influencia de volumen de extracto de nabo (*Brassica*

*Napus*) en la generación de energía eléctrica en bioceldas de combustible de almidón-peróxido de hidrógeno. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.





Valderrama Castro, M. (2014) Evaluación de diferentes niveles de alcachofa (*Cynara scolymus*) en dietas para pollos de engorde y su efecto sobre parámetros productivos, alometría del intestino delgado y órganos linfoides. (Tesis de Grado como requisito para obtener el título de Magister en Ciencias Agrarias). Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.

Vásquez J. y Zavala M. (2017) Influencia de la concentración del espárrago verde en bioceldas galvánicas para generar energía eléctrica. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.

Wen Q., Wu Y., Cao D., Zhao L. & Sun Q. (2009). Electricity generation and modeling of microbial fuel cell from continuous beer brewery wastewater. *Bioresource Technology*. Vol. 100, 4171-4175.

Wojcieszak, R., Cuccovia, I. M., Silva, M. a., & Rossi, L. M. (2016). "Selective oxidation of glucose to glucuronic acid by cesium-promoted gold nanoparticle catalyst". *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 422, 35–42.

Yan Y., Su L., Mao L. (2007) Multi-walled nanotube-based glucose/O<sub>2</sub> biofuel cell with oxidase and laccase as biocatalysts. *J. Nanosci Nanotechnol.* 7. 1625- 1630.

Zuo Y. *et al.* (2006). Electricity production from steam-exploded corn stover biomass. *Energy Fuels*. Vol 20, 1716-1721.

Zuorro A., Maffei G. & Lavecchia R. (2016) Reuse potential of artichoke (*Cynara scolimus L.*) waste for the recovery of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*. 111 A, 279-284. doi: 10.1016/j.clepro.2015.06.011



ANEXOS

ANEXO 01

Tabla N° 14. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje. A condiciones de ensayo mostradas en la tabla N° 3.

Tiempo (horas)	0 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O					0.1 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O					0.5 g alcachofa / 75 mL H <sub>2</sub> O					1 g alcachofa / 75 mL H <sub>2</sub> O					2.0 g alcachofa / 75 mL H <sub>2</sub> O				
	Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)				
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P
14	2	1	2	3	2	200	197	213	187	199	192	188	179	184	186	228	200	216	221	216	240	238	227	231	234
39	17	13	15	19	16	218	199	221	211	212	153	173	157	145	157	221	194	199	216	208	248	241	235	245	242
48	5	15	9	13	11	218	231	216	228	223	146	134	129	127	162	197	186	180	194	189	238	231	246	247	241
65	25	24	26	28	26	183	176	197	189	186	164	172	192	183	178	189	165	175	168	174	241	238	250	245	244
71	17	15	22	19	18	205	213	199	201	205	183	191	176	169	180	185	201	194	178	190	220	216	223	218	219
90	10	9	13	8	10	239	247	248	254	247	215	186	199	209	202	209	234	230	227	225	226	237	228	230	230
98	16	18	14	17	16	224	230	227	231	228	183	192	164	159	175	210	224	216	218	217	190	197	204	193	196
113	18	15	20	14	17	243	229	238	234	236	176	159	162	182	170	180	175	169	183	177	176	192	184	180	183
122	26	20	22	24	23	185	197	219	218	205	183	192	176	180	183	220	213	209	218	215	194	197	204	209	201
137	26	22	19	24	23	214	223	214	221	218	186	194	216	209	201	200	178	194	190	191	182	192	183	176	183
145	27	23	25	29	26	219	227	208	215	217	251	249	235	229	241	180	181	173	176	178	204	199	208	210	205
182	14	11	9	13	12	190	198	209	204	200	184	197	207	216	201	200	205	213	207	206	205	213	179	207	201
207	24	25	22	21	23	217	205	209	211	211	182	176	164	169	173	238	240	228	230	234	186	191	182	184	186
220	14	9	11	10	11	159	176	196	184	179	220	227	230	217	224	229	238	231	226	231	207	213	200	215	209
230	7	4	9	10	8	201	194	198	185	195	197	192	184	173	187	186	196	200	194	194	216	217	205	203	210
243	18	23	15	28	21	200	216	207	221	211	234	239	221	227	230	201	185	193	187	192	206	197	200	208	203
253	13	19	15	18	16	160	174	168	179	170	210	217	221	229	219	197	213	209	206	206	184	183	176	180	181
268	29	33	28	26	29	198	186	197	200	195	169	173	183	177	176	190	201	194	177	191	190	197	186	205	195
277	18	21	23	19	20	180	179	182	175	179	185	172	164	160	170	179	184	176	192	183	189	197	210	209	201
292	25	18	23	27	23	180	176	184	191	183	190	184	179	173	182	182	198	176	170	182	179	169	182	188	180
300	24	22	25	21	23	206	197	208	213	206	201	198	180	188	192	216	228	231	208	221	184	176	186	190	184
316	27	30	29	32	30	177	169	182	174	176	194	189	174	180	184	210	207	209	216	211	434	12	68	164	170
325	22	17	19	21	20	169	184	173	188	182	159	169	164	153	161	198	196	201	197	198	186	182	194	201	191
340	21	16	18	19	19	177	188	174	185	181	153	160	157	148	155	210	194	180	209	198	196	184	192	180	188
409	37	29	31	34	33	206	199	211	203	205	131	128	141	126	132	207	211	210	209	209	204	194	186	193	194
422	22	15	17	20	19	167	184	180	176	177	151	158	149	168	157	208	197	186	207	200	201	184	193	189	192
433	21	22	19	17	20	167	172	163	155	164	147	132	139	143	140	194	186	194	201	194	170	182	167	186	176
446	20	18	14	19	18	168	172	158	162	165	159	162	153	137	153	201	197	199	194	198	175	183	196	204	190
476	27	30	34	29	30	170	172	168	159	167	180	172	178	167	174	196	200	194	206	199	542	44	45	125	189
521	20	17	16	19	18	182	179	186	190	184	158	149	145	162	154	189	176	186	179	183	201	194	186	199	195
530	23	19	28	21	23	195	189	197	200	195	159	164	178	170	168	194	169	174	182	180	213	224	216	220	218
548	19	22	23	17	20	170	172	168	162	168	169	179	188	166	176	204	176	184	193	189	214	208	221	207	213
553	29	30	25	28	28	168	153	149	164	159	139	145	131	129	136	199	186	192	200	194	189	201	184	190	191
568	35	38	36	40	37	167	178	182	176	176	137	139	121	125	131	184	179	180	177	180	207	216	199	205	207
577	22	25	26	23	24	188	182	198	180	187	150	149	152	140	148	190	184	176	182	183	201	211	203	197	203
592	19	21	23	18	20	190	189	201	216	199	142	137	146	124	137	178	182	175	169	176	226	218	221	216	220
615	8	14	12	9	11	197	184	175	186	186	130	146	158	152	147	200	194	187	193	194	225	234	216	221	224
639	19	22	18	23	21	187	182	176	194	185	146	139	141	133	140	204	197	194	203	200	205	226	210	228	217
664	18	20	17	15	18	155	167	158	171	163	159	163	159	177	165	197	194	197	206	199	196	204	187	190	194
698	7	6	4	3	5	165	159	143	172	160	134	147	149	140	143	204	201	194	191	198	213	196	203	197	202
712	14	16	14	11	14	165	162	178	170	169	124	141	135	132	133	217	206	200	199	206	220	207	210	215	213
737	12	13	11	9	11	159	153	142	155	152	139	162	150	144	149	184	185	192	200	190	226	220	237	234	229
746	9	10	7	11	9	146	137	132	150	141	137	145	129	132	136	201	194	184	190	192	216	225	221	230	223
858	7	9	6	7	7	149	139	146	153	147	168	157	142	156	156	200	208	210	216	209	235	240	241	229	236
884	10	12	8	9	10	132	129	138	150	137	122	129	131	127	127	194	197	201	206	200	225	216	213	238	223
890	16	19	17	20	18	109	118	129	136	123	138	145	131	140	139	197	203	204	214	205	210	216	234	229	222
926	6	7	5	7	6	121	137	129	140	132	153	157	139	147	149	176	189	194	216	194	234	243	227	230	234
1001	9	10	8	10	9	109	97	115	121	111	161	157	149	150	154	183	194	201	197	194	218	223	230	214	221
1022	5	7	5	8	6	104	95	108	113	105	146	140	132	139	139	169	172	179	187	177	215	207	209	213	211
1048	7	6	7	8	7	114	117	121	128	120	157	150	169	159	159	209	207	194	187	199	220	208	214	216	215
1168	4	5	3	4	4	87	92	89	96	91	112	117	129	120	120	205	197	189	186	194	216	199	211	204	208

Elaboración propia.



**ANEXO 02**

*Tabla N° 15. Análisis de varianza de la generación de energía, con la concentración alcachofa como variable.*

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
0.5	22	4481	203.6818	404.7035
1	22	4173	189.6818	494.6082
1.5	22	4431	201.4091	331.0152
2	22	4498	204.4545	491.0216

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3117.3977	3	1039.1326	2.4147	0.0722	2.7132
Dentro de los grupos	36148.3182	84	430.3371			
Total	39265.7159	87				

*Elaboración propia.*



ANEXO 03

Tabla N° 16. Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno en la generación de voltaje. A condiciones de ensayo mostradas en la tabla N° 5.

Tiempo (horas)	0 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 75 mL H <sub>2</sub> O					1 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 75 mL H <sub>2</sub> O					2 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 75 mL H <sub>2</sub> O					4 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 75 mL H <sub>2</sub> O					6 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 75 mL H <sub>2</sub> O					8 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 75 mL H <sub>2</sub> O				
	Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)				
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P
14	112	102	117	106	109	452	479	465	468	466	192	188	179	184	186	367	329	372	403	368	219	238	243	258	240	254	269	278	247	262
39	123	114	134	120	123	533	540	536	559	542	153	173	157	145	157	498	511	522	514	511	268	247	253	260	257	314	321	298	305	310
48	130	113	127	119	122	512	531	538	521	526	146	134	129	127	134	538	561	551	523	543	180	161	173	198	178	316	290	257	278	285
65	119	124	109	112	116	527	521	499	535	521	164	172	192	183	178	489	491	467	437	471	163	166	130	182	160	308	297	317	306	307
71	89	75	96	83	86	396	448	476	459	445	183	191	176	169	180	532	509	527	486	514	106	111	125	136	120	270	302	283	297	288
90	131	138	124	129	131	489	507	519	502	504	215	186	199	209	202	519	511	531	525	522	184	160	162	194	175	314	324	342	351	333
98	127	132	119	125	126	557	571	529	548	551	183	192	164	159	175	534	546	539	551	543	267	235	278	227	252	330	312	326	341	327
113	132	138	124	126	130	550	586	564	583	571	176	159	162	182	170	484	473	486	492	484	141	157	173	157	157	237	249	251	197	234
122	139	128	129	131	132	509	520	541	536	527	183	192	176	180	183	473	473	470	461	469	180	175	162	154	168	278	245	257	271	263
137	109	112	119	105	111	545	576	551	572	561	186	194	216	209	201	522	535	528	539	531	179	142	166	156	161	337	297	326	311	318
145	129	121	114	119	121	573	564	598	596	583	251	249	235	229	241	501	504	513	518	509	213	215	220	196	211	339	327	348	356	343
182	128	119	117	122	122	408	465	467	462	451	184	197	207	216	201	521	509	518	511	515	155	170	155	127	152	268	259	275	287	272
207	123	127	112	119	120	364	385	397	360	377	182	176	164	169	173	510	499	524	516	512	161	152	170	141	156	204	215	221	230	218
220	119	120	116	118	118	421	438	427	431	429	220	227	230	217	224	492	487	471	483	483	182	170	165	156	168	322	310	291	301	306
230	134	134	127	130	131	381	389	401	378	387	197	192	184	173	187	509	517	527	532	521	239	231	230	251	238	299	342	291	297	307
243	136	138	158	144	144	381	401	389	379	388	234	239	221	227	230	452	448	463	461	456	195	204	162	182	186	305	309	315	327	314
253	125	122	116	118	120	427	419	408	421	419	210	217	221	229	219	487	496	507	516	502	192	168	153	224	184	320	329	325	339	328
268	104	109	119	106	110	423	418	407	415	416	169	173	183	177	176	459	453	461	450	456	140	156	168	177	160	291	285	272	280	282
277	119	131	124	126	125	482	471	453	443	462	185	172	164	160	170	489	494	501	511	499	209	194	169	158	183	299	308	351	323	320
292	114	118	120	124	119	419	436	421	407	421	190	184	179	173	182	543	529	554	536	541	192	197	165	170	181	372	362	382	379	374
300	122	125	115	119	120	440	487	492	461	470	201	198	180	188	192	509	516	511	507	511	237	218	242	199	224	324	273	335	268	300
316	125	132	121	126	126	457	462	481	459	465	194	189	174	180	184	589	597	574	601	590	215	234	207	218	219	303	298	300	315	304
325	118	125	116	120	120	489	501	467	473	483	159	169	164	153	161	560	569	554	563	562	227	238	208	197	218	313	289	299	325	307
340	94	87	98	102	95	490	473	486	487	484	153	160	157	148	155	564	567	554	571	564	237	215	252	209	228	239	243	281	260	256
409	133	122	120	119	124	473	461	469	468	468	131	128	141	126	132	479	486	465	480	478	265	240	254	260	255	279	286	315	309	297
422	125	138	127	132	131	509	487	476	501	493	151	158	149	168	157	489	472	496	501	490	222	205	230	210	217	300	289	244	257	273
433	119	120	123	127	122	450	485	461	478	469	147	132	139	143	140	554	560	543	558	554	230	207	223	215	219	249	269	258	271	262
446	108	111	106	110	109	402	421	409	417	412	159	162	153	137	153	461	459	452	477	462	273	286	280	246	271	317	303	291	306	304
476	97	85	102	99	96	414	441	438	422	429	180	172	178	167	174	509	497	521	510	509	243	228	237	229	234	345	299	328	319	323
521	102	100	98	103	101	474	486	469	461	473	158	149	145	162	154	472	461	490	483	477	220	210	230	208	217	268	279	260	281	272
530	96	98	100	97	98	389	407	395	412	401	159	164	178	170	168	615	622	602	619	615	177	180	123	196	169	261	240	246	259	252
548	117	109	114	110	113	419	441	422	421	426	169	179	188	166	176	506	509	496	517	507	191	200	146	184	180	205	214	243	230	223
553	127	119	105	116	117	503	499	518	513	508	139	145	131	129	136	456	473	448	451	457	223	230	208	200	215	244	273	257	260	259
568	109	102	99	108	105	476	483	467	491	479	137	139	121	125	131	562	565	550	571	562	194	190	186	177	187	213	251	221	258	236
577	111	108	106	114	110	516	507	496	489	502	150	149	152	140	148	549	558	539	561	552	271	253	249	256	257	317	341	319	333	328
592	119	111	99	117	112	486	462	469	476	473	142	137	146	124	137	536	529	543	530	535	225	211	208	197	210	278	291	311	300	295
615	108	118	106	104	109	386	397	426	411	405	130	146	158	152	147	476	481	459	487	476	247	240	228	237	238	279	280	273	299	283
639	110	118	122	138	122	482	477	461	459	470	146	139	141	133	140	391	407	427	416	410	233	219	240	231	231	224	208	216	221	217
664	98	106	96	93	98	422	414	406	427	417	159	163	159	177	165	518	485	504	497	501	256	263	237	228	246	260	276	299	289	281
698	94	100	91	89	94	328	334	325	321	327	134	147	149	140	143	517	497	489	491	499	197	186	207	191	195	153	159	146	167	156
712	89	97	92	85	91	280	311	296	304	298	124	141	135	132	133	495	501	488	492	494	228	202	215	231	219	220	207	210	215	213
737	96	104	99	98	99	280	305	298	287	293	139	162	150	144	149	479	487	476	489	483	216	210	221	220	217	267	270	247	251	259
746	134	101	97	91	106	320	311	317	309	314	137	145	129	132	136	505	510	509	502	507	213	197	205	210	206	275	260	269	252	264
858	98	107	106	89	100	382	391	379	386	385	168	157	142	156	156	479	482	489	476	482	224	230	207	215	219	332	337	341	340	338
884	108	104	99	97	102	406	414	407	422	412	122	129	131	127	127	458	461	457	472	462	199	210	203	182	199	312	325	317	331	321
890	112	121	109	106	112	370	364	376	396	377	138	145	131	140	139	448	456	439	450	448	207	205	219	199	208					



ANEXO 04

Tabla N° 17. Influencia de la concentración de alcachofa en la generación de voltaje. A condiciones de ensayo mostradas en la tabla N° 7.

Tiempo (horas)	0 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O					0.1 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O					0.5 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O					1 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O					2 g alcachofa/75 mL H <sub>2</sub> O				
	Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)				
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P
14	10	12	7	8	9	80	110	93	95	95	367	329	372	403	368	43	49	38	51	45	465	470	465	470	468
39	12	11	8	13	11	79	69	76	73	74	498	511	522	514	511	131	125	111	116	121	574	562	574	562	568
48	18	21	17	19	19	82	90	89	98	90	538	561	551	523	543	129	125	110	119	121	548	435	548	435	492
65	17	19	15	13	16	118	126	115	110	117	489	491	467	437	471	90	86	95	72	86	420	435	420	435	428
71	24	29	27	30	28	103	119	125	128	119	532	509	527	486	514	190	201	184	173	187	352	350	352	350	351
90	22	24	19	20	21	107	110	97	94	102	519	511	531	525	522	216	220	219	237	223	578	394	578	394	486
98	18	21	16	15	18	140	152	146	138	144	534	546	539	551	543	209	218	365	35	207	523	425	523	425	474
113	29	27	22	20	25	161	175	166	170	168	484	473	486	492	484	214	209	194	189	202	522	458	522	458	490
122	20	23	14	16	18	90	110	84	105	97	473	473	470	461	469	157	156	138	144	149	393	423	393	423	408
137	17	16	11	12	14	109	107	99	104	105	522	535	528	539	531	82	79	63	73	74	491	482	491	482	487
145	30	33	25	28	29	119	122	108	112	115	501	504	513	518	509	60	54	47	52	53	514	558	514	558	536
182	21	15	17	19	18	194	207	190	201	198	521	509	518	511	515	205	213	197	210	206	453	392	453	392	423
207	17	14	16	18	16	211	204	197	194	202	510	499	524	516	512	207	211	189	209	204	450	410	450	410	430
220	19	16	18	20	18	266	246	259	250	255	492	487	471	483	483	211	224	199	221	214	462	418	462	418	440
230	21	19	23	24	22	170	164	178	159	168	509	517	527	532	521	152	143	133	129	139	362	359	341	328	335
243	29	23	22	28	26	177	201	187	190	189	452	448	463	461	456	206	218	224	213	215	470	440	470	440	455
253	7	9	11	13	10	133	125	119	120	124	487	496	507	516	502	245	251	239	256	248	475	520	475	520	498
268	16	15	17	16	16	192	180	231	236	210	459	453	461	450	456	237	243	226	214	230	360	387	360	387	374
277	17	13	16	15	15	181	198	207	195	195	489	494	501	511	499	204	213	185	193	199	372	360	372	360	366
292	19	16	18	14	17	207	225	213	220	216	543	529	554	536	541	309	315	297	301	306	445	382	445	382	414
300	9	11	10	8	10	268	251	247	250	254	509	516	511	507	511	169	176	184	192	180	428	376	428	376	402
316	25	19	20	18	21	238	247	250	249	246	589	597	574	601	590	235	229	230	217	228	560	390	560	390	475
325	27	30	29	26	28	234	219	224	216	223	560	569	554	563	562	263	271	269	257	265	548	384	548	384	466
340	22	19	21	18	20	289	294	291	277	288	564	567	554	571	564	237	225	219	235	229	350	251	350	251	301
409	21	17	20	16	19	280	289	271	268	277	479	486	465	480	478	210	204	223	196	208	436	290	436	290	363
422	8	10	13	11	11	252	259	243	239	248	489	472	496	501	490	329	327	316	310	321	417	390	417	390	404
433	22	17	21	16	19	289	292	281	276	285	554	560	543	558	554	192	213	218	197	205	278	232	278	232	255
446	18	22	26	24	23	206	210	201	197	204	461	459	452	477	462	182	194	201	199	194	536	410	536	410	473
476	27	31	29	33	30	234	220	229	238	230	509	497	521	510	509	315	309	320	326	318	510	390	510	390	450
521	34	36	32	28	33	214	205	219	199	209	472	461	490	483	477	147	132	127	146	138	430	295	430	295	363
530	13	17	15	11	14	190	207	196	200	198	615	622	602	619	615	188	176	181	193	185	350	242	350	242	296
548	17	19	27	24	22	201	197	189	207	199	506	509	496	517	507	159	152	144	157	153	520	480	520	480	500
553	24	27	22	23	24	231	224	236	218	227	456	473	448	451	457	271	259	265	263	265	440	350	440	350	395
568	19	17	21	18	19	227	215	212	219	218	562	565	550	571	562	160	137	148	129	144	405	310	405	310	358
577	28	26	29	31	29	253	273	265	278	267	549	558	539	561	552	170	183	188	160	175	560	321	560	321	441
592	35	38	29	37	35	244	251	241	235	243	536	529	543	530	535	208	214	234	221	219	456	230	456	230	343
615	25	30	28	23	27	259	262	255	270	262	476	481	459	487	476	284	295	290	296	291	420	192	420	192	306
639	29	32	26	27	29	221	228	235	240	231	391	407	427	416	410	181	199	184	203	192	310	170	310	170	240
664	35	40	38	32	36	240	251	247	258	249	518	485	504	497	501	265	247	252	249	253	380	198	380	198	289
698	41	47	39	35	41	230	225	239	237	233	517	497	489	491	499	128	139	144	132	136	270	205	270	205	238
712	27	33	30	26	29	253	259	264	255	258	495	501	488	492	494	189	159	194	160	176	370	180	370	180	275
737	35	42	32	29	35	241	228	231	237	234	479	487	476	489	483	224	205	211	199	210	362	176	362	176	269
746	31	35	33	26	31	197	199	205	210	203	505	510	509	502	507	230	245	251	224	238	360	170	360	170	265
858	26	28	31	24	27	177	168	156	144	161	479	482	489	476	482	194	167	181	190	183	505	230	505	230	368
884	15	18	21	12	17	167	172	177	155	168	458	461	457	472	462	129	123	118	130	125	208	150	208	150	179
890	9	10	14	11	11	177	181	185	188	183	448	456	439	450	448	169	160	163	179	168	367	140	367	140	254
926	27	25	31	24	27	197	185	189	193	191	489	495	491	501	494	239	249	240	231	240	185	452	185	452	319
1001	39	41	34	42	39	240	237	229	225	233	438	449	427	451	441	195	201	181	173	188	235	190	235	190	213
1022	25	28	21	27	25	187	205	190	194	194	421	436	419	427	426	182	189	175	163	177	482	262	482	262	372
1048	10	11	8	13	11	229	234	249	241	238	427	443	412	401	421	188	194	176	183	185	230	196	230	196	213
1168	19	21	17	23	20	215	207	219	203	211	408	427	395	400	408	192	189	176	180	184	268	234	268	234	251

Elaboración propia.



ANEXO 05

Tabla N° 18. Influencia de la concentración del catalizador en la generación de voltaje. A condiciones de ensayo mostradas en la tabla N° 9.

Tiempo (horas)	0 g catalizador/ 75 mL H <sub>2</sub> O					0.05 g catalizador/ 75 mL H <sub>2</sub> O					0.1 g catalizador/ 75 mL H <sub>2</sub> O					0.2 g catalizador/ 75 mL H <sub>2</sub> O				
	Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)				
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P
14	21	27	31	25	26	68	46	59	55	57	367	329	372	403	368	204	210	198	201	553
39	18	33	39	31	30	61	69	48	55	58	498	511	522	514	481	199	204	186	179	542
48	35	40	46	37	40	70	78	65	69	71	538	561	551	523	513	205	198	194	209	552
65	40	38	44	35	39	97	85	79	89	88	489	491	467	437	441	200	203	193	190	547
71	35	31	39	28	33	60	69	49	57	59	532	509	527	486	484	214	227	219	230	573
90	31	28	33	37	32	49	68	52	56	56	519	511	531	525	492	273	265	270	266	619
98	39	47	41	59	47	78	75	80	69	76	534	546	539	551	513	241	248	251	250	598
113	44	41	40	42	42	100	116	109	121	112	484	473	486	492	454	242	229	234	231	584
122	46	46	49	51	48	73	89	80	77	80	473	473	470	461	439	250	246	263	255	604
137	48	50	47	58	51	64	70	61	67	66	522	535	528	539	501	234	239	246	250	592
145	47	51	46	55	50	73	81	69	74	74	501	504	513	518	479	249	248	257	262	604
182	63	58	49	60	58	41	49	53	60	51	521	509	518	511	485	231	227	215	208	570
207	52	49	53	59	53	71	77	66	68	71	510	499	524	516	482	259	264	271	280	619
220	60	55	59	57	58	88	93	79	86	87	492	487	471	483	453	264	257	264	270	614
230	57	62	68	69	64	112	125	108	119	116	509	517	527	532	491	302	309	294	291	580
243	88	76	71	82	79	94	108	120	112	109	452	448	463	461	426	298	285	290	267	635
253	92	77	89	79	84	90	97	109	101	99	487	496	507	516	472	248	261	254	249	603
268	82	71	73	77	76	49	58	54	69	58	459	453	461	450	426	250	257	247	258	574
277	65	59	50	62	59	87	79	102	97	91	489	494	501	511	469	229	221	235	230	579
292	69	61	55	59	61	99	95	100	96	98	543	529	554	536	511	269	261	275	281	622
300	66	67	59	72	66	117	129	134	122	126	509	516	511	507	481	252	261	250	246	602
316	79	86	77	81	81	103	97	107	105	103	589	597	574	601	560	258	260	249	256	606
325	83	91	88	86	87	99	92	103	102	99	560	569	554	563	532	291	285	306	312	620
340	79	87	83	82	83	94	90	97	96	94	564	567	554	571	534	269	277	271	265	621
409	77	69	75	74	74	99	93	108	97	99	479	486	465	480	448	277	282	290	268	629
422	69	62	71	67	67	122	138	127	130	129	489	472	496	501	460	282	294	302	277	610
433	75	69	76	73	73	107	105	118	103	108	554	560	543	558	524	265	274	281	269	620
446	50	58	62	53	56	98	102	100	97	99	461	459	452	477	432	280	294	306	319	622
476	45	53	51	48	49	103	118	127	88	109	509	497	521	510	479	229	220	234	242	581
521	42	34	40	38	39	81	79	93	86	85	472	461	490	483	447	199	214	223	238	569
530	40	39	44	38	40	90	87	93	95	91	615	622	602	619	545	244	237	241	233	589
548	38	36	40	35	37	107	111	108	102	107	506	509	496	517	477	267	254	246	250	574
553	37	38	39	38	38	93	97	95	91	94	456	473	448	451	427	255	246	241	238	595
568	50	44	46	42	46	80	85	84	87	84	562	565	550	571	532	230	225	232	228	579
577	61	50	55	53	55	92	98	99	102	98	549	558	539	561	522	238	242	245	251	574
592	50	44	46	43	46	112	109	106	114	110	536	529	543	530	505	235	238	241	247	590
615	50	47	49	53	50	110	112	114	120	114	476	481	459	487	446	242	245	258	261	580
639	44	43	39	46	43	126	118	122	124	123	391	407	427	416	380	232	238	247	255	593
664	47	40	43	38	42	102	99	106	97	101	518	485	504	497	471	250	257	265	259	561
698	42	35	40	33	38	105	100	103	102	103	517	497	489	491	469	259	263	257	266	611
712	38	32	36	30	34	102	98	100	97	99	495	501	488	492	464	240	244	234	230	587
737	40	42	44	38	41	109	102	108	104	106	479	487	476	489	453	259	247	255	250	578
746	31	27	30	35	31	97	93	94	90	94	505	510	509	502	477	267	263	272	278	590
858	27	29	28	30	29	105	107	99	101	103	479	482	489	476	452	253	260	265	270	581
884	25	27	26	29	27	110	116	105	109	110	458	461	457	472	432	237	228	232	235	583
890	32	35	31	33	33	117	112	109	104	111	448	456	439	450	418	244	238	241	235	560
926	25	23	25	25	25	130	124	127	133	129	489	495	491	501	464	200	210	207	217	530
1001	25	18	22	24	22	150	142	138	129	140	438	449	427	451	411	188	178	185	190	534

Elaboración propia.



ANEXO 06

Tabla N° 19. Influencia de la concentración del electrolito en la generación de voltaje. A condiciones de ensayo mostradas en la tabla N° 11.

Tiempo (horas)	0 g NaCl / 75 mL H <sub>2</sub> O					0.05 g NaCl / 75 mL H <sub>2</sub> O					0.1 g NaCl / 75 mL H <sub>2</sub> O					0.15 g NaCl / 75 mL H <sub>2</sub> O					0.20 g NaCl / 75 mL H <sub>2</sub> O				
	Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)					Voltaje (mV)				
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P
14	552	570	567	560	562	367	329	372	403	368	269	279	284	291	281	128	116	120	105	117	126	118	134	109	122
39	572	563	577	581	573	498	511	522	514	511	208	214	221	203	212	142	151	147	136	144	171	158	166	179	169
48	522	537	516	529	526	538	561	551	523	543	194	203	188	173	190	183	191	179	196	187	216	211	209	226	216
65	539	542	552	545	545	489	491	467	437	471	155	148	135	150	147	174	182	169	177	176	119	113	108	127	117
71	492	480	486	475	483	532	509	527	486	514	179	173	158	169	170	147	136	157	139	145	184	193	211	205	198
90	540	538	534	542	539	519	511	531	525	522	129	141	133	126	132	159	169	152	146	157	207	203	199	221	208
98	472	481	475	483	478	534	546	539	551	543	100	89	75	81	86	134	140	120	118	128	124	108	132	129	123
113	459	462	453	449	456	484	473	486	492	484	90	96	108	85	95	154	168	146	157	156	185	192	176	188	185
122	450	457	463	466	459	473	473	470	461	469	110	105	119	98	108	131	143	128	137	135	182	194	176	174	182
137	431	427	441	438	434	522	535	528	539	531	128	137	119	124	127	169	158	178	161	167	146	138	141	158	146
145	458	463	471	468	465	501	504	513	518	509	105	97	118	95	104	175	169	177	184	176	155	162	148	153	155
182	414	426	418	410	417	521	509	518	511	515	143	158	134	136	143	195	204	189	193	195	224	231	228	214	224
207	468	459	462	455	461	510	499	524	516	512	171	165	182	169	172	168	176	156	171	168	243	251	238	240	243
220	450	447	468	456	455	492	487	471	483	483	140	145	129	137	138	148	155	139	150	148	201	213	199	209	206
230	544	535	528	532	535	509	517	527	532	521	158	178	151	172	165	124	113	129	104	118	141	110	135	119	126
243	522	510	514	526	518	452	448	463	461	456	142	139	155	160	149	154	167	150	148	155	189	194	180	197	190
253	521	528	534	519	526	487	496	507	516	502	120	136	111	140	127	179	189	169	177	179	210	203	224	207	211
268	537	533	520	528	530	459	453	461	450	456	144	158	132	127	140	144	138	133	142	139	79	74	65	59	69
277	472	460	457	464	463	489	494	501	511	499	167	159	179	188	173	123	115	104	101	111	146	138	159	155	150
292	460	452	466	454	458	543	529	554	536	541	153	138	165	173	157	203	194	213	203	203	180	176	170	194	180
300	478	483	472	477	478	509	516	511	507	511	151	144	160	139	149	186	193	177	188	186	212	220	210	207	212
316	507	497	502	514	505	589	597	574	601	590	169	174	162	171	169	147	150	138	153	147	109	118	112	99	110
325	476	483	476	470	476	560	569	554	563	562	141	149	137	153	145	195	203	192	189	195	166	174	162	169	168
340	519	523	515	509	517	564	567	554	571	564	130	125	146	122	131	215	219	210	225	217	179	188	172	175	179
409	429	420	435	430	429	479	486	465	480	478	157	164	146	159	157	187	201	192	181	190	132	125	129	143	132
422	458	450	444	449	450	489	472	496	501	490	102	115	97	103	104	164	172	169	153	165	152	164	143	149	152
433	520	521	514	518	518	554	560	543	558	554	80	94	86	72	83	140	148	159	136	146	89	76	81	68	79
446	477	481	470	489	479	461	459	452	477	462	157	159	148	162	157	158	152	149	169	157	140	134	132	152	140
476	462	458	450	446	454	509	497	521	510	509	136	127	143	139	136	178	182	167	184	178	209	202	199	216	207
521	459	473	468	463	466	472	461	490	483	477	120	118	125	115	120	143	155	158	131	147	219	211	218	226	219
530	447	441	435	430	438	615	622	602	619	615	137	154	132	126	137	129	133	138	118	130	205	208	199	206	205
548	427	428	422	431	427	506	509	496	517	507	169	172	159	177	169	142	159	135	131	142	194	201	189	193	194
553	449	457	443	452	450	456	473	448	451	457	179	185	177	167	177	108	126	114	128	119	155	161	153	147	154
568	460	467	458	455	460	562	565	550	571	562	150	157	146	140	148	173	162	169	157	165	188	176	182	173	180
577	476	477	475	492	480	549	558	539	561	552	159	155	162	164	160	180	177	196	186	185	137	140	146	150	143
592	469	473	466	471	470	536	529	543	530	535	142	139	148	137	142	159	162	167	170	165	145	152	149	160	152
615	451	448	447	455	450	476	481	459	487	476	140	134	146	137	139	163	168	173	168	168	174	189	176	180	180
639	463	468	461	455	462	391	407	427	416	410	143	140	138	152	143	122	136	131	129	130	160	166	159	163	162
664	487	477	482	492	485	518	485	504	497	501	158	163	150	159	158	121	128	137	131	129	177	183	180	174	179
698	467	477	471	468	471	517	497	489	491	499	168	167	159	169	166	150	157	146	152	151	150	147	142	138	144
712	473	466	480	478	474	495	501	488	492	494	153	158	149	151	153	179	174	168	163	171	122	135	127	130	129
737	457	451	458	462	457	479	487	476	489	483	172	161	164	173	168	190	186	193	199	192	201	207	196	198	201
746	444	435	449	440	442	505	510	509	502	507	150	157	160	146	153	174	179	188	190	183	224	216	227	230	224
858	444	452	446	462	451	479	482	489	476	482	147	144	138	157	147	152	158	163	167	160	197	199	193	189	195
884	427	435	441	427	433	458	461	457	472	462	159	152	148	163	156	136	133	140	144	138	184	180	175	179	180
890	417	412	413	420	416	448	456	439	450	448	160	169	158	166	163	138	145	153	149	146	153	162	149	157	155
926	438	441	436	435	438	489	495	491	501	494	147	155	160	142	151	179	177	169	163	172	130	138	125	127	130
1001	452	448	440	455	449	438	449	427	451	441	172	168	178	163	170	162	158	151	147	155	143	137	140	152	143
1022	420	428	415	416	420	421	436	419	427	426	161	157	153	164	159	140	144	135	141	140	169	166	159	178	168
1048	389	379	382	390	385	427	443	412	401	421	147	155	149	138	147	122	120	115	129	122	170	178	165	162	169
1068	392	400	388	390	393	408	427	395	400	408	152	146	164	159	155	120	113	128	119	120	175	179	184	160	175

Elaboración propia.

## ANEXO 07

Tabla N° 20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 16 (influencia de peróxido de hidrógeno).

a) 0 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /75 mL H <sub>2</sub> O			b) 1 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /75 mL H <sub>2</sub> O			c) 2 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /75 mL H <sub>2</sub> O		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Media	111.2	112.049	Media	500.5	432.567	Media	172.75	163.956
Varianza	232.513	196.054	Varianza	1411.925	5394.35057	Varianza	572.575	816.112
Observaciones	5	46	Observaciones	6	45	Observaciones	6	45
Varianza agrupada	199.031		Varianza agrupada	4987.981		Varianza agrupada	791.261	
Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	49		Grados de libertad	49		Grados de libertad	49	
Estadístico t	-0.128		Estadístico t	2.213		Estadístico t	0.719	
P(T<=t) una cola	0.449		P(T<=t) una cola	0.016		P(T<=t) una cola	0.238	
Valor crítico de t (una cola)	1.677		Valor crítico de t (una cola)	1.677		Valor crítico de t (una cola)	1.677	
P(T<=t) dos colas	0.899		P(T<=t) dos colas	0.032		P(T<=t) dos colas	0.475	
Valor crítico de t (dos colas)	2.010		Valor crítico de t (dos colas)	2.010		Valor crítico de t (dos colas)	2.010	
d) 4 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /75 mL H <sub>2</sub> O			e) 6 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /75 mL H <sub>2</sub> O			f) 8 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /75 mL H <sub>2</sub> O		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Media	494.917	497.30303	Media	194.029	215.42	Media	292.523	271.724
Varianza	1738.912	2598.54983	Varianza	1399.062	997.665	Varianza	1244.465	2699.610
Observaciones	18	33	Observaciones	26	25	Observaciones	32	19
Varianza agrupada	2300.308		Varianza agrupada	1202.459		Varianza agrupada	1779.008	
Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	49		Grados de libertad	49		Grados de libertad	49	
Estadístico t	-0.170		Estadístico t	-2.202		Estadístico t	1.703	
P(T<=t) una cola	0.433		P(T<=t) una cola	0.016		P(T<=t) una cola	0.047	
Valor crítico de t (una cola)	1.677		Valor crítico de t (una cola)	1.677		Valor crítico de t (una cola)	1.677	
P(T<=t) dos colas	0.866		P(T<=t) dos colas	0.032		P(T<=t) dos colas	0.095	
Valor crítico de t (dos colas)	2.010		Valor crítico de t (dos colas)	2.010		Valor crítico de t (dos colas)	2.010	

Ho: no existe diferencia significativa

Hi: existe diferencia significativa

- Estadístico t es menor a t crítico.

- P(T&lt;=t) &gt; 0.05 en ambos casos

Se acepta la hipótesis nula.



## ANEXO 08

Tabla N° 21. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 17 (influencia de concentración de alcachofa).

a) 0.5 g alcachofa /75 mL H <sub>2</sub> O			b) 1 g alcachofa /75 mL H <sub>2</sub> O			c) 2 g alcachofa /75 mL H <sub>2</sub> O		
	Variable 2		Variable 1		Variable 2	Variable 1		Variable 2
Media	494.916667	497.30303	Media	149.357143	208.277027	Media	461.1	368.347826
Varianza	1738.91176	2598.54983	Varianza	4201.62225	2559.55828	Varianza	6410.925	8825.47633
Observaciones	18	33	Observaciones	14	37	Observaciones	5	46
Varianza agrupada	2300.30806		Varianza agrupada	2995.2079		Varianza agrupada	8628.3701	
Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	49		Grados de libertad	49		Grados de libertad	49	
Estadístico t	-0.1698055		Estadístico t	3.43105903		Estadístico t	2.12050131	
P(T<=t) una cola	0.43293112		P(T<=t) una cola	0.00061488		P(T<=t) una cola	0.0195252	
Valor crítico de t (una cola)	1.67655089		Valor crítico de t (una cola)	1.67655089		Valor crítico de t (una cola)	1.67655089	
P(T<=t) dos colas	0.86586223		P(T<=t) dos colas	0.00122975		P(T<=t) dos colas	0.0390504	
Valor crítico de t (dos colas)	2.00957524		Valor crítico de t (dos colas)	2.00957524		Valor crítico de t (dos colas)	2.00957524	

Ho: no existe diferencia significativa

Hi: existe diferencia significativa

- Estadístico t es menos a t crítico.

- P(T&lt;=t) &gt; 0.05 en ambos casos

Se acepta la hipótesis nula.

## ANEXO 09

Tabla N° 22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 18 (influencia de catalizador).

a) 0.05 g catalizador /75 mL H <sub>2</sub> O			b) 0.1 g catalizador /75 mL H <sub>2</sub> O			0.2 g catalizador /75 mL H <sub>2</sub> O		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Media	78.625	106	Media	466.7	474.08	Media	588.857	588
Varianza	409.904	180	Varianza	1265.9	1964.3	Varianza	711.028	627
Observaciones	20	28	Observaciones	19	29	Observaciones	21	27
Varianza agrupada	275.223		Varianza agrupada	1691		Varianza agrupada	663.621	
Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46		Grados de libertad	46		Grados de libertad	46	
Estadístico t	-5.621		Estadístico t	-0.608		Estadístico t	0.158	
P(T<=t) una cola	5.33E-07		P(T<=t) una cola	0.273		P(T<=t) una cola	0.437	
Valor crítico de t (una cola)	1.678		Valor crítico de t (una cola)	1.678		Valor crítico de t (una cola)	1.678	
P(T<=t) dos colas	1.07E-06		P(T<=t) dos colas	0.546		P(T<=t) dos colas	0.874	
Valor crítico de t (dos colas)	2.012		Valor crítico de t (dos colas)	2.012		Valor crítico de t (dos colas)	2.012	

Ho: no existe diferencia significativa

Hi: existe diferencia significativa

- Estadístico t es menos a t crítico.

- P(T&lt;=t) &gt; 0.05 en ambos casos

Se acepta la hipótesis nula.

## ANEXO 10

Tabla N° 23. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, datos tomados de la tabla N° 19 (influencia de cloruro de sodio).

a) 0.05 g NaCl /75 mL H <sub>2</sub> O			b) 0.1 g NaCl /75 mL H <sub>2</sub> O		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Media	494.92	497 2598.549	Media	150.7	149
Varianza	1738.9		Varianza	1937.5829	382
Observaciones	18	33	Observaciones	20	31
Varianza agrupada	2300.3		Varianza agrupada	985.18191	
Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	49		Grados de libertad	49	
Estadístico t	-0.1698		Estadístico t	0.2228852	
P(T<=t) una cola	0.4329		P(T<=t) una cola	0.4122757	
Valor crítico de t (una cola)	1.6766		Valor crítico de t (una cola)	1.6765509	
P(T<=t) dos colas	0.8659		P(T<=t) dos colas	0.8245514	
Valor crítico de t (dos colas)	2.0096		Valor crítico de t (dos colas)	2.0095752	
c) 0.15 g NaCl /75 mL H <sub>2</sub> O			d) 0.20 g NaCl /75 mL H <sub>2</sub> O		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Media	156.57	157	Media	169.954545	167
Varianza	703.58	610	Varianza	2022.0276	979
Observaciones	21	30	Observaciones	22	29
Varianza agrupada	648.23		Varianza agrupada	1426.22004	
Diferencia hipotética de las medias	0		Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	49		Grados de libertad	49	
Estadístico t	-0.1144		Estadístico t	0.31223299	
P(T<=t) una cola	0.4547		P(T<=t) una cola	0.37809416	
Valor crítico de t (una cola)	1.6766		Valor crítico de t (una cola)	1.67655089	
P(T<=t) dos colas	0.9094		P(T<=t) dos colas	0.75618832	
Valor crítico de t (dos colas)	2.0096		Valor crítico de t (dos colas)	2.00957524	

Ho: no existe diferencia significativa

Hi: existe diferencia significativa

- Estadístico t es menos a t crítico.

- P(T&lt;=t) &gt; 0.05 en ambos casos

Se acepta la hipótesis nula.



### ANEXO 11



*Figura N° 14. Medición de generación de voltaje en las bioceldas, mediante un multímetro.*

### ANEXO 12



*Figura N° 15. Vista superior de cuatro (4) celdas.*

### ANEXO 13



*Figura N° 16. Moho que aparece dentro de las semiceldas.*