

## Diseño y construcción de un prototipo para obtener gas hidrógeno a partir de aguas residuales, y su aplicación en la conservación de frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana*)

Design and construction of a prototype to obtain gas hydrogen from waste water, and his application in the conservation of aguaymanto fruits (*Physalis peruviana*)

García Escobal Immer Mateo<sup>1</sup>, Garay Sudarijo Wilder Pedro<sup>1\*</sup>, Alejos Patiño Ítalo Wile<sup>2</sup>, Cisneros Santos Gregorio<sup>2</sup>, Estacio Laguna Roger

<sup>1</sup>Ingeniería en Automatización Agroindustrial y Desarrollo Tecnológico, INAADET EIRL, Huánuco, Perú

<sup>2</sup>Centro de Innovación y Emprendimiento Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú

\*Autor para correspondencia (teléfono celular: +51 983727963; correo electrónico: wilmjgasu@gmail.com)

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido 23-06-2017  
Artículo aceptado 18-07-2017  
On line: 25-10-2017

### PALABRAS CLAVES:

Aguaymanto,  
hidrógeno,  
prototipo.

### ARTICLE INFO

Artículo recibido 23-06-2017  
Artículo aceptado 18-07-2017  
On line: 25-10-2017

### KEY WORDS:

Aguaymanto,  
hydrogen,  
prototype.

### RESUMEN

La investigación se realizó en un periodo de 3 meses en la empresa Karbel S.C.R.L en la región Huánuco, teniendo como objetivo general evaluar la influencia de diferentes volúmenes del gas hidrógeno obtenido con el prototipo a partir de aguas residuales, en la conservación del aguaymanto. El prototipo se construyó utilizando circuitos electrónicos, transformadores, arduino, relés, frascos de vidrio, placas de acero inoxidable, etc. Se ensamblaron todos ellos; en un frasco de vidrio se colocaron las placas de acero inoxidable, la cual tiene dos entradas de energía, que es suministrada por un transformador de 15A, controlado por un arduino, relés y un puerto bluetooth. Al suministrar la energía a las placas dentro del frasco en el cual se encuentra depositado el agua residual, se obtuvo el gas hidrógeno en una cantidad promedio de 305 cm<sup>3</sup> por minuto de funcionamiento. Se evaluaron 3 transformadores de 10 A, 15A y 20A determinando así la tensión óptima, la cual es de 15A por el bajo consumo de energía. Se aplicó el gas hidrógeno al aguaymanto en 3 tratamientos: T1=400 cm<sup>3</sup>, T2=750 cm<sup>3</sup> y T3=1100 cm<sup>3</sup> a temperatura ambiente, los cuales fueron comparados con una muestra testigo a iguales condiciones. Fueron evaluados en dos fases, la primera fase constituyó los primeros 15 días de la investigación, en esta fase se evaluaron las características organolépticas y físico químicas del aguaymanto, obteniendo como resultado que los tratamientos T1, T2 y T3 no sufrieron cambios significativos estadísticamente, mientras que el testigo si mostró cambios. La segunda fase la constituyeron los segundos 15 días de la investigación en donde se evaluaron los tratamientos T1, T2 y T3. De los cuales el tratamiento T1 presentó una diferencia significativa respecto a los tratamientos T2 y T3. Concluyendo que el mejor tratamiento es el T2 por el menor consumo de energía.

### ABSTRACT

The investigation was carried out in a period of 3 months in the company Karbel S.c.r.ltda L in the Huánuco region, having as general objective to evaluate the influence of different volumes of the hydrogen gas obtained with the prototype from wastewater, in the conservation of the Aguaymanto. The prototype was built using electronic circuits, transformers, Arduino, relays, glass jars, stainless steel plates, etc. All of them were assembled; The stainless steel plates were placed in a glass jar, which has two energy inputs, which is supplied by a 15a transformer, controlled by an Arduino, relays and a Bluetooth port. By supplying the energy to the plates inside the vial in which the residual water is deposited, the hydrogen gas was obtained in an average amount of 305 cm<sup>3</sup> per minute of operation. We evaluated 3 transformers of 10 A, 15a and 20a thus determining the optimal voltage, which is 15a by the low energy consumption. Hydrogen gas was applied to the Aguaymanto in 3 treatments: T1 = 400 cm<sup>3</sup>, T2 = 750 cm<sup>3</sup> and T3 = 1100 cm<sup>3</sup> at ambient temperature, which were compared with a sample witness to the same conditions. They were evaluated in two phases, the first phase constituted the first 15 days of the research, at this stage evaluated the organoleptic and physicochemical characteristics of the aguaymanto, obtaining as a result that treatments T1, T2 and T3 did not suffer Statistically significant changes, while the witness showed changes. The second phase was constituted the second 15 days of the research in which the treatments T1, T2 and T3 were evaluated. of which the treatment T1 showed a significant difference with respect to treatments T2 and T3. Concluding that the best treatment is T2 for the least energy consumption.

## I. INTRODUCCIÓN

La investigación se desarrolló en dos etapas; la primera consistió en el diseño y construcción de un prototipo por medio de circuitos electrónicos capaz de obtener gas hidrógeno a partir de agua residual, mientras que en la segunda etapa se evaluaron los diferentes volúmenes del gas hidrógeno obtenidos del prototipo, siendo estos 400 cm<sup>3</sup>, 750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> a un tiempo constante. Ambas etapas fueron necesarias para la aplicación en la conservación del aguaymanto (*Physalis peruviana*).

La investigación mostró resultados favorables respecto a la conservación del aguaymanto, incrementando así la vida útil del producto gracias a la modificación en el ambiente gaseoso ya que así disminuye el grado de respiración, reduce el crecimiento microbiano y retrasa el deterioro enzimático.

Para la ejecución de esta investigación se diseñó un ejemplar con circuitos impresos, microcontroladores y circuitos electrónicos, luego se realizó un aplicativo para el sistema operativo Android, lo cual nos permite controlar a través de un dispositivo móvil el encendido, apagado y la cantidad de volumen requerido para la aplicación en el aguaymanto. Para lo cual se evaluó las tensiones eléctricas de 3 transformadores de voltaje (10 A, 15 A y 20 A). Terminado el prototipo se procedió a la evaluación del gas hidrógeno con los volúmenes de 400 cm<sup>3</sup>, 750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> y unos contenidos en frasco de vidrio, para determinar la incidencia de estos volúmenes de hidrógeno en el aguaymanto finalmente se realizó su caracterización y análisis fisicoquímico.

Como objetivo principal para la investigación fue evaluar la influencia de diferentes volúmenes del gas hidrógeno obtenido con el prototipo a partir de aguas residuales, en la conservación de frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana*).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la empresa KARBEL SCRL, ubicado en el distrito de Amarilis provincia y región de Huánuco.

Dentro de los materiales utilizados se encuentran; circuitos electrónicos: (arduino mega, tablero de 8 relays, dispositivo bluetooth, fuente de poder de 10A a 20A, circuitos electrónicos de poder, cables utp de 10 cm, cable de poder/mt, transformador de 12v). Y láminas de acero inoxidable, pernos y tuercas, silicona en barra, manguera de goma/mt, base de madera de 50x50 cm, bolsas de poliuretano, cinta aislante y de embalaje, pintura en aerosol, cautín, estaño y pasta, recipientes de 1.1 L, 0.75 L, 0.4 L). Se utilizó como materia prima el fruto del aguaymanto, procedente de la localidad de Cochas Chico, distrito de Chinchao, provincia y región de Huánuco.

### Diseño y elaboración del prototipo

Para el diseño del prototipo se determinaron los alcances y lo que se desea obtener de la investigación. En el diseño, elaboramos un bosquejo que refleje principalmente la estructura del prototipo. Realizar las pruebas de funcionamiento

Para confirmar el correcto funcionamiento de los circuitos electrónicos, medimos la entrada y salida de energía eléctrica de cada uno de ellos.

### Acondicionar el agua residual

Para la obtención del gas hidrógeno es necesario que el agua, por más residual que sea, no presente impurezas y se encuentre en un pH muy cercano a 7.

### Procesar y Comparar datos

En el proceso de datos es necesario mencionar que existen datos del volumen del gas hidrógeno que se obtuvo del prototipo, las características físico químicas y sensoriales; para determinar este último es

necesario contar con una escala respecto al olor, sabor y color del aguaymanto.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1: Resultado de la evaluación de las tensiones eléctricas.

CONSUMO DE ENERGIA Y PRODUCCIÓN DE GAS			
TRANSFORMADORES	consumo de Watts/h	Temperatura del Transformador en funcionamiento	Volumen promedio de producción de H en cm <sup>3</sup> /min
transformador N° 1 (10 A)	2200 W/h	52 °C	250 cm <sup>3</sup> /min
	2200 W/h	53 °C	251 cm <sup>3</sup> /min
	2200 W/h	52 °C	250 cm <sup>3</sup> /min
transformador N° 2 (15 A)	3300 W/h	25 °C	305 cm <sup>3</sup> /min
	3300 W/h	26 °C	306 cm <sup>3</sup> /min
	3300 W/h	25 °C	307 cm <sup>3</sup> /min
transformador N° 3 (20 A)	4400 W/h	26 °C	307 cm <sup>3</sup> /min
	4400 W/h	25 °C	305 cm <sup>3</sup> /min
	4400 W/h	26 °C	307 cm <sup>3</sup> /min

#### Respecto a la tensión eléctrica

Velásquez Piedrahíta y Quiceno Castañeda (2013) de la Universidad Tecnológica de Pereira mencionan, que el rango de funcionamiento de los alimentadores de corriente para la obtención del gas hidrógeno mediante electrolisis varía de entre 0,1 W para las que funcionan con membrana de intercambio de protones,

hasta 2MW para las celdas de combustible. Con este rango podemos afirmar que las tensiones analizadas dentro de nuestro prototipo (220v – 10A; 220v – 15A y 220v – 20A) están dentro de ello, y en base a los resultados obtenidos los cuales se muestran en la tabla 1, se afirma que el prototipo muestra eficiencia en el nivel de consumo de energía.

Tabla2: Resultado del análisis sensorial del aguaymanto durante los primeros 15 días

Días que duró el análisis	Tratamiento N° 1 (400 cm3)			Tratamiento N° 2 (750 cm3)			Tratamiento N° 3 (1100 cm3)			Testigo		
	Color	sabor	Aroma	Color	sabor	Aroma	Color	sabor	Aroma	Color	sabor	Aroma
Hasta el día 15	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	3
	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	3	4
	4	5	4	5	5	5	5	5	5	3	3	3
	5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	4	3
	5	5	5	5	4	4	5	5	5	3	4	3
	4	5	4	5	5	4	5	4	5	3	3	3
	5	4	5	4	5	5	4	5	5	3	3	4
	4	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	2
	5	4	4	5	4	5	5	5	5	3	2	3
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3

**Tabla3: Resultado del análisis sensorial del aguaymanto durante los segundos 15 días**

Días que duró el análisis	Tratamiento N° 1 (400 cm <sup>3</sup> )			Tratamiento N° 2 (750 cm <sup>3</sup> )			Tratamiento N° 3 (1100 cm <sup>3</sup> )			Testigo		
	Color	sabor	Aroma	Color	sabor	Aroma	Color	sabor	Aroma	Color	sabor	Aroma
Hasta el día 30	4	5	4	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	5	4	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	5	4	4	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	3	3	3	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	4	4	4	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	4	4	2	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	3	4	4	5	5	5	5	5	5	1	1	1
	3	2	4	5	4	5	5	5	5	1	1	1
	4	3	3	5	4	5	5	5	5	1	1	1
	3	3	3	5	4	4	5	4	5	1	1	1

### Respecto a las características sensoriales

#### Color

Encina et al. (2007) menciona que el color del fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana*) es característico similar al dorado brillante. Según los resultados obtenidos en la evaluación de los panelistas mostrados en la tabla2, resultados de los primeros 15 días de conservación, nos muestran que en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación muestran un buen atributo respecto al color a diferencia del testigo que mostro un atributo desagradable.

Los resultados de los segundos 15 días de conservación (tabla3), nos muestran diferencias en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación, el primero (400 cm<sup>3</sup>) muestra deficiencias, el segundo y el tercero (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) muestran un buen atributo respecto al color.

#### Sabor

Encina et al. (2007) menciona que el sabor del fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana*) es característico agridulce. Según los resultados de los primeros 15 días de conservación (tabla2), nos muestran que en los tres volúmenes de gas hidrógeno

a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación muestran un buen atributo respecto al sabor a diferencia del testigo que mostro un atributo desagradable.

Los resultados de los segundos 15 días de conservación (tabla3), nos muestran diferencias en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación, el primero (400 cm<sup>3</sup>) muestra deficiencias, el segundo y el tercero (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) muestran buenos atributos respecto al sabor.

#### Aroma

Encina et al. (2007) menciona que el aroma del fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana*) es característico. Según los resultados obtenidos en la evaluación de los panelistas mostrados en la tabla2 de los primeros 15 días de conservación, nos muestran que en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación muestran un buen atributo respecto al aroma a diferencia del testigo que mostro un aroma desagradable.

Los resultados de los segundos 15 días de conservación (tabla3), nos muestran diferencias en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue

sometido el aguaymanto para la conservación, el primero (400 cm<sup>3</sup>) muestra deficiencias, el segundo y el tercero (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) muestran buen atributo respecto al aroma.

Respecto a las características fisicoquímicas

### **pH**

Encina et al. (2007) menciona que el pH del fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana*) es  $4.08 \pm 0,01$ . Según los resultados obtenidos en los primeros 15 días de conservación, los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación muestran una buena característica respecto al pH a diferencia del testigo que mostro un pH alto. En los segundos 15 días de conservación, se obtuvo diferencias en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación, el primero (400 cm<sup>3</sup>) muestra deficiencias, el segundo y el tercero (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) muestran buenas características respecto al pH.

### **Acidez**

Encina et al. (2007) menciona que el índice de acidez (madurez) del fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana*) es 5,48

$\pm 0,02$ . Según los resultados obtenidos en la evaluación de los primeros 15 días de conservación, nos muestran que en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación muestran una buena característica respecto a la acidez a diferencia del testigo que mostro una acidez baja.

Los resultados de los segundos 15 días, nos muestran diferencias en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación, el primero (400 cm<sup>3</sup>) muestra deficiencias, el segundo y el tercero (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) muestran buenas

características respecto a la acidez.

### **°Brix**

Encina et al. (2007) menciona que los °Brix del fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana*) es  $12,5 \pm 0,05$ . Según los resultados obtenidos en los primeros 15 días de conservación, nos muestran que en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación muestran una buena característica respecto a los °Brix a diferencia del testigo que mostro °Brix bajos y en los segundos 15 días de conservación, nos muestran diferencias en los tres volúmenes de gas hidrógeno a los cuales fue sometido el aguaymanto para la conservación, el primero (400 cm<sup>3</sup>) muestra deficiencias, el segundo y el tercero (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) muestran buenas características respecto a los °Brix.

### **Respecto al volumen de gas hidrógeno**

Los volúmenes a los cuales fueron sometidos los tratamientos son 400 cm<sup>3</sup>; 750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup>, mostraron niveles de conservación óptimos durante los primeros 15 días a diferencia del testigo. En los segundos 15 días mostraron diferencias en los tres tratamientos. El primer tratamiento (400 cm<sup>3</sup>) mostro deficiencias de conservación, el segundo y el tercer tratamiento (750 cm<sup>3</sup> y 1100 cm<sup>3</sup> respectivamente) mostraron buenas características de conservación y estadísticamente no mostraron diferencias significativas.

## **IV. CONCLUSIONES**

Se logró determinar la tensión eléctrica que mejoró la eficiencia del prototipo en la obtención de gas hidrógeno a partir de aguas residuales. Para ello se evaluó el volumen de gas generado en un minuto, el consumo de energía y la temperatura del transformador cuando el prototipo está en funcionamiento. El mejor resultado presentó el segundo transformador; Vol. = 306 cm<sup>3</sup>/min, 3300 W/h y T° = 25°C, siendo este el ganador. Las

características del transformador son las siguientes: Voltaje de entrada 200-265 voltios AC 50Hz, Voltaje de salida igual +12 voltios 15 A (3300 watts/h).

Se logró determinar el mejor volumen de gas hidrógeno obtenido con el prototipo a partir de aguas residuales, que conservó por un mayor tiempo los frutos de aguaymanto, el mejor volumen que se optó es 750 cm<sup>3</sup>, basándonos a los análisis y demás pruebas a las que fue sometido el prototipo y el producto.

Se logró determinar las características sensoriales (color, sabor y aroma) de los tres tratamientos del fruto de aguaymanto conservado en almacenamiento con gas hidrógeno obtenido con el prototipo a partir de aguas residuales, siendo el mejor tratamiento el T2, dichas características en una escala hedónica del 1 al 5 muestran los siguientes valores: Color = 5; Sabor = 4.4 y Aroma = 4.9.

Se logró determinar las características físico-químicas (pH, Acidez y °Brix) de los tres tratamientos del fruto de aguaymanto conservado en almacenamiento con gas hidrógeno obtenido con el prototipo a partir de aguas residuales, siendo el mejor tratamiento el T2, dichas características en una escala hedónica del 1 al 5 muestran los siguientes valores: pH = 4.11; Acidez = 2.25 y °Brix = 12.1.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Centro de Innovación y Emprendimiento Agroindustrial y a la empresa KARBEL SCRL.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Blazquez, P. y Montero C. (2010). Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3era Cuenca. Buenos Aires, Argentina.

edUTecNe. 29 p.

Bourgeois, C; Mescle, J; Zucca, J. (1994). Microbiología Alimentaria 1: Aspectos microbiológicos de la seguridad y calidad alimentaria. Zaragoza, España. Acibia. sp.

Camacho, S. (2010). Diseño y construcción de una fuente variable de voltaje monofásica de 5 kva – 220 v, de 0 a 440 v con mando local y remoto. Tesis Ing. Elec. Latacunga, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército. 107 p.

Campuzano, A; Cedeño, V. (2015). Diseño e implementación de un sistema de seguridad de control local y remoto con dispositivos de vigilancia desarrollado en el software python, centralizándose en una tarjeta raspberry PI. Tesis Ing. Elec. Guayaquil, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. 109 p.

Cartagena, J. y Meneses, S. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. Revista

Lasallista de Investigación 5 (2): 112-123

Casp A. y Abril J. (2003). Procesos de conservación de alimentos. Madrid, España. Mundi Prensa. 477p

Díaz, E.; Alvarado, A; Camacho, K. 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera 14(1):78-97.

- Encina, C.; Ureña, M.; Repo, R. (2007). Determinación de los compuestos bioactivos del Aguaymanto (*Physalis peruviana*, Linnaeus, 1753) y de su conserva en almíbar maximizando la retención de ácido ascórbico (en línea). Perú. Consultado 10 oct. 2016. Disponible en: <http://www.guzlop-editoras.com/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). (2016). Grasas y aceites en la nutrición humana. (En línea). Consultado el 23 nov 2016. Disponible en <http://www.fao.org/>
- García, J. (2014). Implementación de sistema de comunicación Bluetooth con Java. Tesis Ing. Comp. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 100 p.
- Gauchía, L. (2008). Modelado y simulación HIL (hardware-in-the-loop) de un sistema pila de combustible – batería. Tesis Master. Madrid, España. Universidad Carlos III de Madrid. 104 p.
- Gutiérrez, L. (2005). El hidrógeno: combustible del futuro. 1 ed. Revista. Real Academia de Ciencias. Madrid, España.
- Hernandez, E. (2008). Descripción de las operaciones, tecnología y buenas prácticas de higiene y sanidad en un centro de almacenamiento y distribución de alimentos perecederos, cámara frigorífica de: congelados, carnes, pescados, lácteos, frutas y verduras. Tesis Ing. Alim. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 175 p.
- Jiménez, J; Pérez, J; Santos, J. (2009). Metodología para pruebas de campo a transformadores de potencia mayores a 1 mva. Tesis Ing. Elec. D.F, México. Instituto Politécnico Nacional. 86 p.
- Johns, N. (1995). Higiene de los alimentos. Zaragoza, España. Acribia. Sp.

*Diseño y construcción de un prototipo para obtener gas hidrógeno a partir de aguas residuales, y su aplicación en la conservación de frutos de aguaymanto (Physalis peruviana)*