

Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica

Drinking water purification and hydrogen generation using photovoltaic solar energy

PAVÓN-SILVA, Thelma B.^{1*}†, AGUILAR-VALENCIA, Ana P.², ROA-MORALES, Gabriela³ y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna³

¹ Universidad Autónoma del Estado de México-Unidad Académica Profesional Acolman

² Universidad Autónoma del Estado de México-Facultad de Química

³ Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEMex-UNAM

ID 1^{er} Autor: *Thelma B. Pavón-Silva* / ORC ID: 0000-0002-3003-9542, CVU CONACYT ID: 120634

ID 1^{er} Coautor: *Ana P. Aguilar-Valencia*

ID 2^{do} Coautor: *Gabriela Roa-Morales* / ORC ID: 0000-0001-7355-2568, CVU CONACYT ID: 121592

ID 3^{er} Coautor: *Reyna Natividad-Rangel* / ORC ID: 0000-0001-8978-1066, CVU CONACYT ID: 87755

Recibido 10 de Marzo, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

Resumen

Se reportan los resultados de mejora de un reactor para la producción de agua potable aplicando energía solar fotovoltaica en directo con la evaluación en la producción de hidrógeno. El reactor electroquímico utiliza electrodos de aluminio y está diseñado de tal manera que al producirse tanto hidrógeno como oxígeno de la electrolisis del agua estos puedan ser separados para tener la cuantificación de hidrógeno así como su pureza, el volumen del reactor empleado fue de 2.5 L, el flujo de trabajo de 250 mL/min, y la duración de las pruebas fue de 5 horas. Así mismo se hace uso de la melanina como catalizador con el fin de aumentar la producción de hidrógeno. La pureza del gas es de 94.6%, detectando oxígeno como contaminante, no se reporta presencia de CO₂ ni CO. Observando el incremento al doble la producción de hidrógeno con el catalizador. A su vez los parámetros obtenidos en el agua tratada (microbiológicos, turbidez, pH, conductividad, Cr) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad mexicana.

Tratamiento electroquímico, Electrodos de aluminio, NOM-127-SSA

Abstract

The results of the improvement of a reactor for the production of drinking water are reported by applying photovoltaic solar energy in direct with the evaluation in the production of hydrogen. The electrochemical reactor uses aluminum electrodes and is designed in such a way that when both hydrogen and oxygen are produced from the electrolysis of the water they can be separated to have the quantification of hydrogen as well as its purity, the volume of the reactor used was 2.5 L, the workflow of 250 mL/min, and the duration of the tests was 5 hours. Likewise, melanin is used as a catalyst in order to increase the production of hydrogen. The purity of the gas is 94.6% and the main detected impurity was oxygen, nor CO₂ or CO were observed. By using melanin as a catalyst, the production of hydrogen is almost doubled without detection of other contaminating gases. In turn, the parameters obtained in the treated water (microbiological, turbidity, pH, conductivity, Cr) are within the ranges established by Mexican regulations.

Electrochemical treatment, aluminum electrodes, NOM-127-SSA

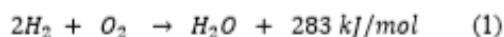
Citación: PAVÓN-SILVA, Thelma B., AGUILAR-VALENCIA, Ana P., ROA-MORALES, Gabriela y NATIVIDAD-RANGEL, Reyna. Potabilización de agua y generación de hidrógeno aplicando energía solar fotovoltaica. Revista de Energías Renovables 2018. 2-5: 22-30.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: th.pavon@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

El proceso mediante el cual se obtiene el Hidrógeno empleando como compuesto principal al agua se conoce como electrolisis, dicho proceso consta de dos electrodos que están conectados a un flujo de energía eléctrica y que se encuentran sumergidos en la solución, el que está conectado al polo positivo es conocido como ánodo y el conectado al polo negativo como cátodo, cada electrodo atrae a los iones opuestos, así el ánodo atrae a los iones negativos y es el lugar donde aparece el oxígeno, mientras que en el cátodo se atraen a los positivos haciendo que el hidrógeno aparezca allí. (Chang y Williams, 2002). Si la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno es un proceso que libera energía, el proceso inverso (hidrólisis) tiene un costo energético de igual magnitud.



Por ello se ha buscado implementar energías sustentables que sean capaces de suministrar la energía necesaria para el proceso de electrolisis, reduciendo así los grandes costos económicos que dicho proceso implica, ya que el hidrógeno es una de las energías portadoras más prometedoras del futuro.

Trabajos que ha realizado por colaboradores de la Universidad Autónoma del Estado de México, están enfocados al uso de celdas electroquímicas para el tratamiento de agua, ya sea agua residual industrial y generación de agua potable, son diversos (Bailón-Martínez *et al.*, 2017, Amado Piña *et al.*, 2017, Peralta *et al.*, 2013, Pavón-Silva *et al.*, 2009, Martín del Campo *et al.*, 2014, Torres-Blancas *et al.* 2015). La implementación de la energía solar a las celdas electroquímicas se ha explorado en el grupo.

La energía fotovoltaica, consiste en hacer que la luz solar incida sobre la superficie de las celdas solares para ser transformada en energía eléctrica de corriente directa. Esta energía es recogida y conducida hasta un controlador de carga. El controlador tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías. La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación. Si las cargas a alimentar son de corriente directa, esto puede hacerse directamente desde el arreglo fotovoltaico o desde la batería.

Estas celdas son capaces de generar una corriente a un voltaje determinado, que dependerá de la potencia y dependerá si se colocan en serie o en paralelo y orientadas siempre hacia el sur para conseguir un voltaje adecuado. (Valero *et al.*, 2008; 2011). Se ha demostrado que la electrocoagulación elimina contaminantes complejos en aguas residuales que requieren una combinación de métodos fisicoquímicos y biológicos (Pérez S. *et al.*; 2016; Hesham A. *et al.*; 2016; Barrera-Díaz, *et al.*; 2006). También se ha demostrado que su combinación con otros procesos como la ozonización (Barrera-Díaz, *et al.*; 2012) es altamente efectiva para la remediación de aguas residuales de matriz compleja. Sin embargo, la aplicación de electrocoagulación ha sido restringida en cierta medida por el costo que implica el uso de energía eléctrica.

Además, el cambio climático incita a la investigación y desarrollo de nuevas formas de energía renovable (ISES, 2003) como la energía fotovoltaica (PV) (Valero, 2008), cuyas ventajas incluyen su uso gratuito y abundante, recurso renovable, descentralizado, con larga vida útil y bajos costos de mantenimiento y no da como resultado contaminación.

Melanina como catalizador

La melanina es un polímero café oscuro producido en varios organismos mediante la fermentación oxidativa del nitrógeno contenido en las células o del nitrógeno fenólico libre, es considerada como un fuerte antioxidante además de presentar funciones anti-virales y alta capacidad protectora contra la radiación ultra violeta en organismos vivos (Sun, *et al.* 2016).

El pigmento oscuro ha sido extraído e identificado en diversas fuentes como los hongos, entre ellos *Aspergillus nidulans*, *Agaricus bisporus*, *Hipoxilon archeri Berk*, *Auricularia auricula* y *Ophiocordyceps sinensis*, etc. En ellos se encontraron propiedades tanto físicas como químicas: elevado peso molecular, insolubilidad en agua y solventes orgánicos comunes, decoloración en presencia de agentes oxidantes (H₂O₂) y la absorción espectral en solución se encuentra entre el rango visible y ultravioleta (como se observa, la molécula presenta una estructura bastante simétrica, motivo por el que se le atribuye una gran estabilidad, figura 1.

Se cree que las posiciones periféricas de la molécula son las encargadas de atrapar los fotones, lo cual inicia una cascada de electrones hacia los centros de reacción (4N) en donde se genera una diferencia de potencial suficiente como para que el átomo de hidrógeno sea atraído con más fuerza hacia los centros de reacción de la melanina.

Su peso molecular elevado le permite presentar cientos de miles de centros de reacción contenidos en solo un gramo del compuesto, lo que habla de su gran eficacia para recolectar o absorber la energía que transmiten las radiaciones electromagnéticas, y por ende una gran cantidad de moléculas de agua desdobladas en un tiempo corto.

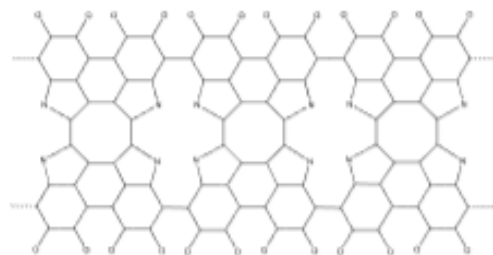
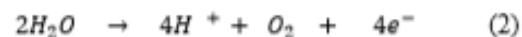


Figura 1 Estructura teórica de la melanina

Fuente: (Solís 2009)

Sin embargo, se ha demostrado que el aumento en las propiedades de transferencia de electrones de la melanina es independiente de la energía de los fotones incidentes, por lo que se ha notado que la melanina tiene la notable capacidad de convertir la radiación de baja energía en una forma más útil de energía. Las observaciones de sus efectos biológicos permiten observar su efecto sobre el agua liberando hidrógeno y oxígeno.

La separación de la molécula de agua por fotopigmentos se denomina fotólisis, representada por la reacción:



Un centro de reacción sólo puede generar una carga positiva o su equivalente oxidante a la vez. Este problema se resuelve por la presencia de 4 átomos de nitrógeno en el centro de reacción de la molécula de melanina, cada uno de los cuales transfiere un solo electrón (Solís 2009).

El Objetivo de este trabajo es evaluar la producción de Hidrógeno (H_2) por medio del tratamiento electroquímico catalizado con melanina empleando electrodos de Al, acoplado a la utilización de energía fotovoltaica. Dentro de los objetivos particulares están el analizar el comportamiento de la aplicación de la melanina como catalizador en diferentes matrices como proyección para diseñar un reactor en continuo con una producción adecuada de hidrógeno.

2. Metodología

Reactivos Químicos

Sulfato de sodio anhidro de FERMONT, agua destilada y agua desionizada pH=7 (20°C), Melanina sintética SIGMA Life Science, Glutaraldehído SIGMA-ALDRICH, Alginato de sodio SIGMA-ALDRICH, Cloruro de calcio FERMONT, Carboximetilcelulosa SIGMA-ALDRICH.

Muestras de agua

Las muestras de agua superficial se obtuvieron de una presa ubicada en la comunidad de San Cayetano de Morelos del Estado de México, junto a la autopista Libramiento Ruta de la Independencia de Toluca y en la laguna perteneciente a la comunidad de San Mateo Atenco. El muestreo no se realizó en toda la presa y laguna, se tomaron muestras en el mismo lugar y se recolectaron en garrafones, los cuales fueron trasladados al CCIQS UAEM-UNAM.

Electrolito soporte

Se utilizó Na_2SO_4 (0.05M) como electrolito soporte se buscó enriquecer de iones las muestras de agua superficial y facilitar la reacción de desprendimiento del hidrógeno, considerando que no es tóxico y se ha utilizado en trabajos previos (Bailón, 2017).

Pruebas de producción de hidrógeno

Se llevaron a cabo pruebas preliminares ya que se probaron diversos reactores, buscando tanto las mejores condiciones para el tratamiento electroquímico del agua, y para la producción del hidrógeno, así como la recolección de los gases, sobre todo el hidrógeno y la limpieza del sistema. En este documento solo se mencionarán los resultados del último reactor.

Descripción del Reactor

Consiste en un recipiente de plástico rectangular, transparente con un volumen de 1.7 L, al que se le realizó, en la parte inferior dos orificios a una altura de 1cm, a través de los cuales se insertaron dos barras de aluminio cuyos extremos sostenían tres electrodos del mismo metal separados $\frac{1}{2}$ cm c/u. Las dimensiones de los electrodos fueron 2 placas con área de 24.96 cm^2 y 4 de 12 cm^2 .

En la tapa se perforaron dos orificios de 0.5 cm de diámetro, a través de los cuales atravesaban dos pequeños cilindros de 1 mL, que se conectaban a los dos recipientes que separaron los electrodos. (Aguilar-Valencia, 2014). Se empleó una parrilla de agitación marca CORNING y para las pruebas preliminares una fuente de poder regulada SEICOM Electrónica y posteriormente el panel fotovoltaico. El dispositivo se muestra en la Figura 2. Debido a que no hay antecedentes al respecto del uso de la melanina las formas de aplicación consideradas fueron las siguientes:

Adicionada directamente a la solución

Se preparó una solución de concentración conocida de tal manera que se adicionó una concentración fija por prueba y se cuantificó la producción de hidrógeno, comparado con un blanco que es una prueba que no contiene la melanina.

Fija en glutaraldehído

Para fijar el catalizador se utilizó un portaobjetos, en el cual se adicionará una pequeña capa de glutaraldehído seguida de una capa con concentración establecida de melanina y finalmente sellada con otra capa de glutaraldehído.

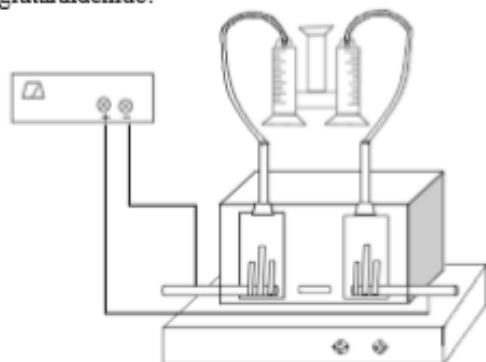


Figura 2 Reactor utilizado

Fuente: Aguilar-Valencia, 2014

Esferas de alginato-melanina

Para la síntesis de las esferas alginato-melanina se utilizarán 3 soluciones: la primera compuesta por 0.2g de alginato y 7 mL de agua desionizada, esta se deja reposar para humedecer, la segunda integrada por 0.015 mg de melanina con 2.5 mL de agua desionizada y finalmente la solución tres con 0.065 g de CaCl_2 en 5 mL de agua desionizada. Una vez hidratado el alginato de la solución 1, este se mezcla con la solución 2, dicha solución resultante se introduce en una jeringa y se deja caer gota a gota en la solución 3 con el fin de formar las esferas.

Esferas de carboximetilcelulosa-alginato-melanina

Para la preparación de estas esferas se utilizaron 3 soluciones: la primera compuesta por 0.2 g de alginato, 0.2 g de carboximetilcelulosa y 10 mL de agua desionizada, se deja reposar para humedecer y formar un gel, la segunda formada nuevamente por 0.015 mg de melanina y 2.5 mL de agua desionizada y finalmente la solución de CaCl_2 con 0.13 g en 25 mL de agua desionizada. Una vez formado el gel con los dos primeros reactivos se integra la melanina disuelta en agua y finalmente la solución se introduce en una jeringa para dejar caer gota a gota en la solución de CaCl_2 , y formar las esferas.

Cuantificación del hidrógeno e impurezas encontradas

Al terminar las pruebas se analizaron las muestras en el cromatógrafo de gases VARIAN CP-3800 donde previamente se establecieron los parámetros del método: temperatura del horno TCD 230°C , flujo de la columna 0.9 mL/min, presión de la columna 3.5 psi, volumen de inyección $200 \mu\text{L}$ y tiempo de retención 15 min; para la determinación de la pureza del gas y las impurezas presentes en este, en este caso se midieron estándares de H_2 , CO , CO_2 y O .

Eficiencia de la producción de Hidrógeno en lote empleando la melanina y fuente de poder

Para el cálculo de las eficiencias se utilizó la ecuación 3:

$$\epsilon = \frac{mQ}{\int_0^t VI dt} 100\% \quad (3)$$

Dado que se utilizó una fuente de corriente directa, el potencial y la corriente en la celda no cambiaron, por lo que la expresión del denominador se simplificó a la ecuación 4:

$$\int_0^t VI dt = Vit \quad (4)$$

Es decir la energía de entrada se calcularía con el producto de la corriente por el potencial y por el tiempo del tratamiento. Q es la energía liberada del hidrógeno y tiene el valor de 141.9 kJ/g. Por lo que restaría encontrar la masa del hidrógeno obtenido en cada caso para poder determinar la eficiencia.

Para estas pruebas preliminares del volumen total del gas se consideró que fuera 100% de hidrógeno, ya que aún no se ha determinado la pureza. La celda operó a presión atmosférica con un valor de 0.7103 atm, para la ciudad de Toluca. Se determinó la cantidad de moles del gas con la ecuación de gas ideal ecuación 5:

$$PV = nRT \quad (5)$$

El volumen V es medido en L, la presión atmosférica es conocida en atm, R es la constante universal de los gases con un valor de 0.082 Latm/mol K, y la temperatura se transforma a grados K. Una vez obtenido el número de moles, se considera que un mol de hidrógeno molecular tiene una masa de 2 gramos. La masa estimada entonces se multiplica por el valor de Q.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de los parámetros del agua superficial empleada se muestran en la tabla 1.

pH	7.45
Conductividad	366 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Temperatura	18.7°C
Turbiedad	225.6 FAU
DQO	130 mg/L como O_2
COT	93.08 ppm C

Tabla 1 Parámetros del agua superficial
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el valor de turbiedad supera el límite permisible por normatividad (NOM-127-SSA1-1994) de 5 unidades nefelométricas (UTN), mientras que el valor de pH se encuentra dentro de los límites establecidos (6.5-8.5).

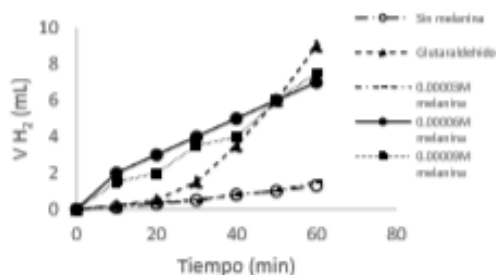
La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, en este caso no se supera el valor de la temperatura ambiente.

La DQO en aguas superficiales debe ser sumamente baja y es un parámetro a determinar cuando la calidad del agua es incierta, en este caso el valor de 130 mg/L, indica la presencia de una cierta cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible a ser oxidada.

La turbiedad al igual que el parámetro anterior es superior a los límites máximos establecidos por la normatividad, pero son los valores antes de ser tratada el agua, como también el del Carbono Orgánico Total se encuentra en 93 mg/L.

Pruebas de producción de hidrógeno

En la gráfica 1, se muestran resultados de pruebas preliminares sin adición de melanina y con adición directa, variando su concentración, observando el comportamiento en la producción de hidrógeno.



Gráfica 1 Evaluación de la producción de hidrógeno, sin el empleo de melanina, melanina en diferentes concentraciones y fija en glutaraldehído

Fuente: Aguilar-Valencia, 2014

Medición de los parámetros del agua superficial tratada en lote empleando la melanina y fuente de poder

En la tabla 2, se presentan resultados de los experimentos preliminares al usar la fuente de poder, los experimentos se realizaron por triplicado, obteniéndose los promedios para representarlos en dicha tabla.

En estas pruebas el parámetro de DQO se incrementa con respecto al inicial, por lo que el proceso de uso de la melanina está afectando en las pruebas efectuadas con la melanina en solución y fija en las capas de glutaraldehído, debido a que estos polímeros pasan a formar parte de la solución elevando así la presencia de material que es evaluado en la DQO.

Muestra	Tiempo (min)	DQO O	Turbiedad (FTU)	pH	Ω (mS)	T (°C)
Sin melanina (inicial)	0	73	28	6.35	4.5	16.2
Sin melanina (final)	130	14	4	7.7	2.3	21
3*10 ⁻³ M melanina (inicial)	0	87.3	29	8.1	7.2	19.2
3*10 ⁻³ M melanina (final)	170	150.6	9	9.3	7.7	21
6*10 ⁻³ M melanina (inicial)	0	100.6	18	7.4	5.6	18.7
6*10 ⁻³ M melanina (final)	170	197.5	9	7.8	7.8	19.6
9*10 ⁻³ M melanina (inicial)	0	157.3	23	7.6	6.5	18.6
9*10 ⁻³ M melanina (final)	170	244	13	8	7.6	19.6
2 capas de Glutaraldehído (inicial)	0	130	26	7.5	3.6	18.4
2 capas de Glutaraldehído (final)	170	954	13	8.6	8.2	17
1 capa de Glutaraldehído (inicial)	0	130	23	6.8	2.7	17.8
1 capa de Glutaraldehído (final)	170	884	15	7.8	7.3	18
Esferas de alginato-melanina (inicial)	0	40.3	13	7.0	2.24	18.4
Esferas de alginato-melanina (final)	170	74.8	5	7.4	2.13	21

Tabla 2 Parámetros fisicoquímicos en la electrocoagulación-producción de hidrógeno 0.05M Na₂SO₄, 2A, 15V

Fuente: *Elaboración Propia*

A pesar de que la turbidez en las muestras se ve disminuida, solo en las pruebas realizadas sin catalizador y soportado en las esferas de alginato se encuentra por debajo de los límites permisibles. El pH se encuentra dentro de los rangos establecidos en las pruebas sin melanina y con las esferas, mientras que con la melanina en solución y fija en glutaraldehído (2 capas) sobrepasa ya que el intervalo es de 6.5 a 8.5 unidades de pH. El comportamiento se debe a que, mientras mayor sea el tiempo de contacto de la melanina con los electrodos, mayor es la eficiencia, reflejándose en la obtención del gas de interés, pero hace falta el disminuir los parámetros de la norma de agua para consumo humano con el fin de optimizar el proceso.

Medición de los parámetros del agua superficial tratada en lote empleando la melanina y el dispositivo acoplado al panel solar

Los experimentos realizados corresponden a pruebas con la melanina en solución, esferas de alginato-melanina y esferas de carboximetilcelulosa-alginato-melanina, en estos casos la corriente y voltaje aplicados se mantuvieron de acuerdo a las condiciones climáticas, los resultados se muestran en la Tabla 3. De acuerdo al módulo solar el corriente vario entre 0.9 y 2.24 A, el voltaje de 20.2 a 21.7. Todas las pruebas se corrieron durante 130 minutos.

El parámetro pH, se encuentra dentro de los estándares tanto para las muestras sin el uso de la melanina como para el empleo de las esferas, mostrando un aumento con la melanina en solución (pH = 9.3), así mismo en la turbiedad y DQO sobrepasan los límites permisibles por la normatividad, ya que en dichas pruebas la coloración del agua no disminuyo y por el contrario adopto el color de la melanina, en este caso un tono marrón.

En comparación con los experimentos donde la melanina se encuentra formando esferas con alginato y carboximetilcelulosa, donde los parámetros DQO y turbiedad disminuyeron satisfactoriamente encontrándose por debajo de los límites permisibles por la normatividad.

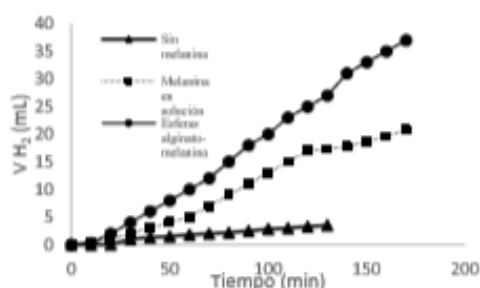
Muestra	DQO	Turbiedad (FTU)	pH	Ω (mS)	T (°C)
Sin melanina (inicial)	87	12	7.29	7.29	17.4
Sin melanina (final)	14	2	7.73	4.7	18.6
Melanina en solución 0.00006M (inicial)	157.33	25	8.35	3.5	21
Melanina en solución 0.00006M (final)	477.33	13	9.3	7.73	19.2
Esferas alginato-melanina (inicial)	70.4	13	7.23	4.2	18.4
Esferas alginato-melanina (final)	40.4	5	7.42	3.6	20.4
Esferas carboximetilcelulosa-alginato-melanina (inicial)	83	14	6.47	7.4	16
Esferas carboximetilcelulosa-alginato-melanina (final)	47.06	4	7.69	4.6	17.4

Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos en la producción de hidrógeno 0.05M Na₂SO₄ acoplados al panel solar

Fuente: *Elaboración Propia*

El tiempo de duración de las pruebas con las esferas de alginato-melanina y carboximetilcelulosa-alginato-melanina varia, esto dependió de la resistencia de las esferas durante el tratamiento electroquímico, lo que les brinda una estabilidad superior que las hace más resistentes al tratamiento y agitación. En la gráfica 2, se representa la evolución de la producción de hidrógeno durante las pruebas realizadas en el agua superficial y la melanina en solución y en forma de esferas, donde se observa que prácticamente se triplica el volumen de hidrógeno generado, considerando una manera más estable de el uso de la melanina, con mayor resistencia al proceso electroquímico aunque si observamos la tabla 3, aunque el valor de la DQO se incrementa no es tan significativo como en el caso de la melanina en solución donde este valor se dispara hasta 477 mg/L. Esto para la melanina trabajada en forma de esferas, observando resultados similares tanto para la de alginato como para la combinación carboximetilcelulosa-alginato.

De igual forma que la eficiencia del sistema, las pruebas que denotan mayor producción del gas de interés son: melanina fija en glutaraldehído, seguida de concentraciones de $9 \cdot 10^{-5}M$ y $6 \cdot 10^{-5}M$ de melanina respectivamente. Se observa además que en las pruebas donde se emplea una concentración de $0.00006M$ de melanina el desprendimiento del gas fue mayor a los 10 minutos de iniciar la prueba, en comparación con los demás procedimientos y a pesar de obtener menor volumen del gas en 60 min, este proceso presenta un aumento lineal. Sobre todo estas pruebas preliminares nos sirvieron para probar parte de la hipótesis donde se afirma que la melanina aumenta de forma significativa la producción de hidrógeno durante el tratamiento electroquímico de aguas superficiales.



Gráfica 2 Evaluación de la producción de hidrógeno sin el empleo de melanina, melanina en solución y fija en esferas de alginato-melanina

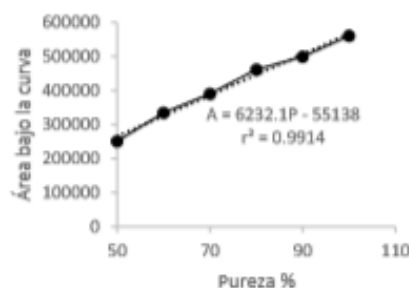
Fuente: Aguilar Valencia, 2014

ISSN: 2523-6881

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Producción de hidrógeno

En la gráfica 3 se observa la curva de calibración obtenida para determinar la pureza del hidrógeno obtenido en el tratamiento.



Gráfica 3 Curva de calibración: porcentaje de pureza hidrógeno

Fuente: Elaboración Propia

De la ecuación de la curva se despeja la pureza (P), quedando:

$$P = \frac{A+55138}{6232.1} \quad (6)$$

Con esta ecuación se calculó la pureza del Hidrógeno obtenido durante el experimento. La tabla 4 muestra los resultados de la pureza del hidrógeno obtenido durante el tratamiento electroquímico del agua superficial.

Tiempo de retención (min)	Área de respuesta	Pureza (%)
0.69	524445.2	92.9
0.71	545413	96.3
0.7	Promedio	94.6

Tabla 4 Pureza del hidrógeno obtenida con electrodos de Aluminio

Impurezas presentes en el Hidrógeno

La impureza que denota el análisis cromatográfico de las muestras obtenidas de gas hidrógeno, indican la presencia del oxígeno, ya que se observan picos entre los 3.5 y 4 min, valores muy semejantes al obtenido con el estándar analizado de 3.5 min. Por otra parte no se encontró la presencia tanto de CO_2 como de CO , ya que el tiempo de retención de los estándares de dichos gases se encuentra a los 9 y 13 min respectivamente, la muestra analizada no present picos en esa zona.

La gráfica de cromatografía de gases muestra los picos de oxígeno teniendo de la muestra la señal aunque mucho más pequeña en el mismo tiempo, no así para dióxido de carbono.

4. Agradecimientos

Se agradece a la Universidad sus instalaciones en el Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM y Facultad de Química.

5. Conclusiones

La situación energética que actualmente se está viviendo y con la infinidad de repercusiones que se tienen como la creciente contaminación, el cambio climático, los conflictos internacionales por el acceso a los recursos y sobre todo el notable agotamiento de los combustibles fósiles, implican la aplicación de nuevas tecnologías energéticas, destacando entre muchas el hidrógeno, aunque aún de manera incipiente para su manejo.

Se confirma el uso de energía solar fotovoltaica para alimentar un reactor electroquímico con producción de agua para consumo humano y cogeneración de hidrógeno, sin embargo en este caso hay que verificar el cumplimiento de la normatividad para agua de consumo humano o bien implementar otra operación unitaria para llegar a este cumplimiento de parámetros de agua de consumo.

Por ello con este proyecto se pretende contribuir a los inicios de la resolución del problema de la creciente demanda de energía, sobre todo en comunidades donde la carencia de agua y energía eléctrica se dan por problemas de ubicación y tamaño de población.

Es necesario aplicar el procedimiento en reactores en continuo donde se espera una mejor eficiencia con las esferas de alginato para la aplicación de la melanina como catalizador, así como hacer el comparativo con otro tipo de catalizadores.

Finalmente contribuye a la disminución de las emisiones de contaminantes por el uso de combustibles fósiles.

6. Referencias

Aguilar-Valencia P. (2014). Aprovechamiento de la electrogeneración de hidrógeno a través de un sistema de tratamiento de agua. Tesis para obtener el título de Licenciada en Química. Pp. 94. Repositorio Institucional UAEM.

Amado-Piña D., Roa-Morales G., Barrera-Díaz C., Balderas-Hernandez P., Romero R., Martín del Campo E. y Natividad R. (2017). Synergic effect of ozonation and electrochemical methods on oxidation and toxicity reduction: Phenol degradation. *Fuel* Volume 198, 15 June pp. 82-90.

Bailón-Martínez A., Pavón-Silva T., Ibañez G. J., Roa-Morales G. (2017). Simultaneous electrocoagulation of dam water and production of hydrogen. *World Review of Science, Technology and Sust. Development*, 13, No. 3, pp. 1741-2234.

Barrera-Díaz C., Bernal-Martínez L., Natividad R. and Peralta-Hernández J. (2012). Synergy of Electrochemical/O₃ Process with Aluminum Electrodes in Industrial Wastewater Treatment. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51, 9335-9442

Barrera-Díaz C., Roa-Morales G., Ávila-Córdoba L., Pavón-Silva T., and Bilyeu B., Electrochemical Treatment Applied to Food-Processing Industrial Wastewater, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(2006) 34-38.

Chang R. & Williams C. (2002). Química General. Séptima edición. Editorial McGraw-Hill. pp 884.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.12.023>

Hesham Ahmad, Walid K. Lafi, Khaleel Abushgair and Jamal M. Assbeihat. Comparison of Coagulation, Electrocoagulation and Biological Techniques for the Municipal Wastewater Treatment. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 22 (2016) pp. 11014-11024.

ISES 2003, Transición hacia un futuro basado en las fuentes renovables de energía. Asociación internacional de energía solar. <http://whitepaper.ises.org/ISES-WP-600.pdf>

Martin del Campo E., Romero R., Roa G., Peralta-Reyes E., Espino-Valencia J. Natividad R. (2014). Photo-Fenton oxidation of phenolic compounds catalyzed by iron-PILC. *Fuel* 138 pp. 149–155.

Pavón-Silva T., Pacheco-Salazar V. Sánchez-Meza J., Roa-Morales G., Colín-Cruz A. January (2009). Physicochemical and Biological Combined Treatment Applied to a Food Industry Wastewater for Reuse *Journal of Environmental Science and Health, part A*. 44 pp. 108-115.

Peralta E., Natividad R., Roa G., Marin R., Romero R. and Pavón T. (2013). A comparative study on the electrochemical production of H₂O₂ between BDD and graphite cathodes. *Sustain. Environ. Res.*, 23(4), pp. 259-266.

Pérez S. L., Rodríguez M. O., Reyna S., Sánchez-Salas J. L., Lozada J. D., Quiroz M. A., Bandala E. R. Oil refinery wastewater treatment using coupled electrocoagulation and fixed film biological processes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. Volume 91, February 2016, Pages 53–60

Solis A. (2009). Melanina, la clorofila humana, su papel en el origen de la vida y la posibilidad de que sea la tan buscada materia oscura (dark matter) en el universo. *Editorial Mundi Comunicaciones, S.A. de C.V.* pp 21-25

Sun S. Zhang X. Shiwei S. Liaoyuan Z. Shan S. & Zhu H. (2016). Production of natural melanin by *Auricularia auricula* and study on its molecular structure. *Food Chemistry* 190. Pp. 801–807.

Torres-Blancas T., Roa-Morales G., Barrera-Díaz C., Ureña-Núñez F., Cruz-Olivares J., Balderas-Hernandez P., and Natividad R. (2015). Ozonation of Indigo Carmine Enhanced by Fe/Pimenta dioica L. Merrill Particles *International Journal of Photoenergy* Volume 2015, 9 p.

Valero D., Juan M. Ortiz, Vicente García, Eduardo Expósito †, Vicente Montiel, Antonio Aldaz. (2011) Electrocoagulation of wastewater from almond industry. *Chemosphere* 84. pp. 1290–1295.

Valero D., V. García-García, E. Expósito, A. Aldaz, V. Montiel, (2013). Electrochemical. Treatment of wastewater from almond industry using dsa-type anodes: direct connection to a pv generator, *Separation and Purification Technology*.