

**APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PROVENIENTE  
DE LA PLAZA DE MERCADO EL POTRERILLO PARA LA PRODUCCIÓN DE  
HIDRÓGENO POR FERMENTACIÓN OSCURA  
(Resumen Analítico)**

**UTILIZATION OF ORGANIC WASTE FOR THE GENERATION OF HYDROGEN  
BY DARK FERMENTATION.  
(Analytical Summary)**

**Autores (Authors):** GUAPUCAL CASTAÑEDA CRISTHIAN ALEXIS, JIMÉNEZ TATICUAN FREDY ALEXANDER, GAVILANES ORTEGA WILLIAM DAVID  
**Facultad (Faculty):** de INGENIERÍA  
**Programa (Program):** INGENIERÍA AMBIENTAL  
**Asesor (Support):** MG. JUAN CARLOS NARVÁEZ BURGOS  
**Fecha de terminación del estudio (End of the research):** NOVIEMBRE DE 2024  
**Modalidad de Investigación (Kind of research):** Trabajo de Grado

**PALABRAS CLAVE**

APROVECHAMIENTO.  
RESIDUOS ORGÁNICOS.  
INÓCULOS.  
FERMENTACIÓN OSCURA.  
HIDRÓGENO VERDE.

**KEY WORDS**

AVAIL.  
ORGANIC WASTE.  
INOCULUM.  
DARK FERMENTATION.  
GREEN HYDROGEN.

**RESUMEN:** El incremento poblacional, que llegó a 8000 millones de personas en 2022 (Organización de las Naciones Unidas, ONU, 2022) ha generado impactos negativos al medio ambiente debido a la explotación de los servicios ecosistémicos. Por lo anterior, a nivel mundial se han planteado estrategias para prevenir y mitigar los daños causados; en la última Conferencia de las Partes (COP 28), se planteó la necesidad de eliminar progresivamente la utilización de combustibles fósiles que ocasionan el calentamiento global y por ende el cambio climático (ONU, 2023). De

esta manera, se requiere buscar alternativas que replacen el uso de este tipo de combustibles que emiten Gases Efecto Invernadero (GEI). Los residuos orgánicos, que corresponden al 44% del total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) recolectados en el mundo, estimados en 11.200 millones de toneladas (World Bank Group, et al., 2018), son una de las alternativas que, bien aprovechadas, pueden reemplazar a los hidrocarburos y además aportan a la reducción de la cantidad de residuos que se disponen en rellenos sanitarios o vertederos a cielo abierto.

En ese orden de ideas, se realizó una experimentación enfocada en la obtención de hidrógeno ( $H_2$ ) por medio de la fermentación oscura de los residuos orgánicos. Para ello se adecuaron 4 reactores tipo batch de 15 litros. En estos se agregó 4Kg de residuos extraídos de la plaza de mercado el potrerillo de la ciudad de San Juan de Pasto. Previamente se realizaron muestreos aleatorios para identificar los residuos de mayor preponderancia, obteniendo a la rama de cebolla larga, la cáscara de arveja, haba y frijol como aquellos con mayor presencia y a los cuales se les realizó, tras una revisión bibliográfica, la caracterización fisicoquímica.

Debido a que la investigación se enfocó en evaluar el tamaño del efecto se utilizaron 3 diferentes tipos de inóculo (lodos de la laguna anaerobia de la planta de sacrificio Frigovito, Lodos de una laguna anaerobia del Parque tecnológico Ambiental Antanas (PTAA) y estiércol de cerdo). Además, fue necesario controlar el pH y la temperatura externa, pues, según Varnero (2011), son las variables más influyentes en el proceso de degradación microbiana. Para el control el pH se utilizó un agente *buffer* compuesto de ácido acético y bicarbonato de sodio regulándolo a valores neutros. Por otro lado, la temperatura se controló sumergiendo los reactores a una piscina e implementando termostatos y una bomba sumergible para la recirculación del agua.

A los reactores también se agregó 4 litros de agua y se selló herméticamente para iniciar el proceso de generación de hidrógeno. Las mediciones de dicho gas se hicieron a través de un sensor MQ8 previamente calibrado por electrólisis. Para transmitir los valores al computador se hizo uso de un Arduino y un lenguaje de programación. Así, se tomaron 18 valores tanto de pH y temperatura interna como del hidrógeno producido y se estimó posteriormente, mediante aplicaciones de pruebas no paramétricas, que el reactor con el inóculo de Antanas produjo la mayor cantidad de hidrógeno.

**ABSTRACT:** *The population increase, which reached 8 billion people in 2022 (United Nations, UN, 2022), has generated negative impacts on the environment due to the exploitation of ecosystem services. Therefore, strategies have been proposed worldwide to prevent and mitigate the damage caused; at the last Conference of the Parties (COP 28), the need to progressively eliminate the use of fossil fuels that cause global warming and therefore climate change was raised (UN, 2023). In this way, it is necessary to find alternatives to replace the use of this type of fuels that emit Greenhouse Gases (GHG). Organic waste, which accounts for 44% of the total*

*Municipal Solid Waste (MSW) collected in the world, estimated at 11.2 billion tons (World Bank Group, et al., 2018), is one of the alternatives that, if properly used, can replace hydrocarbons and also contribute to reducing the amount of waste disposed of in landfills or open-air dumps.*

*In this order of ideas, an experiment was carried out focused on obtaining hydrogen through the dark fermentation of organic waste. For this purpose, 4 15-liter batch reactors were adapted. In these, 4 kg of waste extracted from the El Potrerillo market square in the city of San Juan de Pasto was added. Previously, random sampling was carried out to identify the most prevalent waste, obtaining the long onion branch, pea peel, broad bean and kidney bean as those with the greatest presence and to which, after a bibliographic review, the physicochemical characterization was carried out.*

*Since the research focused on evaluating the effect size, three different types of inoculums were used (sludge from the anaerobic lagoon of the Frigovito slaughterhouse, sludge from an anaerobic lagoon of the Antanas Environmental Technology Park (PTAA) and pig manure). In addition, it was necessary to control the pH and the external temperature, since, according to Varnero (2011), they are the most influential variables in the microbial degradation process. To control the pH, a buffer agent composed of acetic acid and sodium bicarbonate was used, regulating it to neutral values. On the other hand, the temperature was controlled by immersing the reactors in a pool and implementing thermostats and a submersible pump for water recirculation.*

*Four liters of water were also added to the reactors and hermetically sealed to start the hydrogen generation process. The measurements of this gas were made through an MQ8 sensor previously calibrated by electrolysis. An Arduino and a programming language were used to transmit the values to the computer. Thus, 18 values were taken for both pH and internal temperature as well as for the hydrogen produced and it was subsequently estimated, through non-parametric test applications, that the reactor with the Antanas inoculum produced the greatest amount of hydrogen.*

**CONCLUSIONES:** El reactor al que se le agregaron lodos de la laguna del PTAA fue, según su media, el mayor generador de hidrógeno durante la experimentación, con lo que, en conjunto la correlación de las variables dependientes indica que, a medida que el pH aumenta y la temperatura disminuye (aunque no en valores drásticos), la producción de hidrógeno fue mayor.

Por otro lado, el aporte de nutrientes fue una de las condiciones más relevantes al momento de la fermentación, pues los microorganismos aprovecharon el sustrato para realizar sus procesos metabólicos que desencadenaron en la generación de hidrógeno. Además, fue fundamental controlar el pH y la temperatura para inhibir el proceso de metanogénesis, pues en esta etapa de la degradación anaerobia las

arqueas metanogénicas realizan la oxidorreducción del hidrógeno para utilizarlo en sus procesos y consecuentemente desprender metano (CH<sub>4</sub>).

El pH fue la variable más influyente en el proceso de producción de H<sub>2</sub>, pues a diferencia de los otros reactores inoculados, la estabilización del pH en Antanas garantizó que se inhibieran las bacterias consumidoras de hidrógeno. Por su parte, luego de haber realizado el muestreo aleatorio se evidencia que los residuos están sujetos a condiciones geográficas, económicas y de consumo principalmente, por lo que se deduce que de la plaza de mercado El Potrerillo, gracias a las características mencionadas anteriormente, se encuentra en mayor cantidad residuos de hortalizas. La sumatoria del sustrato y el inóculo de Antanas arrojó que en este se presentaron las mayores cantidades de Carbono, Nitrógeno y Grasas, fundamentales para que el metabolismo microbiano fuera el ideal.

La adecuación de los reactores jugó un rol fundamental para que los procesos se dieran a cabalidad, pues controlar las fugas, procurar condiciones completamente oscuras, adecuar las válvulas de salida de manera que no se fuge el gas, fue un trabajo arduo para que el hidrógeno, el gas mas liviano existente, no se perdiera a la atmosfera, pues de se así implica que no se tomen valores verídicos.

**CONCLUSIONS:** *The reactor to which sludge from the PTAA lagoon was added was, according to its average, the largest hydrogen generator during the experiment, so that, as a whole, the correlation of the dependent variables indicates that, as the pH increases and the temperature decreases (although not in drastic values), the production of hydrogen was greater.*

*On the other hand, the contribution of nutrients was one of the most relevant conditions at the time of fermentation, since the microorganisms took advantage of the substrate to carry out their metabolic processes that triggered the generation of hydrogen. In addition, it was essential to control the pH and temperature to inhibit the process of methanogenesis, since at this stage of anaerobic degradation the methanogenic archaea carry out the oxidation reduction of hydrogen to use it in their processes and consequently release methane (CH<sub>4</sub>).*

*The pH was the most influential variable in the H<sub>2</sub> production process, since unlike the other inoculated reactors, the pH stabilization in Antanas guaranteed that hydrogen-consuming bacteria were inhibited. On the other hand, after having carried out the random sampling, it was evident that the waste is subject to geographical, economic and consumption conditions mainly, so it is deduced that the El Potrerillo market square, thanks to the characteristics mentioned above, contains the largest amount of vegetable waste. The sum of the substrate and the Antanas inoculum showed that the highest amounts of Carbon, Nitrogen and Fats were present in it, which are essential for the microbial metabolism to be ideal.*

*The adaptation of the reactors played a fundamental role in ensuring that the*

*processes were carried out fully, since controlling leaks, ensuring completely dark conditions, and adjusting the outlet valves so that the gas did not escape was hard work to ensure that hydrogen, the lightest gas in existence, was not lost to the atmosphere, since doing so would mean that true values were not taken.*

**RECOMENDACIONES:** Luego de terminado el trabajo de investigación se identificaron algunos factores que pueden alterar la producción de hidrógeno, entre ellos se puede destacar la utilización de diversos tipos de residuos que, por su contenido energético y elemental, aporten en mayor medida a que los microorganismos puedan desarrollar sus actividades con mayor eficiencia. Aquí se puede destacar a los residuos de frutas que, por sus contenidos de glucosa, pueden potenciar el proceso de producción de hidrógeno.

Además, se recomienda realizar experimentaciones con temperaturas mayores, pero en el rango de los mesófilos, y a su vez, realizar un pre tratamiento a los inóculos, con el fin de realizar una comparación teniendo como base este proyecto e identificar si se genera una mayor producción de hidrógeno luego del proceso fermentativo. También es importante mencionar que, el tiempo de retención celular correspondió a un *confusing factor* en el trabajo de investigación, sin embargo, es importante identificar el tiempo idóneo en el que los microorganismos consumen la materia, pues luego de esto el proceso productivo ya no va a ser eficiente.

Por último, se recomienda realizar mediciones con un sensor MQ4 y MQ135 para medir el CH<sub>4</sub> y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) respectivamente. Esto con el fin de registrar si el proceso inhibitorio se desarrolla a cabalidad o si, por el contrario, se requiere un control más exhaustivo a las variables dependientes para que no se pierda la generación de H<sub>2</sub> en otros procesos microbianos.

**RECOMMENDATIONS:** *After the research work was completed, some factors were identified that can alter hydrogen production. Among them, the use of various types of waste can be highlighted, which, due to their energy and elemental content, contribute to a greater extent to the microorganisms being able to develop their activities more efficiently. Here, fruit waste can be highlighted, which, due to its glucose content, can enhance the hydrogen production process.*

*In addition, it is recommended to carry out experiments with higher temperatures, but in the range of mesophiles, and in turn, to carry out a pre-treatment of the inocula, in order to make a comparison based on this project and identify whether a greater production of hydrogen is generated after the fermentation process. It is also important to mention that the cell retention time corresponded to a confusing factor in the research work, however, it is important to identify the ideal time in which the microorganisms consume the matter, because after this the production process will no longer be efficient.*

*Finally, it is recommended to perform measurements with an MQ4 and MQ135 sensor to measure CH<sub>4</sub> and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) respectively. This is done in order to record whether the inhibitory process is fully developed or if, on the contrary, more exhaustive control of the dependent variables is required so that the generation of H<sub>2</sub> in other microbial processes is not lost.*