

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ INSTANTÁNEO

AUTORES: Juan Miguel Garcia Cabrera ¹
Rosa Alexandra Córdova Mosquera ²

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: juanmiguel213@hotmail.com

Fecha de recepción: 14/12/2020

Fecha de aceptación: 26/04/2021

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como propósito evidenciar la producción de biogás generado por medio de una digestión anaerobia de las aguas residuales producidas por la industria procesadora de café instantáneo, ya que debido a la elaboración de este producto se obtienen altos volúmenes de aguas residuales, encontrando en su composición compuestos recalcitrantes. Una de las posibles alternativas en el tratamiento de efluentes recalcitrantes es la aplicación de procesos oxidativos avanzados (POA), influyendo en la disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) y del carbono orgánico total; siendo valorado el sustrato del agua residual sintética de café instantáneo mediante el potencial bioquímico del metano (BMP) como principal componente en la generación de biogás. Se caracterizó el inóculo en función de los sólidos volátiles suspendidos, El potencial Bioquímico de metano se realizó a temperatura mesofílica y Termofílica (35 °C y 55 °C) con cargas orgánicas de 0,1; 0,2; 0,35 y 0,5 gDQO/gSSV con la presencia de taninos y en cargas orgánicas de 0,2 y 0,35 gDQO/gSSV con remoción de taninos, ambas durante un periodo de 25 días; el agua residual de café instantáneo utilizada presentó concentraciones de DQO que oscilaron entre ≥ 4000 mg/L y ≥ 4478 mg/L, aplicando un inóculo procedente de un reactor anaerobio de la industria de pescado EUROFISH. Los procesos fueron monitoreados a través de parámetros como DQO, DBO, SSV, pH, temperatura y rendimiento de metano, mostrando comportamientos diferentes en la degradación de la materia orgánica acorde a las cargas aplicadas.

Palabras claves: Biogás; aguas residuales; café instantáneo; DBO; DQO; BMP.

BIOGAS PRODUCTION FROM INSTANT COFFE EWASTE WATER

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

² Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

ABSTRACT

The purpose of this research work was to demonstrate the production of biogas generated by an anaerobic digestion of the wastewater produced by the instant coffee processing industry, since due to the production of this product high volumes of wastewater are obtained, finding in its composition recalcitrant compounds. One of the possible alternatives in the treatment of recalcitrant effluents is the application of advanced oxidative processes (POA), influencing the reduction of chemical oxygen demand (DQO) and total organic carbon; the substrate of the synthetic instant water of instant coffee is evaluated by the biochemical potential of methane (BMP) as the main component in the generation of biogas. The inoculum was characterized in terms of suspended volatile solids. The biochemical potential of methane was carried out at mesophilic and thermophilic temperatures (35 °C and 55 °C) with organic loads of 0.1; 0.2; 0,35 and 0,5 gDQO / gSSV with the presence of tannins and in organic loads of 0,2 and 0,35 gDQO / gSSV with removal of tannins, both during a period of 25 days; the residual water of instant coffee used showed DQO concentrations that ranged between ≥ 4000 mg / L and ≥ 4478 mg / L, applying an inoculum from an anaerobic reactor of the fish industry EUROFISH. The processes were monitored through parameters such as DQO, DBO, SSV, pH, temperature and methane yield, showing different behaviors in the degradation of organic matter according to the loads applied.

Keywords: Biogas; wastewater; instant coffee; BOD; COD; BMP.

INTRODUCCIÓN

El café es un producto de exportación importante para la economía de la nación, siendo el Ecuador uno de los pocos países en el mundo que exporta dos tipos de café (arábigo y robusta) (PRO ECUADOR, 2019). El café es un cultivo eminentemente orientado hacia el mercado internacional, ocupando el puesto 19 en el ranking de los productores internacionales de café siendo caracterizado como un producto de buena calidad (La Hora, 2018). Aproximadamente un 90% de la producción nacional de café es dirigido a Europa y Norteamérica, Japón y Alemania destacan siendo los países que más compran el café industrializado mientras que Estados Unidos es el mayor comprador del café en granos, y el 10% restante de la producción es de consumo del país (Productor, 2017). Ecuador produjo en el año del 2017 una cantidad de 695.144,07 sacos de café industrializado identificando un decaimiento del 24,5 % con relación al año 2016 (El Telegrafo, 2018).

La industria cafetalera es uno de los principales contaminadores del continente latinoamericano, generando una gran cantidad de residuos orgánicos que difícilmente pueden ser diluidos, varios autores señalan el impacto negativo producido por los residuales pertenecientes a esta actividad agroindustrial sobre el medio ambiente y la sociedad (Luzardo y Aguilera 1998, Pérez et al. 2000, Vila y Garcia 2004, Haddis y Devi 2008) En el país la cantidad de agua residual de café instantáneo producido es de aproximadamente $1'387.629,387$ m³/ mes (Rojas, 2018), debido a esta situación se deben buscar diversas alternativas que favorezcan y que permitan reducir o evitar estos impactos ambientales generados por el procesamiento del café.

Las cargas contaminantes y los grandes volúmenes de estos efluentes, además de contener altas cargas orgánicas, presentan pH ácido y color; constituidos principalmente de elementos como la cafeína, grasas sustancias péptica y macromoléculas como la lignina, taninos y ácidos húmicos (Zayas Pérez, 2007).

Para reducir los efectos generados por estos residuos antes de ser vertidos en el medio se deben buscar alternativas tecnológicas que permitan una adecuada biodegradación de dichos residuales, donde uno de los procesos más estudiados que se encuentra es la biometanización.

La digestión anaerobia es un proceso biológico que consiste en la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales; siendo comprobado con buenos resultados en la industria alimenticia, láctea, vinícola, cárnica, industrias cerveceras, entre otras (Huertas, 2015).

Uno de los beneficios de aplicar la digestión anaerobia como tratamiento a este tipo de aguas residuales es la obtención del biogás o denominado también como “el gas de los pantanos” en 1776 por Volta (Daniel Alkalay, s.f.), pudiendo ser utilizado como medio energético aprovechando de esta manera al residuo brindándole valor agregado.

Desde ese entonces el proceso anaeróbico ha ido evolucionando a medida que se han obtenido mayores resultados y conocimientos en torno a la microbiología presentada en dicho proceso. Los residuos agrícolas lignocelulósicos pueden ser utilizados directamente como biocombustibles o ser transformados en bioetanol o biogás; mediante procesos de fermentación, siendo considerados como fuentes de energías renovables debido a la lentitud en su agotamiento.

Es por esto que este trabajo pretende resolver el siguiente problema científico:

¿Cuáles son las condiciones óptimas para poder generar biogás mediante la digestión anaerobia de aguas residuales sintéticas de café instantáneo en régimen discontinuo a temperaturas mesofílica y termofílica?

Para resolver este problema se plantea la siguiente hipótesis:

El rendimiento de metano generado durante la Digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo en régimen discontinuo a temperatura mesofílica y termofílica se incrementa en un 50%, en ausencia de polifenoles recalcitrantes y a diferentes condiciones de operación.

El propósito de la investigación es dar a conocer la generación de biogás mediante el aprovechamiento del agua residual de la industria de café; ya que esta agua posee un porcentaje elevado de contaminante; donde por ejemplo existen valores aproximados a 11.672 mg/l de DQO y con pH de 6,5 a 7,0; pudiendo determinar que dicha agua residual permitiría reducir considerablemente los contaminantes; siendo por lo general tratados mediante sistemas anaerobios, pudiendo ser considerado como un componente primordial en la generación de energías renovables (FAO, 2011).

DESARROLLO

La investigación se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y en el Laboratorio de Análisis Químico y Biotecnológico de la Universidad Técnica de Manabí. Las etapas del proceso experimental consistieron en la preparación del agua sintética, caracterización del sustrato, tratamiento de oxidación avanzada, preparación del inóculo y la determinación del ensayo del potencial bioquímico de metano (BMP) a temperaturas mesofílica (35°C) y termofílica (55°C), la determinación de nivel de fitotoxicidad en proceso germinativo de semilla.

Preparación del agua sintética

Para la elaboración del agua sintética se utilizó café molido y tostado de la variedad Robusta. Se calentó 1 litro de agua en una placa calefactora hasta su punto de ebullición, luego se añadieron 20 g de café que fueron pesados en balanza analítica. Se realizó una extracción de estos granos en caliente durante 20 minutos y posteriormente se realizó el filtrado (Silvia Gracia, 1995).

Existe bibliografía donde indican que el DQO en ensayos de aguas residuales sintéticas debe fluctuar entre 3.500 y 4.500 mg/l; según (NIHON KASETSU, 2020); la DQO es la demanda química de oxígeno del agua, donde la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Se expresa también en mg/l; cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua.

La DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mg/l, aunque puede llegar a 5.000 según el tipo de industria.

El DQO del agua de la Industria El Café, se encuentra en un aproximado mínimo de 2.300 mg/l y un máximo de 1.200 mg/l; por lo tanto, para la elaboración del agua de café soluble empleado en la investigación y su tratamiento discontinuo se contó con un DQO de ≥ 4.000 mg/l.

Caracterización del sustrato

La caracterización del agua residual sintética consistió en la determinación de los parámetros físicos, mediante la utilización de un termómetro colocado en las dos piscinas termostatadas de forma aleatoria fue identificada la conservación de temperatura a 35 y 55°C $\pm 1^\circ\text{C}$, de manera simultánea se evaluaron las condiciones de temperatura del ambiente; efectuando la cuantificación de pH de la solución de hidróxido de sodio, y, empleando un potenciómetro se identificó el pH de las muestras digeridas.

De igual manera se determinaron los parámetros químicos de control del proceso tales como: oxígeno disuelto (LDO), sólidos totales disueltos (STD). Para ello se utilizó un equipo multiparámetro HACH modelo HQ40d. Para la determinación de los taninos, los sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda química de oxígeno (DQO), se empleó un espectro fotómetro HACH modelo DR/2500. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), se determinó empleando una incubadora HACH modelo 205 y BDOTrak TM II de acuerdo al Manual de Análisis de Aguas HACH (2000). Los sólidos totales (ST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) se calcularon usando una estufa MEMMENT D-91126 y una mufla THERMO SCIENTIFIC-F-48010. Todas las determinaciones analíticas fueron realizadas de acuerdo a las normas establecidas por los métodos estandarizados de laboratorio APHA, AWWA, WEF (2012) (Mosquera & Gómez-Salcedo et al., 2018).

Preparación del inóculo

Se utilizaron inóculos procedentes de la Industria de pescado EUROFISH de la ciudad de Manta. En el proceso de muestreo se mezclaron tres partes de lodos y una parte del sustrato de alimentación del reactor anaerobio, para la activación de la biomasa debido a lo imposible del muestreo a la altura media del mismo; los lodos obtenidos del reactor fueron descargados de la válvula de purga donde se encuentran en su gran mayoría mineralizados. Los lodos a temperatura ambiente fueron desgasificados para eliminar el CH₄ aportado por la biomasa, conectando una manguera en el reactor a un depósito contenido con agua para burbujear el biogás producido por el líquido y evitar la exposición de los gases al ambiente. La biomasa del inóculo fue medido por medio de la técnica de sólidos suspendidos volátiles, permitiendo la eficacia en el reactor de los lodos inoculados donde deben de presentar un 50% de sólidos suspendidos volátiles. Durante el proceso de desgasificación se utilizaron 200ml por semana de agua residual sintética de café instantáneo como alimento para aclimatar el sustrato.

Determinación del BMP

Para el montaje y seguimiento del tratamiento de digestión anaerobia en discontinuo, se

utilizaron dos piscinas termostatas elaboradas con material de vidrio y aislante polietileno de aluminio combinado, uno para régimen mesofílico ($35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y otro para régimen termofílico ($55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). Una vez caracterizado el sustrato y después de ser sometido al POA para la reducción de los taninos, se procedió a realizar el montaje del sistema conformado por docereactores de 495 ml (sistema mesofílico) y doce de 490 ml (sistema termofílico) con cargas de 0,2 y 0,35. De la misma manera se experimento sin la presencia de POA con docereactores de 545 ml (sistema mesofílico) y doce de 490 ml (sistema termofílico) con cargas de 0,2 y 0,35. Los reactores fueron preparados mezclando la cantidad de inóculo y agua residual sintética previamente calculada de acuerdo a la carga orgánica establecida. Donde, por último, se procedió a filtrar los lodos al emplear cargas de 0,2 y 0,35 (gDQO/gSSV), mientras que para las cargas 0,1 y 0,5 (gDQO/gSSV) no se filtró la biomasa siendo así parámetros de estudio y comparación; efectuando dos replicas para cada una y adicionalmente, se emplearon tres reactores de control o blancos (agua destilada + inóculo).

Se preparó otra muestra por cada carga orgánica, para realizar los ensayos de medición, tales como: DBO, DQO, pH, SSV. Una vez instalados todos los reactores dentro del baño, se registró la hora de arranque y se procedió a retirar las pinzas lo más rápido posible para empezar a contabilizar el metano producido. La medición del metano se efectuó mediante el sistema de desplazamiento de Boyle y Marriot para lo cual se utilizó una solución de NaOH al 15% (p/v) y 24 probetas de 100 ml donde se depositaba la solución de hidróxido desplazada por el metano, efectuando así la contabilización del gas (Mosquera & Gómez-Salcedo et al., 2018).

La cinética fue analizada mediante el empleo del modelo exponencial de primer orden (Ecuación 1):

$$Y(t) = Y_{max}[1 - e^{-k_0 t}] \quad (1)$$

Donde:

$Y(t)$ es el rendimiento acumulado (NmLCH₄/kgVS) en el tiempo t (días),

Y_{max} (NmLCH₄/kgVS) es el máximo rendimiento de metano, en un tiempo de digestión infinito,

k_0 es la constante cinética específica observada (día). Los datos experimentales fueron ajustados al modelo por una regresión no lineal con un intervalo de confiabilidad del 95%.

Algunos sustratos de difícil degradación no se ajustan al modelo de primer orden, por lo que también se consideró el de Gompertz modificado, cuya expresión es (Ecuación 2):

$$Y(t) = Y_{max} \times e^{-\left\{ \frac{Rm \times e}{Y_{max}} (\lambda - t) + 1 \right\}} \quad (2)$$

Donde:

Rm (mL gVS⁻¹d⁻¹) es la máxima tasa de producción de metano,

$e = 2,7183$

λ (días) es el tiempo correspondiente a la fase de retardo (Mosquera & Gómez-Salcedo et al., 2018)

Determinación de Fitotoxicidad Mediante Bioensayo de germinación

Se colocó un papel filtro en cada placa Petri, rotulando cada placa de acuerdo a la carga a ubicar, fecha y hora del inicio y terminación del bioensayo luego se saturó el papel filtro con 5 ml de la

dilución correspondiente evitando la formación de bolsas de aire, posteriormente con la ayuda de una pinza se situó de manera cuidadosa veinte semillas dejando espacio suficiente entre ellas para permitir la elongación radicular. A continuación, se taparon las capsulas y se colocaron en bolsas plásticas para evitar perdida de humedad debido a que algunas variedades de semillas requieren oscuridad para su germinación después de ser colocadas las capsulas y durante el periodo de ensayo. Fueron incubadas durante 120 horas (5 días) a temperaturas $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ realizando 2 repeticiones con 5 réplicas por cada dilución a más de un control con agua destilada.

Parámetros de evaluación de fitotoxicidad

Cada punto es evaluado mediante la comparación del efecto generado en los organismos expuestos a cada muestra con respecto a la respuesta en los organismos de control como negativo (blanco), sujeto a las mismas condiciones del ensayo excepto por la ausencia de la muestra, una vez cumplido el periodo de exposición se procedió a cuantificar el efecto producido en la germinación y en la elongación de la radícula y el hipocotilo; donde se registraron el número de semillas utilizadas y las que germinaron, donde considerando como criterio germinativo la aparición visible de la raíz, luego utilizando una regla se midió de forma cuidadosa la longitud de la radícula y el hipocotilo de cada plántula germinada correspondiente a cada concentración utilizada. La medida de la elongación de la radícula se considera desde el nudo hasta el ápice entre la raíz; la medida de elongación del hipocotilo se considera desde el nudo hasta el sitio de inserción de los dos cotiledones.

Antes de retirar las plántulas de las placas Petri para la evaluación ya mencionada anteriormente es importante detallar el estado general de las mismas y del crecimiento de la raíz sobre el papel filtro, registrando cualquier indicador de fitotoxicidad o de crecimiento anormal en las plántulas tratadas y en los controles (ápices radiculares con necrosis, pelos absorbentes poco desarrollados, radículas con crecimientos ensortijados, necrosis en los cotiledones, etc). Muchas veces la necrosis se puede evidenciar de con manchas localizadas con coloración parda, blanca o marrón, además se debe consignar aquellas semillas con germinación anormal (emergencia de cotiledones e hipocotiledones solamente sin presencia de radícula), también si existiera evidencia de hongos. Para esto se utilizaron las siguientes expresiones (Ecuaciones 3, 4 y 5):

$$G = \frac{\text{\# de semillas germinadas de la muestra}}{\text{\# de semillas germinadas del control}} \quad (3)$$

$$LR = \frac{\text{Promedio de la longitud de la raíz de la muestra}}{\text{Promedio de la longitud de la raíz del control}} \quad (4)$$

$$\%IG = \frac{\%G \times \%LR}{100} \quad (5)$$

Resultados y discusión

Caracterización del Agua Sintética

La caracterización del sustrato del agua residual sintética obtenida en el laboratorio refleja idoneidad frente al agua residual de la industria de café soluble, de tal forma que el valor

reportado correspondiente a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (4000 mg de DQO/l) se encuentra dentro de los rangos monitoreados por el agua residual producidas por la fábricas de café, la cual oscila entre los 2400 y 8500 mg DQO/l, de la misma manera la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del agua residual sintética cuantificada correspondiente a 1913 mg/l, La relación de DBO/DQO del agua residual utilizada en la experimentación tiene un valor de 0,45 la cual indica la biodegradabilidad del sustrato garantizando que los residuos puedan ser tratados por procesos biológicos. (Tong, Smith, & McCarty, 1990).

Otra variable importante de control evaluada en el agua residual fue el pH reportando valores promedios de 5,3 los cuales indicaron acidez, siendo esto contraproducente para el proceso de digestión anaerobia, por lo cual se debió neutralizar la muestra antes de efectuar el proceso biológico, debido a que las arqueas metanogénicas encargadas de la producción de metano mueren en estas condiciones (Ramirez, 2005), sin embargo este atenuante puede ser positivo considerando que los compuestos fenólicos como los taninos precipitan a pH ácido, resultando favorable la reducción de este compuesto antes de la producción de metano, debido a la inhibición provocada por la presencia de estos polifenoles recalcitrantes, la cual contiene valores elevados en la cascara del fruto (Tong, Smith, & McCarty, 1990)

Tabla 1: Caracterización físico-química del agua residual sintética y de las aguas residuales del café soluble muestreada en la industria.

<i>PARÁMETROS</i>	<i>Agua Residual de la Industria</i>	<i>Agua Residual Sintética</i>
DQO (mg/L)	2400 – 8500	4250
DBO (mg/L)	5840	1913
Relación DBO/DQO (Biodegradabilidad)	0.68	0.41
pH	4 – 6.5	5.3
Conductividad (µS/cm)	7565.25	639
TDS (mg/L)	3787	356
Salinidad (%)	3.79	0.32
LDO (mg/L)	0.42	5.46
Taninos (mg/L)	757	352

Fuente: (Intriago, 2018)

Rendimientos de metano obtenidos en corridas con y sin POA

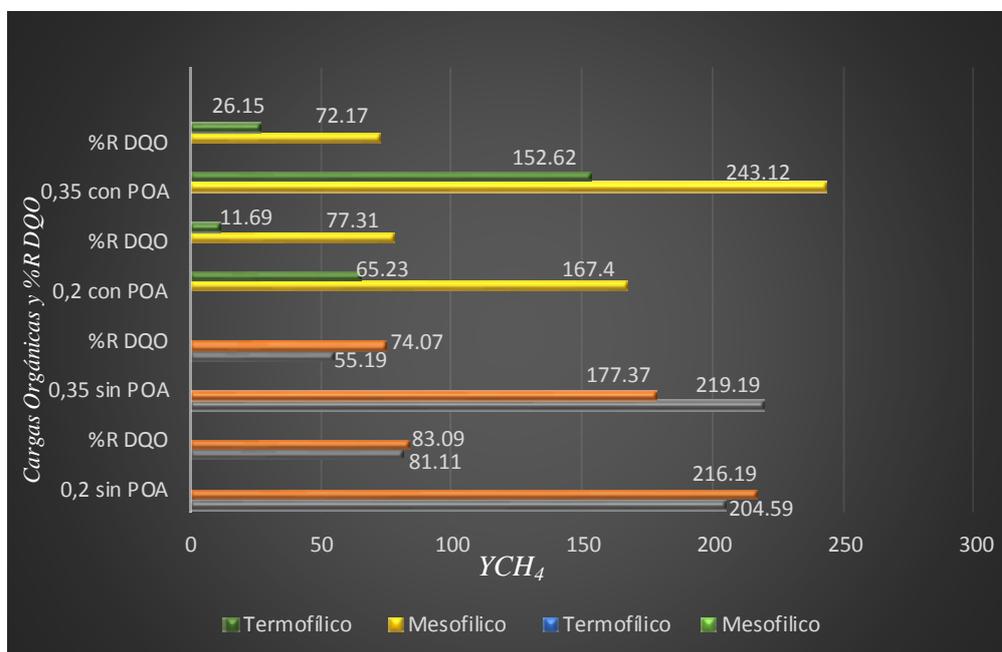


Figura 1: Rendimiento de Metano con y sin POA a partir del %R de DQO.

Como se muestra en el Figura 1, la producción de biogás obtenido a partir de la remoción de DQO, la temperatura y las cargas orgánicas utilizadas con y sin la aplicación de pretratamientos como el de POA que fueron consideradas como objetos de estudio y como indicadores en la eficiencia del proceso anaerobio durante la investigación. En teoría se menciona que la obtención de metano en una DA puede alcanzar valores de 350,00 (ml CH₄/g DQO) ; de los cuales según los resultados obtenidos durante esta experimentación fue posible la producción de biogás con valores de 243,12 (ml CH₄/g DQO) a 35°C de acuerdo a la carga 0,35 sin POA y en la misma cara orgánica con POA utilizada como parámetro comparativo en donde reflejo un valor de 219,19 (ml CH₄/g DQO) a 35°C, siendo las mayores cantidades de CH₄ logradas; pudiendo notar que el manejo de pretratamientos como en este caso el de POA no son generadores de gran incidencia dentro del proceso.

Según el Manual de Biogás FAO (FAO, 2011), indica que la operación de un reactor Batch a temperaturas mesofílicas genera condiciones muy favorables en la Digestión anaerobia, de la misma forma hace mención que aplicado dicho reactor a temperaturas termofílicas provoca mayor velocidad del proceso, lo que implica un aumento en la eliminación de organismos patógenos, de igual forma señala que suele ser inestable a cualquier cambio de condiciones de operación presentando mayores inconvenientes de inhibición del proceso por la existencia de un aumento en la toxicidad de algunos compuestos a elevadas temperaturas; siendo muy evidente de acuerdo a lo sucedido en la experimentación que el rendimiento producto de la carga 0,35 con y sin POA tanto en régimen mesofílico y termofílico presento estabilidad respecto a la producción de metano difiriendo de lo estipulado en el manual de biogás. De igual manera fue posible ver que en los reactores con las mejores cargas ya mencionadas también fue permisible observar que

donde existió una gran cantidad de metano, la remoción de DQO tuvo mayor porcentaje debido al aumento en la biodegradabilidad de los sustratos favoreciendo en la transformación de la materia orgánica a biogás.

Fitotoxicidad obtenida en bioensayo de germinación con semilla de lechuga *L. Sativa*

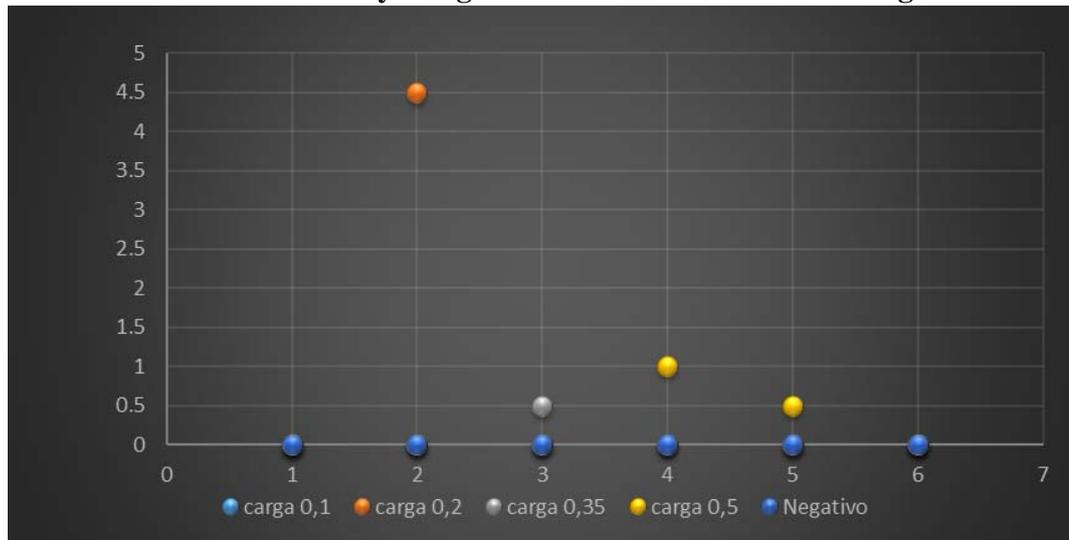


Figura 2: Valores de Longitud radicular con respecto a las cargas orgánicas

Se pudo determinar mediante el bioensayo de germinación en las semillas de lechuga *L. Sativa* como se representa en la gráfica 6, que existieron porcentajes muy bajos en los índices de germinación, identificando como valor máximo un 0,045 % en cuatro de los tratamientos efectuados correspondientes a las cargas orgánicas 0,2; 0,35 y 0,5 mostrando de esta forma un índice radicular con rangos a 0,5; 1,0 y 4,5 mm; estableciendo que las concentraciones obtenidas de la digestión anaerobia en las cargas 0,1 e incluso en el negativo existieron efectos de toxicidad sobre la germinación de la semilla pudiendo mencionar que existió una muerte del embrión; la vitalidad de las semillas que no han germinado es posible verificarlas mediante la prueba de TETRAZOLUM (Ellis R. H., 1985), pudiendo de esta forma asignarle con certeza la inhibición de la germinación.

De la misma manera con las concentraciones de las cargas 0,2; 0,35 y 0,5 donde existió una elongación radicular y de hipocotilo, siendo considerada como una interpretación con un efecto favorable o estimulante, ya que si bien es cierto muchos compuestos como el Cu y Zn a bajas concentraciones son capaces de producir exaltación por ser microorganismos vegetales.

(R., 2017)(Reyes, 2013) Indican que una semilla es considerada germinada cuando su índice radicular oscila entre 1 y 5 mm de largo;(S.E. Ratto, 2010). El crecimiento radicular y elongación es dependiente de las reservas alimenticias contenida por la semilla y la humedad presente, la plántula debe recibir luz para convertirse en autótrofas las raíces lo cual las habilitan en la absorción del agua y nutrientes efectuando la fotosíntesis emergiendo las dos primeras hojas (R., 2017).

CONCLUSIONES

1. Fue posible determinar según las cargas aplicada durante el proceso investigativo con la aplicación de pretratamiento (POA) y sin la aplicación del mismo; que a cargas orgánicas mayores a 0,2 en ambos procesos a temperaturas de 35 y 55°C existió un buen desempeño en la digestión anaerobia manteniendo la concentración de metano en biogás, debido a que a mayor carga orgánica aplicada puede existir una disminución de su tiempo de retención, demostrando de la misma manera que la DQO acidificada si se transformó a metano.
2. El mejor desempeño en términos de productividad de metano se obtuvo en condiciones mesofílicas, ya que el incremento de temperatura impacto de forma negativa en los reactores termofílico, produciendo una inestabilidad en el proceso del tratamiento.
3. Se estableció que la calidad del efluente obtenido del proceso anaerobio de las aguas residuales de café, no influyo de forma tan significativa en la germinación de las semillas de lechuga (*L. Sativa*); ya que de acuerdo a los resultados obtenidos del bioensayo existió su germinación en dos cargas de las cuatro utilizadas; señalando que estos lodos pueden ser reutilizados como abonos en el ámbito agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Daniel Alkalay, V.-R. U. (s.f.). Estudio de caso sobre la problemática nacional enfrentada para avanzar en la utilización energética de los residuos municipales en Chile. Obtenido de Universidad Católica de Valparaíso/Universidad Politécnica de Madrid, España.: <http://www.fao.org/3/t2363s/t2363s0b.htm>
- El Telegrafo. (12 de Abril de 2018). Exportaciones de café cayeron 24,5% en 2017.
- Ellis R. H., H. T. (1985). Handbook of Seed Technology for Genebanks. Obtenido de <https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/handbook-of-seed-technology-for-genebanks-1/>
- FAO. (2011). Manual de Biogás. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Huertas, R. A. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n2/v10n2a14.pdf>
- Intriago, D. P. (2018). "Evaluación del Potencial de Metano de la Digestión Anaerobia de Aguas Residuales Sintéticas de Café Instantáneo en Regimen Discontinuo Mesofílico y Termofílico". Portoviejo.
- La Hora. (16 de Abril de 2018). La exportación de café sufrió una importante baja durante 2017.
- Mosquera, A. C., & Gómez-Salcedo et al. (Abril-Junio de 2018). INFLUENCIA DE LOS PROCESOS OXIDATIVOS AVANZADOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL CAFÉ. Centro Azúcar, 46, 92.
- NIHON KASETSU. (2020). www.nihonkasetu.com. Obtenido de DBO y DQO para caracterizar aguas residuales: <https://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>
- PRO ECUADOR. (2019). Cacao café y elaborados. Obtenido de <https://www.proecuador.gob.ec/category/division-sectorial/exportacion/>

- Productor, E. (2017). Ecuador solo tiene un futuro en Café: Cafés Especiales. Obtenido de <http://elproductor.com/editorial-del-mes/ecuador-solo-tiene-un-futuro-en-cafe-cafes-especiales/>
- R., G. S. (2017). Manual de Producción de Lechuga. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- Ramirez, E. G. (2005). Variación del pH Durante los Procesos Anaerobios de Emisión de Metano por Secado y la Fermentación de Excretas de Ganado Bovino en el Centro de MÉXICO. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v21n4/0188-4999-rica-21-04-159.pdf>
- Reyes, I. P. (2013). Estimulación del Proceso de Digestión Anaerobia de la Celulosa Microcristalina (CMC) Mediante la Adición de Minerales. Obtenido de www.escavador.com/sobre/529799/ileana-pereda-reyes
- Rojas, A. D. (2018). “Incremento del rendimiento de metano en la digestión anaerobia. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27910/1/TESIS%20ALCIVAR%20MOREIRA%20Y%20%20ANTONY%20DARIO.pdf>
- S.E.Ratto, e. a. (2010). Bioensayo de Toxicidad Aguda con Lactuca sativa en Sedimentos Contaminados del Río Reconquista en Disposición Final. Obtenido de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/articulo/2010Ratto.pdf>
- Satoto E. Nayono, e. a. (2010). Co-digestion of press water and food waste in a biowaste digester for improvement of biogas production. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410006371>
- Silvia Gracia, M. H. (1995). Inhibidor natural de las aguas residuales de procesado de café en el tratamiento anaerobio. *Cienciafecluz*, 33(3), 241-246.
- Tong, X., Smith, L., & McCarty, P. (1990). Methane fermentation of selected lignocellulosic materials. 239-255: *Biomass*, 21.
- Zayas Pérez, G. G. (2007). Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17918591>

