


Producción de Biogás y Bioabonos a partir de desechos lignocelulósicos en un biorreactor anaeróbico





Production of Biogas and Biofertilizers from lignocellulosic waste in an anaerobic bioreactor

Produção de Biogás e Biofertilizantes a partir de resíduos lignocelulósicos em um biorreator anaerobico


Cabos Sanchez, Jeisson David; Lezama Escobedo, Martha Karina; Bardales Vásquez, Cecilia Betzabet; Medina Vásquez, Katherine Marita Elizabeth; León Torres, Carlos Alberto

 Jeisson David Cabos Sanchez
jeisson.cabos@unas.edu.pe
Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

 Martha Karina Lezama Escobedo
mlezamae@upao.edu.pe
Universidad Privada Antenor Orrego, Perú

 Cecilia Betzabet Bardales Vásquez
cbardalesv@upao.edu.pe
Universidad Privada Antenor Orrego, Perú

 Katherine Marita Elizabeth Medina Vásquez
Marita_mv2@hotmail.com
Universidad Cesar Vallejo, Perú

 Carlos Alberto León Torres
cleon@unitru.edu.pe
Universidad Nacional de Trujillo, Perú

Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA

Centro de Estudios Transdisciplinarios, Bolivia
ISSN: 2664-0902
ISSN-e: 2664-0902
Periodicidad: Cuatrimestral
vol. 7, núm. 21, 2023
editor@revistaalfa.org

Recepción: 27 Julio 2023
Aprobación: 14 Agosto 2023
Publicación: 25 Septiembre 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404632008/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: El biogás, el biol y el biosol son productos que se generan a partir de la biodegradación de los desechos orgánicos, por microorganismos en un ambiente carente de oxígeno. **Objetivo.** Se planteó evaluar la producción de biogás y bioabonos usando los residuos de jardinería de la Universidad Nacional de Trujillo. **Materiales y métodos.** Se utilizó un biorreactor anaeróbico de policloruro de vinilo de 5m³ de volumen total, de 1m. de diámetro y de 5 m. de largo; trabajando al 70%, a 22°C promedio, durante 60 días. La primera etapa fue cuantificar los residuos y determinar las principales especies según la taxonomía botánica, seguido para la cuantificación de nitrógeno, fósforo y potasio se usó el método Kjeldahl, fósforo reactivo y espectroscopia de absorción atómica respectivamente. **Resultados.** Se identificaron doce especies, destacando principalmente *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Aptenia cordifolia* y *Chenopodium murale* L., por su elevado porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina. La cuantificación de N, P y K en el día 45 para el biol fue de 242.80, 1.79 y 21.86 ppm y para el biosol fue de 170.40, 1.46 y 17.10 ppm. **Conclusiones.** Las mejores concentraciones de N, P y K para el biol y biosol se producen en el día 45 del bioproceso y que la producción promedio de biogás es de 2.42 m³ a partir del día 22. Se puede enfatizar que esta metodología podría contribuir al manejo y aprovechamiento de los residuos de la agroindustria para producir bioproductos demandados en la agricultura orgánica.

Palabras clave: Biogás, Bioabonos, Desechos, Lignocelulósicos, Biorreactor.

Abstract: Biogas, biol and biosol are products generated from the biodegradation of organic wastes by microorganisms in an oxygen-deprived environment. **Objective.** The objective was to evaluate the production of biogas and bio fertilizers using garden waste from the Universidad Nacional de Trujillo. **Materials and methods.** An anaerobic bioreactor of polyvinyl chloride of 5 m³ total volume, 1 m in diameter and 5 m

long was used; working at 70%, at 22°C average, for 60 days. The first stage was to quantify the residues and determine the main species according to botanical taxonomy, followed by the quantification of nitrogen, phosphorus and potassium using the Kjeldahl method, reactive phosphorus and atomic absorption spectroscopy, respectively. **Results.** Twelve species were identified, mainly *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Aptenia cordifolia* and *Chenopodium murale* L., for their high percentage of cellulose, hemicellulose and lignin. The quantification of N, P and K on day 45 for biol was 242.80, 1.79 and 21.86 ppm and for biosol was 170.40, 1.46 and 17.10 ppm. **Conclusions.** The best concentrations of N, P and K for the biol and biosol occur on day 45 of the bioprocess and that the average biogas production is 2.42 m³ from day 22. It can be emphasized that this methodology could contribute to the management and utilization of agroindustrial wastes to produce bioproducts demanded in organic agriculture.

Keywords: Biogas, Biofertilizer, Waste, Lignocellulosic, Bioreactor.

Resumo: Biogás, biol e biossol são produtos gerados a partir da biodegradação de resíduos orgânicos por microrganismos em um ambiente desprovido de oxigênio. **Objetivo.** O objetivo foi avaliar a produção de biogás e biofertilizantes usando resíduos de jardim da Universidade Nacional de Trujillo. **Materiais e métodos.** Foi utilizado um biorreator anaeróbico de cloreto de polivinila de 5m³ de volume total, 1m de diâmetro e 5m de comprimento, trabalhando a 70%, a uma temperatura média de 22°C, durante 60 dias. A primeira etapa foi a quantificação dos resíduos e a determinação das principais espécies de acordo com a taxonomia botânica, seguida pela quantificação de nitrogênio, fósforo e potássio usando o método Kjeldahl, fósforo reativo e espectroscopia de absorção atômica, respectivamente. **Resultados.** Doze espécies foram identificadas, principalmente *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Aptenia cordifolia* e *Chenopodium murale* L., por sua alta porcentagem de celulose, hemicelulose e lignina. A quantificação de N, P e K no dia 45 para o biol foi de 242,80, 1,79 e 21,86 ppm e para o biossol foi de 170,40, 1,46 e 17,10 ppm. **Conclusões.** As melhores concentrações de N, P e K para o biol e o biossol ocorrem no dia 45 do bioprocessamento e a produção média de biogás é de 2,42 m³ a partir do dia 22. Pode-se enfatizar que essa metodologia pode contribuir para o gerenciamento e o uso de resíduos agroindustriais para a produção de bioprodutos demandados na agricultura orgânica.

Palavras-chave: Biogás, Biofertilizante, Resíduos, Lignocelulósicos, Biorreator, Biorreator.

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son fuentes de energía que tienen su origen en la naturaleza, las cuales se renuevan constantemente, entre ellas destacan la energía eólica, hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa, esta última se obtiene de la materia orgánica a partir de residuos agrícolas, forestales o urbanos, mediante la combustión o

fermentación para generar electricidad o calor. Estas fuentes de energía limpias tienen numerosas ventajas, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles, entre otras, sin embargo, también enfrentan desafíos, como el costo inicial de las instalaciones, la fluctuación de la disponibilidad de recursos naturales y la necesidad de una infraestructura adecuada para su almacenamiento y distribución (1).

Así pues, el manejo de los residuos orgánicos implica la gestión adecuada de los desechos de origen biológico, para ello se cuenta con las etapas de recolección, transporte, tratamiento, valorización y disposición final, dentro de todas estas etapas la más importantes es la etapa de tratamiento, ya que en este periodo se utilizan diferentes técnicas para transformar los residuos orgánicos en productos útiles, como son el compostaje, biol, biosol y biogás; los cuales pueden ser empleados como abono para la agricultura o como una fuente de energía para las diversas actividades de ciertos sectores rurales (2).

Ahora bien el biosol y biol son biofertilizantes orgánicos producidos a través de la digestión anaeróbica llevado a cabo en el interior de un digestor, en este sistema, los desechos orgánicos se descomponen y liberan hormonas vegetales, vitaminas, aminoácidos, macro y micronutrientes; estos productos presentes en los biofertilizantes ayudan a regular el metabolismo de las plantas, el enraizamiento, el crecimiento, la floración, la germinación de las semillas, el control de enfermedades y plagas y sobre todo a promover la presencia de microorganismos beneficiosos, debido a ello, estos productos se puede utilizar en diversos cultivos, tanto en agricultura convencional como en agricultura orgánica, ya que cumplen con los requisitos de sustentabilidad ambiental y agrícola, generando una independencia de los fertilizantes químicos y reduciendo el impacto ambiental negativo en la agricultura (3,4).

Por otro lado, el biogás es una forma de energía renovable que se origina de manera paralela a la formación de los biofertilizantes, este gas puede ser utilizado como combustible, así como también para la generación de electricidad y calor. Entre las principales ventajas del uso de este producto es que reduce la dependencia de los combustibles fósiles, lo cual contribuye a la mitigación del cambio climático; así también tiene cierto beneficios económicos, ya que la producción de energía a partir de residuos orgánicos puede generar ingresos y empleos adicionales en las comunidades rurales, además el emplear residuos orgánicos como materia prima en el proceso de biodigestión, reduce la necesidad de su disposición en vertederos, reduciendo así, los costos asociados (3,4).

Dado que el aprovechamiento de los residuos orgánicos provenientes de los restos de cosecha y de las excretas de ganado han tomado una gran importancia a nivel mundial y debido a las propiedades y características beneficiosas que el biogás y los abonos orgánicos (biol y biosol) brindan al rubro ambiental, agrícola y ganadero, el propósito de esta investigación fue cuantificar las concentraciones de N,P y K del biol y biosol y calcular la producción de biogás a partir de desechos lignocelulósicos en un biorreactor anaeróbico

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron los residuos lignocelulósicos de las podas de jardinería del campus principal de la Universidad Nacional de Trujillo, posteriormente fueron, determinadas y clasificadas según la taxonomía de fanerógamas peruanas, seguidamente después de cada poda se pesaron continuamente para calcular su peso promedio en cada poda hasta tener un estimado promedio de la cantidad mensual de cada especie para hacer las estimaciones correspondientes, eligiendo para este trabajo los residuos más importantes en relación a peso, volumen y caracterización en materia fermentable, hasta acopiar, seleccionar y acondicionar para la prefermentación, tal es el caso se acopiaron 15 bolsas o sacos con 10 kg cada una para el bioproceso (5).

Hay que indicar que después de la selección del material lignocelulósico de otros componentes como el plástico, metal, piedra y el vidrio estos se separaron y luego se trituraron, fraccionaron y molieron para obtener pequeñas partículas de fibra de aproximadamente de 1 a 3 mm de largo, (6) seguido de un pretratamiento para facilitar el proceso de digestión por fermentación en un tanque de biodegradación. Para ello se utilizó

contenido ruminal bovino en la proporción de 1 kg x 10 kg de sustrato pretratado, el cual finalmente se humedeció con agua al 100% durante 3 días (6). Para este proceso se empleó un biorreactor tubular de policloruro de vinilo con una longitud de 5 m de largo y 1m de diámetro, con un volumen total de 5 m³ y una carga de trabajo del 70 % de la capacidad total; el biorreactor fue instalado en una zanja a un metro bajo tierra para poder asegurar la temperatura óptima de 22° C. Además, se dispuso de un gasómetro y de un contenedor de geomembrana de PVC de 2 mm de espesor con protección UV para el almacenamiento del biogás, con capacidad de 2,1 m³, todo ello se ensambló e instaló en la Estación Experimental de Bioquímica Aplicada (7), en la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional de Trujillo del Perú.

Para realizar la carga del biodigestor anaerobio, éste se realizó iniciando la mezcla en un cilindro de 200 L. para lo cual se preparó la mezcla entre el sustrato pretratado y agua en una proporción de 1:3 respectivamente y se cargó el biodigestor al 70% de su capacidad, con 15.5 cilindradas de la dilución o el equivalente de 3100 litros de la mezcla, broza pretratada más agua. Además, es preciso mencionar que como inóculo se usó 400 litros de contenido ruminal diluido en agua, manteniendo la dilución, 1:3. Todo ello constituyó el medio fermentativo, proceso llevado a cabo por 60 días, evaluando cada 15 días, Iniciando la primera evaluación el día cero de la fermentación, la segunda evaluación o toma de muestra a los 15 días, la tercera, cuarta y quinta a los 30, 45 y 60 días respectivamente, colectándose un litro de muestra del biol y 500 gramos de biosol, para evaluar los analitos planteados (N, P y K). Es preciso señalar que en cada tiempo de toma de muestra se analizaron los tres parámetros propuestos en cada muestra (5).

Para el análisis de los analitos, como el potasio, se empleó una solución patrón, seguidamente se construyó una curva de calibración y se procedió a leer la muestra con la ayuda del software del espectrofotómetro de absorción atómica (8), para la cuantificación del fósforo se tomó 25 mL de la muestra tratada previamente a través del método de digestión de persulfato ácido, se agregó a una celda y se le añadió 0,25 g del reactivo Fosver 3 Fosfato, se homogenizó y se procedió a realizar la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (9).

Con respecto a la determinación del nitrógeno se empleó el método de Kjeldahl, para ello se agregaron 10 mL. de la muestra en un tubo de vidrio del digestor Kjeldahl, al cual se le adicionó una tableta Kjeldahl y 8 mL. de H₂SO₄ concentrado, se tapó el tubo y se procedió a dar inicio al proceso de digestión, la nueva muestra fue tratada en el destilador por un tiempo de 5 min. en donde se le adicionó 100 mL. de H₃BO₃ con el indicador mixto Tashiro en un recipiente de vidrio, posterior a ello se le adicionó 50 mL. de agua y 70 mL. de NaOH al 30%, finalmente la muestra obtenida del destilador es titulada con H₂SO₄ al 0.1N, seguidamente se realizó los cálculos correspondiente para la cuantificación del nitrógeno (10)

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra la determinación taxonómica de los principales desechos lignocelulósicos de jardinería o podas de los jardines de la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo, estos residuos presentan buenas características para ser empleados como materia prima para la producción de biogás y bioabonos. De las 12 especies encontradas, las especies, *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Aptenia cordifolia* y *Chenopodium murale* L., presentaron los porcentajes más elevados de celulosa, hemicelulosa y lignina, tomando los valores de 31.8%, 30.2%, 29.4%; para la primera especie mencionada, 28.4%, 30.5%, 21.2%; para la segunda especie en mención y 29.7%, 27.4%, 25.5% para *Chenopodium murale* L., así mismo podemos resaltar que estas mismas especies son las que proporcionan la mayor cantidad del peso total de estos residuos lignocelulósicos, aportando 1480 Kg la especie *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, 880 Kg *Aptenia cordifolia* y 730 Kg *Chenopodium murale* L. por cada mes de actividades de poda o desmalezado de jardinería.

TABLA 1.

Determinación, cuantificación y características de los principales desechos lignocelulósicos obtenidos de la poda o residuos de jardinería de la ciudad universitaria de la universidad nacional de Trujillo

Nº	Familia	Nombre Científico	Nombre común	Eliminación /Mes kg	% Aprox. Celulosa	% Aprox. Hemicelulosa	% Aprox. Lignina
1	Aizoaceae	Mesembryanthemum crystallinum L.	Hierba de la plata, hierba escarchada	80	22.3	20.1	17.9
2	Plumbaginaceae	Plumbago caerulea Kunth	Sin nombre común conocido	104	19.7	15.4	13.6
3	Caprifoliaceae	Lonicera etrusca Santi	caprifolio, madre selva	68	18.3	16.8	15.1
4	Casuarinaceae	Casuarina equisetifolia L.	Casuarina, pino australiano	45	25.9	28.4	24.1
5	Amaranthaceae	Chenopodium murale L.	hierva gallinazo, pie de ganso	730	29.7	27.4	25.5
6	Moraceae	Ficus carica L.	Higuera	25	28.9	24.7	16.4
7	Fabaceae	Prosopis pallida (Willd.) Kunth	Algarrobo	120	24.2	22.5	19.7
8	Poaceae	Stenotaphrum secundatum (Walter) Kuntze	Pasto colchón, grama americana	1480	31.8	30.2	29.4
9	Amaranthaceae	Alternanthera ficoidea (L.) Sm.	Cresta de gallo	350	26.4	24.1	23.8
10	Euphorbiaceae	Acalypha sp	Acalifa	480	21.4	20.8	16.9
11	Euphorbiaceae	Codiaeum variegatum (L.) Rumph. ex A. Juss.	Croton	380	27.6	24.1	21.3
12	Aizoaceae	Aptenia cordifolia	rocío, escarcha	880	28.4	30.5	21.2

En esta Tabla, 2 se muestra las diferentes características y dimensiones que ha tenido el biodigestor, así como también los productos que se han formado luego de la fermentación anaeróbica destacando, los siguientes datos: 2.42 m³/día de biogás, 119.2 L/día de biol y 12.47 L/día de biosol.

TABLA 2.

Características del biodigestor y su producción de biogas y bioabonos producidos a partir de los residuos de jardinería en el bioproceso de fermentación anaerobio

Biodigestor		
Largo	5.0	m
Diámetro	1.0	m
Volumen total	5.0	m ³
Volumen cargado	3.5	m ³
Carga total		
Proporción de mezcla broza pretatada-agua	1:3	
Volumen de agua	2.7	m ³
Volumen de broza pretatada	0.8	m ³
Tanques de 200 litros con mezcla más inóculo	17.5	tanques
Productos		
Biogás producido	2.42	m ³ /día

La Tabla 3 muestra las diferentes concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio encontradas en el biol (líquido) y el biosol (sólido) en los días: 0, 15, 30, 45 y 60 de la fermentación respectivamente, para la cuantificación de estos analitos ya mencionados, se tomó 1 muestra de biol como de biosol cada 15 días, acumulando un total de 5 muestras, tomando la primera muestra en el día 0 y culminando en el día 60. Así también se puede evidenciar que las concentraciones de estos macronutrientes presentes en el biol y biosol se encuentran en mayor concentración en el día 45.

TABLA 3.

Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (ppm) de biol y biosol producidos a partir de los residuos de jardinería o poda en un biodigestor de fermentación anaerobio

Productos	n	N (ppm) Tiempo/días					P (ppm) Tiempo/días					K (ppm) Tiempo/días				
		0	15	30	45	60	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
Biol	1	117.7	149.8	239.3	241.5	210.5	1.224	1.593	1.729	1.785	1.720	6.341	11.587	21.524	21.861	18.142
	2	121.5	141.6	237.8	243.2	211.4	1.213	1.586	1.733	1.787	1.713	6.347	11.592	21.526	21.874	18.129
	3	122.8	140.5	238.1	243.7	213.8	1.218	1.594	1.745	1.783	1.718	6.354	11.589	21.517	21.852	18.124
Biosol	1	118.5	128.4	158.9	167.8	142.2	1.192	1.389	1.438	1.453	1.403	6.538	9.583	16.771	17.103	14.345
	2	117.2	130.5	165.1	171.3	138.6	1.201	1.395	1.441	1.457	1.408	6.527	9.587	16.792	17.098	14.328
	3	116.3	130.7	163.7	172.1	143.1	1.199	1.392	1.445	1.459	1.406	6.529	9.591	16.782	17.101	14.333

Las Tablas 4 y 5 muestran las concentraciones promedio del nitrógeno, fósforo y potasio en el biol y el biosol producido durante los 60 días del bioproceso, teniendo en cuenta que se realizaron evaluaciones durante los días 0, 15, 30, 45 y 60, así también se evidencias la desviación estándar y el coeficiente de variación, notándose que hay un bajo coeficiente de variación lo que indica la similitud de los resultados en cada parámetro evaluado en cada fecha de evaluación tanto en el biol como en el biosol

TABLA 4.

Promedio y sus estimadores estadísticos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en el “biol” producido a partir de la biodigestión de residuos o podas de jardinería en un biodigestor anaerobio

(ppm)	Tiempo (días)	n	Promedio	ES	S	CV
Nitrógeno (N)	0	3	120.6667	0.9877	1.8264	1.65
	15	3	143.9667	0.4100	0.7106	0.54
	30	3	238.4000	0.2500	0.4327	0.21
	45	3	242.8000	0.5152	0.8919	0.37
	60	3	211.9000	0.3155	0.6812	0.24
Fósforo (P)	0	3	1.2183	0.0060	0.0104	0.83
	15	3	1.5910	0.0072	0.0124	0.79
	30	3	1.7357	0.0111	0.0193	1.10
	45	3	1.7850	0.0034	0.0057	0.32
	60	3	1.7170	0.0102	0.0124	0.59
Potasio (K)	0	3	6.3473	0.0076	0.0133	0.20
	15	3	11.5893	0.0034	0.0059	0.04
	30	3	21.5323	0.0078	0.0136	0.05
	45	3	21.8623	0.0093	0.0155	0.08

TABLA 5.

Promedio y sus estimadores estadísticos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en el “biosol” producido a partir de la biodigestión de residuos o podas de jardinería en un biodigestor anaerobio

(ppm)	Tiempo (días)	N	x	ES	S	CV
Nitrógeno (N)	0	3	117.3333	1.0220	1.7760	1.61
	15	3	129.8667	0.3698	0.6410	0.49
	30	3	162.5667	0.1705	0.2950	0.14
	45	3	170.4000	0.3615	0.6260	0.30
	60	3	141.3000	0.2104	0.4546	0.16
Fósforo (P)	0	3	1.1973	0.0059	0.0102	0.82
	15	3	1.3920	0.0063	0.0109	0.69
	30	3	1.4413	0.0992	0.0160	0.92
	45	3	1.4563	0.0027	0.0048	0.27
	60	3	1.4057	0.0083	0.0101	0.48
Potasio (K)	0	3	6.5313	0.0078	0.0136	0.21
	15	3	9.5870	0.0029	0.0049	0.14
	30	3	16.7817	0.0061	0.0024	0.11
	45	3	17.1007	0.0073	0.0010	0.06
	60	3	14.3353	0.0056	0.0015	0.05

Las Tablas 6 y 7 muestran los resultados del análisis de varianza unidireccional de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en los bioabonos biol y biosol, Notándose que hay diferencias altamente significativas entre las variables analizadas con un $p=0.000$ indicando además que éstas dependen de los días de fermentación del bioproceso anaerobio.

TABLA 6.

Análisis de varianza unidireccional de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el bioabono biol, producido a partir de la biodigestión de residuos de jardinería en un biodigestor anaerobio

Bioabono Biol	Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Nitrógeno (N)	Factor	4	23864.1	8134.55	7384.17	0.000 *
	Error	8	6.3	0.72		
	Total	11	23870.4			
Fósforo (P)	Factor	4	0.413486	0.137358	1008.21	0.000 *
	Error	8	0.001174	0.000134		
	Total	11	0.414660			
Potasio (K)	Factor	4	433.546	147.982	934070.93	0.000 *
	Error	8	0.003	0.000		
	Total	11	433.549			

Leyenda: * = Diferencias altamente significativas ($p=0.000$)

TABLA 7.

Análisis de varianza unidireccional de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el bioabono “biosol”, producido a partir de la biodigestión de residuos o podas de jardinería en un biodigestor anaerobio

Bioabono Biosol	Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Nitrógeno (N)	Factor	4	19531.8	6201.64	8114.12	0.000 *
	Error	8	4.9	0.57		
	Total	11	19536.7			
Fósforo (P)	Factor	4	0.587465	0.161784	1321.94	0.000 *
	Error	8	0.001674	0.000214		
	Total	11	0.589139			
Potasio (K)	Factor	4	647.349	164.151	873145.11	0.000 *
	Error	8	0.012	0.000		
	Total	11	647.351			

Leyenda: * = Diferencias altamente significativas ($p=0.000$)

Las Tablas 8 y 9 muestran las medias del Nitrógeno, fósforo y potasio de los bioabonos biol y biosol en función a la prueba de Tukey, en donde se puede evidenciar las medias y que estas difieren estadísticamente entre las variables analizadas, notándose claramente que hay diferencias entre los analitos examinados y su tiempo de fermentación, además se observa que no hay coincidencias entre las letras o las medias no comparten alguna letra en común, con un $p=0.05$.

TABLA 8.

Prueba de Tukey para tipificar diferencias en las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el bioabono biol producido a partir de la biodigestión de residuos de jardinería en un biodigestor anaerobio. por tiempo de fermentación.

Bioabono Biol	Factor	N	Media	Agrupación
Nitrógeno (N)	N-60	3	211.90	A
	N-45	3	242.80	B
	N-30	3	238.40	C
	N-15	3	146.97	D
	N-O	3	120.67	E
Fósforo (P)	P-60	3	1.7170	A
	P-45	3	1.7850	B
	P-30	3	1.7357	C
	P-15	3	1.5910	D
	P-O	3	1.2183	E
Potasio (K)	K-60	3	18.1317	A
	K-45	3	21.8623	B
	K-30	3	21.5223	C
	K-15	3	11.5893	D
	K-O	3	11.1377	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p = 0.05$).

TABLA 9.

Prueba de Tukey para tipificar diferencias en las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el bioabono biosol producido a partir de la biodigestión de residuos de jardinería en un biodigestor anaerobio. por tiempo de fermentación

Bioabono Biosol	Factor	N	Media	Agrupación
Nitrógeno (N)	N-60	3	141.30	A
	N-45	3	170.40	B
	N-30	3	162.57	C
	N-15	3	129.87	D
	N-O	3	117.33	E
Fósforo (P)	P-60	3	1.4057	A
	P-45	3	1.4563	B
	P-30	3	1.4413	C
	P-15	3	1.3920	D
	P-O	3	1.1973	E
Potasio (K)	K-60	3	14.3353	A
	K-45	3	17.1007	B
	K-30	3	16.7817	C
	K-15	3	9.5870	D
	K-O	3	9.5515	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p = 0.05$).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se identificaron 12 especies de vegetales de las cuales, las especies *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Aptenia cordifolia* y *Chenopodium murale* L., destacan del resto por su elevado porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina (Tabla 1). En un estudio realizado en Colombia, en

el departamento de Cundinamarca, se empleó residuos de cultivos de flores, caña, plátano, cacao, mora, arvejas, maíz, papa y frejoles para la producción de biogás (11), esta diferencia se debe a que, en este último estudio, los desechos vegetales se obtienen como residuos de los diferentes procesos industriales de esta región, obteniendo en su totalidad 727,7 toneladas/día de residuos orgánicos lo cual representa un 66% de la generación total de residuos, a comparación de los 56,904 T/ año que se producirían como desechos de las podas de los jardines de la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo, esta diferencia marcada en la cantidad de subproductos que se originan, se debe a los volúmenes de materia prima que cada actividad emplea para poder generar un producto o brindar un servicio, sin embargo, ambos estudios usan biodigestores anaeróbicos empleando diversas materias primas, destacando la biomasa vegetal, ya que esta es imprescindible para la producción del biogás y los bioabonos, dado que en las diversas etapas de la fermentación las macromoléculas sufren diversos cambios hasta finalmente obtener CH_4 , CO_2 y otras macro y micronutrientes (4).

Los bioprocesos están ampliamente asociados a los biorreactores y estos siguen un diseño en relación a la cinética del medio fermentativo, por ello se desarrollan diseños para optimizar los bioprocesos y obtener mejores rendimientos, tal es el caso del diseño de un biodigestor tipo tanque agitado y aireado para la producción de proteína unicelular desarrollado por León donde se puede verificar la influencia del diseño en la producción y el rendimiento influyendo hasta en un 40 por ciento sobre el rendimiento y la productividad (12). El biorreactor tubular de policloruro de vinilo cumple los estándares del diseño en relación a la transferencia de masa, calor y flujo dinámico del material fermentativo por lo que presenta las características para desarrollar un bioproceso óptimo y obtener resultados que destaquen sobre la media, además es muy importante usar materiales que no interfieran o desprendan moléculas que generen inhibición del desarrollo microbiano y frenen el proceso y limiten la producción y productividad del sistema, por ello el policloruro de vinilo es un material que además resiste la presión del sistema logrando sostener la presión generada y evitar que este se vea dañado por la presión e interferir en las fugas y derrame del medio fermentativo, generando aniegos y contaminación en el bioproceso, además de su buena resistencia el policloruro de vinilo es un material muy maleable y económicamente rentable, debido a su bajo costo, se puede generar grandes biorreactores a escala piloto e industrial.(13)

La producción de gas se consiguió a partir del día 22, hasta finalizar la investigación se estima que se obtuvo un promedio de 2.42 m³ (2420 L.) de biogás por día (Tabla 2), en otro estudio similar en donde se cuantificó la elaboración de biogás como producto de las diferentes excretas de ganado y residuos de tomate, se detectó que la obtención de biogás fue de 2.4L a partir del día 45 y a partir de este día hasta finalizar la investigación la formación de biogás se mantuvo constante (14). El aumento de la formación del gas se origina luego de cierto tiempo ya que esto está asociado a la biodegradación de la materia orgánica, así como también está asociada a un aumento del cambio de pH, lo cual favorece el crecimiento de ciertos microorganismos metalogénicos los cuales ayudan a la formación del metano (15). La producción de biogás obtenido en la presente investigación puede presentar un buen rendimiento de 4 horas de trabajo aproximadamente, ya que en otra investigación se emplearon 2820 L de biogás para la cocción de alimento por un espacio de 4.13 h (16).

Las concentraciones de N, P y K de los bioabonos varían a lo largo de los días, siendo el día 45 en donde se obtienen los valores más elevados de N,P y K (Tabla 3), siendo los valores promedio de 242.80 ppm , 1.79 ppm y 21.86 ppm para el N,P y K del biol y 170.40 ppm, 1.46 ppm y 17.10 ppm para el N,P y K del biosol, así mismo las pruebas de Tukey para el biol y biosol (Tabla 8 y Tabla 9) indican que la obtención de estos macronutriente en el día 45 es mucho más eficiente y es diferente al resto de datos obtenidos en los días 0, 15, 30 y 60. En otro estudio en donde se cuantificaron las concentraciones de N,P y K para biol y biosol en los días 0, 15, 30 y 45, se encontró que los valores de estos macronutrientes para el biol estuvieron mucho más elevados en el día 0 a comparación de los otros días evaluados, tomando los valores para el biol de 13700 mg/L, 556.72mg/L y 2504.8mg/L para N,P y K respectivamente y los valores para el biosol de 13700 mg/L, 556.72 mg/L y 2504.8 mg/L para N,P y K respectivamente (17). La variación de las concentraciones de los

nutrientes presentes en los bioabonos analizados, se le atribuye a la capacidad de asimilación de los alimentos por parte del ganado, la degradación de materia orgánica el proceso de fermentación anaeróbica, a los cambios de pH y temperatura y a la intervención de los microorganismos para la degradación y transformación de la materia orgánica en macro y micronutrientes (18,19)

CONCLUSIONES

Se identificaron doce especies de residuos lignocelulósicos de importancia, destacando principalmente *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Aptenia cordifolia* y *Chenopodium murale* L., por su elevado porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina, además por ser los de mayor cantidad en toneladas producidos cada mes producto de las actividades de jardinería, siendo propicios como materia prima para la fermentación anaerobia en la producción de biogás y bioabonos como el biol y el biosol.

Se logró producir biol, biosol y biogás a partir de residuos lignocelulósicos de las podas de jardinería, encontrando considerables concentraciones de N, P y K en las concentraciones siguientes, para el biol fue de 242.80, 1.79 y 21.86 ppm respectivamente y para el biosol fue de 170.40, 1.46 y 17.10 ppm. Respectivamente. A los 45 días de fermentación.

Las mejores concentraciones de N, P y K. encontradas para el biol y biosol se producen en el día 45 del bioproceso fermentativo. Además, la producción promedio de biogás fue de 2.42 m³ a partir del día 22 del bioproceso de fermentación anaerobio.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran no tener conflicto de interés.

AGRADECIMIENTOS. Especial agradecimiento a maestro, Dr. José Mostacero León y al Dr. Anthony Jordan De la Cruz Castillo, por su valioso aporte en la determinación taxonómica de los residuos o podas evaluados

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Correa A, González G, Pacheco A. Energías renovables y medio ambiente: su regulación jurídica en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*. 2016; 8(3): 179-183. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n3/rus24316.pdf>
2. Ramos A, Terry A. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*. 2014; 35(4), 52-59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232493007>
3. Ávila-Hernández A, Campos-Rodríguez R, Brenes-Peralta L, Jiménez-Morales M. Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Tecnología en Marcha*. 2018; 31 (2), 159-170. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n2/0379-3982-tem-31-02-159.pdf>
4. Varnero M. Preparación del Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2011. 67-72.
5. Ramírez, M. Producción de bioabono biol a partir de los residuos lignocelulósicos de *Stenotaphrum secundatum* (Tesis para obtener el título de biólogo-microbiólogo). Perú: Universidad Nacional de Trujillo. 2021. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4751587>
6. Mendoza, R. Diseño e implementación de una planta piloto para producir biogás y bioabonos a partir de estiércol de *Cavia porcellus* en un biorreactor tubular de policloruro de vinilo Trujillo - Perú 2017 (Tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería química ambiental). Perú: Universidad Nacional de Trujillo. 2017. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11593>
7. Gil L, Cabrera F, Lezama M, Bardales C, León C. Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*. 2023; 7(20), 336–345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>

8. Skoog D, Holler F, Crouch S. Principios de Análisis Instrumental. 7ª ed. Ciudad de México: Cengage Learning. 2018. 888 p. <https://n9.cl/i72su>
9. HACH. Manual de análisis de agua. 2ª ed. Loveland: Hach Company. 2000. 217 p.
10. López-Ritas J, López-Melida J. Diagnóstico de suelos y plantas: Métodos de campo y laboratorio. 4ª ed. Madrid: Mundi Prens. 1990-363.
11. Montenegro k, Rojas A, Cabeza I, Hernández M. Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. Revista ION. 2016; 29(2), 23-37. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016002>
12. Gil L, León C. Diseño y construcción de un biorreactor batch tipo tanque agitado y aireado para la producción de proteína unicelular. Revista de investigación científica-Rebiol.2021;41(1),16-22. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/3596>
13. Barrena M, Maicelo J, Gamarra O, Oliva M, Leiva T, Taramona L, Huanes M, Ordinola C. Biogas: producción y aplicaciones. 1º ed. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. <http://repositorio.uib.edu.pe/handle/UICB/59>
14. Castro R, Solís M, Chicatto V, Solís A. Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 2020; 36 (3): 529-539. <https://doi.org/10.20937/RICA.53545>
15. Ningning Z, Tong Z, Dongxue Y, Gaihe Y, Xiaojiao W, Guangxin R. Yongzhong F. Effect of initial pH on anaerobic co-digestion of kitchen waste and cow manure. Waste Manage. 2015; 38: 126-131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.027>
16. Barrena M, Cubas F, Gosgot W, Ordinola C, Rascón J, Huanes M. Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. Arnaldoa. 2019; 26 (2): 725-734. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000200014
17. Cabos J, Bardales C, León C, Gil L. Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. Arnaldoa. 2019; 26(3): 1165-1176. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000300021
18. Soria-Fregoso M, Ferrera-Cerrato R, Etchevers Barra J, Alcántar-González G, Trinidad-Santos J, Borges-Gómez L, Pereyda-Pérez G. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra Latinoamericana. 2001; 19(4): 353-362. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>
19. Peralta-Veran L, Juscamaíta-Morales J, Meza Contreras V. Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. Ecol. apl. 2016; 15(1): 1-10. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000100001