



DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2852

Producción de biofertilizante con calidad sanitaria por ecodigestión de estiércol vacuno fortalecido con guano de isla peruano

H. Solís Muñoz

hanielsolis1979@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9482-9818>

A. Castillo Valdiviezo

ancelmocastillo@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2257-776X>

Unidad de Posgrado de Ingeniería Química,
Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n –
Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

M. Esparza Mantilla

<https://orcid.org/0000-0003-3604-6054>

mrodrigount@yahoo.com

^b Escuela de Ingeniería de Minas –
Postgrado, Universidad Nacional de Ingeniería,
Av. Túpac Amaru 210 - Rímac. Apartado 1301, Lima, Perú

L. Villena Zapata

<https://orcid.org/0000-0001-9430-0028>

luigi_1718@hotmail.com

^c Escuela de Biotecnología,
Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua,
Jirón Ancash N° 520, Bagua - Amazonas – Perú.

RESUMEN

Se determinó la calidad sanitaria, nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio de un biofertilizante obtenido utilizando un biorreactor anaerobio semicontinuo modelo hindú. Se preparó un inóculo fermentativo de bovino y como sustrato guano de isla. Este biofertilizante se obtuvo a los 7, 14, 21 y 28 días, se observó un incremento significativo de 42,42% (NH_4^+), 8,9% (P_2O_5) y 30,5% (K_2O), siendo la temperatura promedio en el biorreactor de 22 °C. Se estimó una eficiencia de remoción de 82,1 % para la DQO y 95,4% para la DBO_5 para un tiempo de 28 días, pH de 6,78 y 7,85, de entrada y salida en promedio respectivamente. Se obtuvo una remoción del 99,9% de coliformes totales en el tiempo máximo de 28 días.

Palabras clave: biofertilizante; macronutrientes; guano de isla; medio anaerobio.

Correspondencia: hanielsolis1979@gmail.com

Artículo recibido: 05 agosto 2022. Aceptado para publicación: 15 agosto 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Como citar: Solís Muñoz, H., Castillo Valdiviezo, A., Esparza Mantilla, M., Villena Zapata, L. (2022) Producción de biofertilizante con calidad sanitaria por ecodigestión de estiércol vacuno fortalecido con guano de isla peruano. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(4) 3443-3460. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2852

Production of biofertilizer with sanitary quality by ecodigestion of cattle manure fortified with guano from the Peruvian island

ABSTRACT

The sanitary quality, ammoniacal nitrogen, phosphorus and potassium of a biofertilizer obtained using a semi-continuous anaerobic bioreactor, the Indian model, were determined. A bovine fermentative inoculum was prepared and island guano as substrate. This biofertilizer was obtained at 7, 14, 21 and 28 days, a significant increase of 42.42% (NH_4^+), 8.9% (P_2O_5) and 30.5% (K_2O) was observed, with the average temperature in the bioreactor being 22 °C. The removal efficiency of 82.1% for COD and 95.4% for BOD_5 was estimated for a time of 28 days, pH of 6.78 and 7.85, and input and output on average, respectively. Removal of 99.9% of total coliforms was obtained in the maximum time of 28 days.

Keywords: biofertilizer; macronutrients; island guano; anaerobic medium.

1. INTRODUCCIÓN

Desde que el ser humano se volvió sedentario, empezó a añadir fertilizantes al suelo para mejorar los cultivos, (Agabo et al., 2020), en la Cultura Muchik (costa norte del Perú), se fertilizó añadiendo peces (anchoveta), estiércol de murciélago e incluso heces humanas, (Arriaga, 1621). Especialmente se fertilizaba con deyecciones de aves marinas (“jedeñet ni” en lengua muchik (Serrepe, 2017)), siendo este “jedeñet ni” conocido en la actualidad como “guano de las islas”.

El estiércol es materia orgánica fácil de degradar y mineralizar (Apolo, 2015), siendo el “guano de isla”, un estiércol obtenido de las deyecciones de aves marinas que poseen cualidades fertilizadoras reconocidas pero que contienen bacterias patógenas, (Sánchez, 2016), (Rashvanlou et al., 2020), (Miyashiro, 2014). Esto contraviene en su uso, por ser focos de contaminación (Alfa et al., 2014), y su tratamiento para la desinfección es aún motivo de estudios (Owamah et al., 2014).

Actualmente se generan enormes cantidades de fertilizantes químicos (Lorente, 2018), los cuales deterioran la calidad del suelo, (Reis et al. 2016), por su uso masivo en los cultivos (Aydın, 2019), provocando la pérdida de fertilidad del suelo y su capacidad productiva (Miyashiro, 2014), enfermedades ambientales (Aydın, 2019) y gases de efecto invernadero (Flotats, 2008). Utilizar residuos como el estiércol y/o residuos orgánicos (León, 2017), pueden aportar nutrientes al suelo degradado y estimular el crecimiento de las plantas (Gunes et al., 2021).

La digestión anaeróbica puede generar energía renovable (biogás), fertilizantes líquidos y sólidos, a partir de estiércoles y/o desechos (Agabo et al., 2020). Esta digestión anaeróbica se produce en un ambiente sin oxígeno y con microorganismos mesófilos (Popov et al., 2020). Últimos estudios buscan la optimización en diversas condiciones de carga y/o ambientales (Meegoda et al., 2018).

Analizando el biofertilizante, (Cabos, 2014), se observó que existen los mismos macronutrientes obtenidos en el biofertilizante líquido y sólido, (Vargas, 2017), además, este producto cuenta con mayor conductividad eléctrica, pH más alto, menos sólidos totales y disminuyen los coliformes totales (Matter et al., 2017).

El objetivo del estudio consistió en desarrollar la fermentación anaerobia del guano de isla en un biorreactor anaerobio donde los parámetros estudiados en el presente estudio

fueron nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y coliformes totales, del guano de isla y el biofertilizante obtenido.

2. METODOLOGÍA

Recolección del guano de la isla Guañape

El guano de la isla Guañape corresponde a un grupo de islas que pertenecen al Perú y se encuentran ubicadas en el océano Pacífico a 8°31'54''S y 78°57'50''W, frente a la costa del Departamento de La Libertad. En estas islas habitan importantes colonias de aves guaneras como el piquero peruano (*Sula variegata*), el cormorán guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*), y el pelícano peruano (*Pelecanus thagus*), siendo su alimento los peces marinos como la anchoveta, la sardina, el pejerrey, la caballa, el jurel, la lisa y el bonito (Carrasco, 2017).

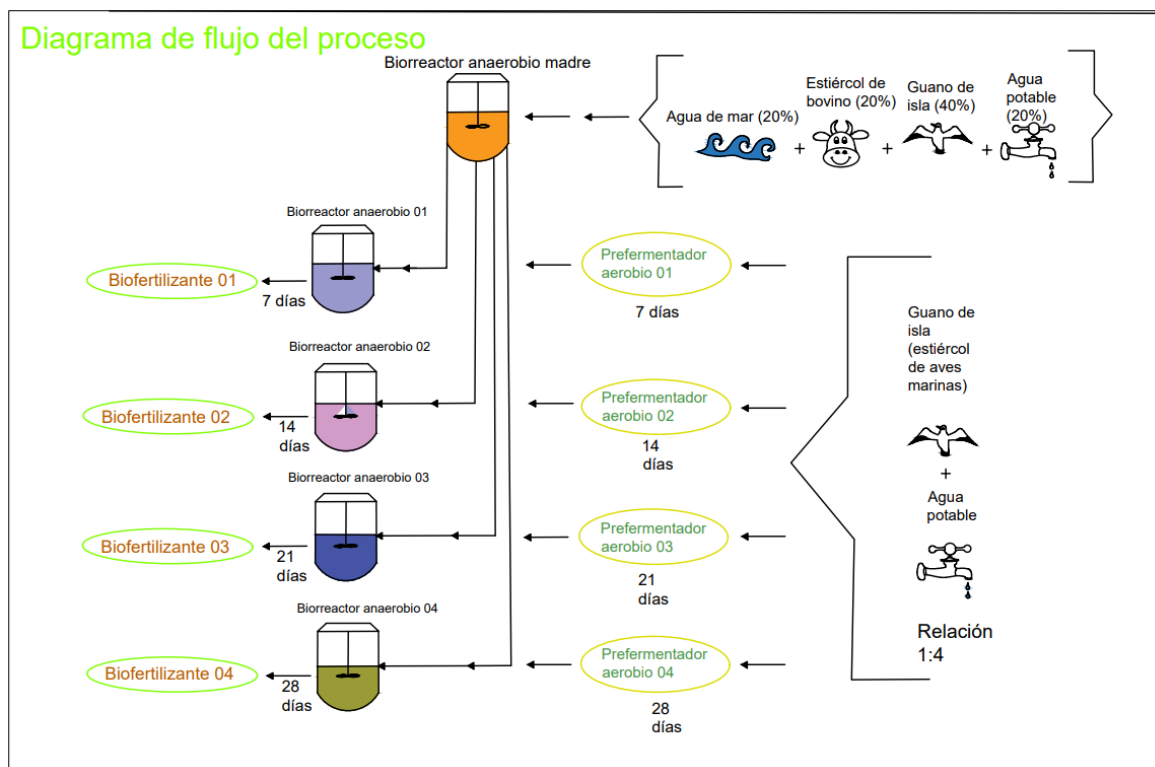
El guano de la isla Guañape fue proporcionado por Agrorural (entidad estatal oficial peruana), se seleccionó del almacén sin volver a elegir el sitio ya extraído, muestreo aleatorio simple sin reposición (muestreo probabilístico), (Agrorural, 2018).

Preparación del biorreactor

Se utilizó un biorreactor anaerobio (biorreactor semicontinuo, “modelo hindú-modificado con cúpula flotante”, (FAO, 2011). El volumen del biorreactor fue de 400 litros de capacidad de concreto armado), se preparó un inóculo fermentativo (consorcio bacteriano) de 72 litros, a partir de guano de isla (40%), estiércol bovino (20%), agua de mar (20%) y agua potable (20%), esta mezcla genera coenzimas (vitaminas hidrosolubles), (Paes et al., 2020), cofactores (componentes no proteicos termoestables) y que se añadió al biodigestor para mejorar la biodigestión, (Agabo et al., 2020). Se dejó fermentar anaeróbicamente por un periodo de 28 días, como periodo inicial (pretratamiento).

Posterior a este periodo de adecuación se utilizó 100 litros de guano de isla diluido prefermentado (1 volumen de guano de isla por 4 volúmenes de agua), en diferentes TRH (tiempos de retención hidráulica de 7, 14, 21 y 28 días), para su biodigestión anaerobia.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de biodigestión



Caracterización de las muestras

Se consideraron para el presente estudio los siguientes parámetros, (Hernández, 2017), (Sihuas, 2016): DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno), SV (sólidos volátiles), ST (sólidos totales), CE (conductividad eléctrica), CT (coliformes totales), Alcalinidad, Nitrógeno total, Nitrógeno amoniacal, Fósforo y Potasio, (ver en anexos el método de análisis).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características del guano y obtención del biofertilizante

En la tabla N° 2 se explican los promedios de la temperatura del guano de isla diluido y el biofertilizante de salida. Se analizó el biofertilizante en diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH) dentro del biorreactor a 7, 14, 21 y 28 días a una temperatura de 21.7 °C promedio y una humedad de 82% del ambiente en promedio. (Los datos obtenidos son valores promedios de repeticiones realizadas y analizadas en cada una de las muestras)

Producción de biofertilizante con calidad sanitaria por ecodigestión
de estiércol vacuno fortalecido con guano de isla peruano

Tabla 1

Análisis de Varianza del estudio: "Producción de biofertilizante a partir de guano de la isla Guañape", según variables de estudio y grupos homogéneos

Variable	p-valor*	Promedios (Grupos homogéneos)**			
		Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
Temperatura de alimentación (guano de isla) (°C)	0,000 ¹	(20,05) b	(19,60) b	(20,10) b	(22,30) a
Temperatura de salida (°C)	0,810 ²	(22,80) a	(23,20) a	(23,60) a	(22,30) a
pH de alimentación (guano de isla)	0,009 ¹	(7,02) a	(6,88) a	(6,25) b	(6,78) a
pH de salida (biofertilizante)	0,373 ¹	(7,28) a	(7,35) a	(7,84) a	(7,85) a
Alcalinidad (mg/L) del guano de isla diluido	0,000 ¹	(950) c	(4800) a	(4900) a	(2700) b
Alcalinidad (mg/L) de biofertilizante	0,002 ²	(4870) b	(5050) b	(5200) b	(7302) a
Relación DBO ₅ / DQO de guano de isla diluido (alimentación)	0,001 ¹	(0,52) a	(0,37) b	(0,50) a	(0,35) b
Relación DBO ₅ / DQO de guano de isla salida (biofertilizante)	0,020 ²	(0,12) a	(0,08) b	(0,12) a	(0,09) b
Remoción DQO (%)	0,004 ²	(76,02) b	(61,12) d	(70,53) c	(82,06) a
Remoción DBO ₅ (%)	0,008 ²	(94,65) b	(91,39) d	(92,75) c	(95,39) a
SV en afluente (mg/L)	0,005 ²	(7821) a	(1447) c	(4111) b	(4009) b
SV en efluente (mg/L)	0,000 ¹	(651) a	(366) b	(229) c	(93,50) d
Nitrógeno afluente (mg/L)	0,000 ¹	(437,87) b	(553,83) a	(350,83) c	(415,09) b
Nitrógeno efluente (mg/L)	0,006	(311,15) b	(449,07) a	(317,61) b	(273,84) c
P ₂ O ₅ afluente (mg/L)	0,006 ²	(115,92) a	(62,94) c	(82,53) b	(80,46) b
P ₂ O ₅ efluente (mg/L)	0,002 ²	(132,45) a	(42,16) c	(82,28) b	(87,59) b
K ₂ O afluente (mg/L)	0,010 ¹	(236,65) a	(171,94) b	(183,70) b	(176,15) b
K ₂ O efluente (mg/L)	0,007 ¹	(168,16) b	(167,84) b	(224,82) a	(230,11) a
Nitrógeno orgánico afluente (mg/L)	0,001 ¹	(216,40) b	(362,03) a	(223,24) b	(251,74) b
Nitrógeno orgánico efluente (mg/L)	0,001 ¹	(37,60) c	(62,86) a	(63,92) a	(46,77) b
N (afluente-efluente) (%)	0,008 ²	(-28,13) b	(-19,40) a	(-36,70) c	(-34,50) c
N-NH ₄ ⁺ (afluente-efluente) (%)	0,001 ¹	(22,33) b	(14,92) c	(23,50) b	(42,42) a
C. E.- (dS/m)-afluente	0,009 ¹	(6,24) c	(7,56) bc	(8,9) b	(10,78) a
C. E. - (dS/m)-efluente	0,002 ¹	(12,47) a	(12,24) a	(8,43) c	(10,56) b
CT+E03-afluente	0,000 ¹	(3450) a	(1450) b	(1475) b	(1600) b
CT+E03-efluente	0,002 ²	(37,50) a	(24,50) b	(3,50) c	(1,75) c

1 se hizo uso del Análisis de Varianza Unifactorial y la identificación de grupos homogéneos con post hoc de Duncan.

2 se hizo uso del Análisis de Varianza de Welch y la identificación de grupos homogéneos con Games-Howell.

* El p-valor es significativo al 5% (p<0.05).

** Las medias con letras diferentes son significativamente diferentes.

Tabla N° 2

Temperatura de alimentación y salida del biorreactor con cúpula flotante

TRH (días)	Temperatura de alimentación (guano de isla) (°C)*	Temperatura de salida (°C)*
7	20,05 (19,41;20,69)	22,80 (6,28;39,32)
14	19,60 (18,33;20,87)	23,20 (9,22;37,18)
21	20,10 (18,83;21,37)	23,60 (7,08;40,12)
28	22,30 (19,76;24,84)	22,30 (21,03;23,57)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla N° 3

pH de la alimentación y salida del biorreactor

TRH (días)	pH de alimentación (guano de isla)	pH de salida (biofertilizante)
7	7,02 (5,50;8,54)	7,28 (2,58;11,98)
14	6,88 (6,50;7,26)	7,35 (5,50;9,19)
21	6,25 (4,98;7,52)	7,84 (4,92;10,76)
28	6,78 (6,40;7,16)	7,85 (4,55;11,15)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla N° 4

Alcalinidad del guano de isla diluido(alimentación) y el biofertilizante (salida)

TRH (días)	Alcalinidad (mg/L) del guano de isla diluido	Alcalinidad (mg/L) de biofertilizante
7	950,00 (594,23;1305,77)	4870,00 (4349,05;5390,95)
14	4800,00 (3186,31;6413,69)	5050,00 (1416,03;8683,97)
21	4900,00 (2625,59;7174,41)	5200,00 (4742,58;5657,42)
28	2700,00 (2433,17;2966,83)	7302,00 (7187,64;7416,36)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla N° 5

DQO, DBO₅, relación DBO₅/ DQO de guano de isla diluido (alimentación)

TRH (días)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DBO ₅ / DQO
7	17636 (12871,17;22400,83)	9214 (3839,28;14588,72)	0,52 (0,36;0,69)
14	12950 (6444,42;19455,58)	4741 (3216,26;6265,74)	0,37 (0,30;0,44)
21	17234 (15988,79;18479,21)	8679 (6086,93;11271,07)	0,50 (0,32;0,69)
28	21450 (15567,03;27332,97)	7578 (6358,20;8797,80)	0,35 (0,31;0,40)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla Nº 6

DQO, DBO₅, relación DBO₅/ DQO de guano de isla salida (biofertilizante)

TRH (días)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DBO ₅ / DQO
7	4227 (3655,22;4798,78)	492 (219,32;765,68)	0,12 (0,03;0,20)
14	5024 (4096,45;5951,55)	408 (331,76;484,24)	0,08 (0,05;0,11)
21	5079 (4214,98;5943,02)	629,50 (140,31;1118,69)	0,12 (0,01;0,24)
28	3848 (3454,11;4241,89)	349,50 (190,67;508,33)	0,09 (0,04;0,14)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral
(Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla Nº 7

DQO, DBO₅, y porcentajes de remoción del DQO y del DBO₅ del proceso

TRH (días)	DQO (mg/L) Afluente	DQO (mg/L) Efluente	DBO ₅ (mg/L) Afluente	DBO ₅ (mg/L) Efluente	Remoción DQO (%)	Remoción DBO ₅ (%)
7	17636 (12871,17;22400,83)	4227 (3655,22;4798,78)	9214 (3839,28;14588,72)	492 (219,32;765,68)	76,02 (66,30;85,74)	94,65 (94,50;94,81)
14	12950 (6444,42;19455,58)	5024 (4096,45;5651,55)	4741 (3216,26;6265,74)	408 (331,76;484,24)	61,12 (34,43;87,81)	91,39 (90,24;92,55)
21	17234 (15988,79;18479,21)	5079 (4214,98;5943,02)	8679 (6086,93;11271,07)	629,50 (140,31;1118,69)	70,53 (67,65;73,41)	92,75 (89,28;96,23)
28	21450 (15567,03;27332,97)	3848 (3454,11;4241,89)	7578 (6358,20;8797,80)	349,50 (190,67;508,33)	82,06 (78,97;85,14)	95,39 (92,55;98,23)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral
(Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla Nº 8

Sólidos Totales (ST) y volátiles (SV) en guano de isla diluido(afluente) y biofertilizante(efluente)

TRH	ST en afluente (mg/L)	ST en efluente (mg/L)	SV en afluente (mg/L)	SV en efluente (mg/L)
7	7976 (924,06;15027,94)	1637 (201,20;3072,80)	7821 (4275,97;11366,03)	651 (193,58;1108,42)
14	3732 (2982,33;4481,67)	762,50 (616,38;908,62)	1447 (1116,64;1777,36)	366 (175,41;556,59)
21	4127 (3440,86;4813,14)	933 (691,58;1174,42)	4111 (2586,26;5635,74)	229 (63,82;394,18)
28	5564 (951,65;10176,35)	791 (549,58;1032,42)	4009 (2827,32;5190,68)	93,50 (49,03;137,97)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral
(Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla Nº 9

Nitrógeno, Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) en guano de isla diluido (afluente) y biofertilizante (efluente)

TRH (días)	Nitrógeno afluente (mg/L)	Nitrógeno efluente (mg/L)	P_2O_5 afluente (mg/L)	P_2O_5 efluente (mg/L)	K_2O afluente (mg/L)	K_2O efluente (mg/L)
7	437,87 (343,84;531,90)	311,15 (125,89;496,41)	115,92 (59,76;172,08)	132,45 (55,83;209,07)	236,65 (156,86;316,45)	168,16 (125,21;211,11)
14	553,83 (427,28;680,38)	449,07 (375,31;522,82)	62,94 (57,86;68,02)	42,16 (35,68;48,64)	171,94 (112,60;231,28)	167,84 (88,93;246,75)
21	350,83 (285,39;416,27)	317,61 (285,72;349,50)	82,53 (60,80;104,26)	82,28 (74,78;89,78)	183,70 (41,64;325,76)	224,82 (91,28;358,36)
28	415,09 (352,83;477,35)	273,84 (233,43;314,25)	80,46 (79,95;80,97)	87,59 (86,51;88,67)	176,15 (105,76;246,54)	230,11 (122,49;337,73)

Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)

Tabla Nº 10

Nitrógeno Orgánico en guano de isla diluido (afluente) y el biofertilizante (efluente) en relación al TRH.

TRH (días)	Nitrógeno orgánico afluente (mg/L)	Nitrógeno orgánico efluente (mg/L)
7	216,40 (196,07;236,73)	37,60 (35,69;39,51)
14	362,03 (175,63;548,43)	62,86 (30,21;95,51)
21	223,24 (160,09;286,39)	63,92 (59,02;68,81)
28	251,74 (108,47;395,0)	46,77 (41,18;52,36)

Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)

Tabla Nº 11

Transformación del Nitrógeno debido al proceso de digestión anaeróbica en el biorreactor

TRH (días)	N afluente (mg/L)	N-NH ₄ afluente (mg/L)	N efluente (mg/L)	N-NH ₄ efluente (mg/L)	N (afluente-efluente) (%)	N-NH ₄ (afluente-efluente) (%)
7	446,87 (426,54;467,20)	201,97 (187,36;216,58)	321,15 (262,96;379,34)	247,05 (235,23;258,87)	-28,13 (-44,42;-11,84)	22,33 (7,63;37,03)
14	566,05 (537,33;594,77)	264,01 (234,72;293,29)	456,24 (438,83;473,65)	303,38 (284,19;322,57)	-19,40 (-20,42;-18,38)	14,92 (9,44;20,40)
21	354,83 (340,22;369,44)	155,59 (144,92;166,26)	224,61 (167,56;281,66)	192,15 (180,59;203,71)	-36,70 (-50,18;-23,23)	23,50 (7,60;39,41)
28	418,09 (393,88;442,29)	137,03 (131,19;142,87)	273,84 (233,43;314,25)	195,17 (142,57;247,77)	-34,50 (-40,38;-28,63)	42,42 (10,11;74,73)

Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)

Tabla Nº 12

Conductividad Eléctrica (CE) de afluente y efluente

TRH (días)	C. E.- (dS/m)-afluente	C. E. - (dS/m)-efluente
7	6,24 (1,28;11,20)	12,47 (8,40;16,54)
14	7,56 (6,98;8,13)	12,24 (7,54;16,94)
21	8,92 (1,80;16,04)	8,43 (6,02;10,84)
28	10,78 (2,65;18,91)	10,56 (6,75;14,37)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)*

Tabla Nº 13

Coliformes Totales (CT) de afluente y efluente

TRH (días)	CT+E03-afluente	CT+E03-efluente
7	3450 (2814,69;4085,31)	37,50 (5,73;69,27)
14	1450 (814,69;2085,31)	24,50 (18,15;30,85)
21	1475 (1157,34;1792,66)	3,50 (2,81;4,09)
28	1600 (329,38;2870,62)	1,75 (1,11;2,39)

*Nota: *Corresponde a la estimación interválica al 95.0% de confianza, promedio muestral (Límite Inferior; Límite Superior)*

La tabla 1, presenta los resultados del Análisis de Varianza para los parámetros analizados en el estudio obtenidos de las muestras (biofertilizante) y de las muestras antes de la biodigestión (guano de isla), encontrando que el p-valor de significancia asociado a la prueba de igualdad de medias es menor que 0.05 ($p < 0,05$) para la mayoría de parámetros, permitiendo rechazar la hipótesis nula ($H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$) e indicando la existencia de diferencia significativa en las medias obtenidas de los parámetros según los días de evaluación, cabe precisar, que sólo en los parámetros Temperatura de salida (°C) y pH de salida (biofertilizante) presentaron un p-valor de significancia mayor que 0,05, por lo que no se evidenció la existencia de una diferencia significativa entre los valores medios de los días evaluados en dicho parámetros, así mismo, se puede visualizar en la tabla que existe la conformación de grupos homogéneos (medias con letras diferentes son significativamente diferentes), permitiendo identificar la media o medias que presentan un valor significativamente mayor en comparación con las demás, en aquellos casos de parámetros evaluados en el estudio, donde el p-valor asociado a la

prueba de comparación de medias resultó ser menor que 0,05 ($p < 0,05$). A partir de los hallazgos encontrados se acepta la hipótesis alternativa general que señala que el biofertilizante mineralizado se produce en un biorreactor con cúpula flotante a partir de guano de la isla Guañape, ya que se observa mayor conductividad eléctrica (Tabla N° 12), pH más alto (Tabla N° 3), se redujo los sólidos totales, (Rashvanlou et al., 2020). (Tabla N° 8) muestra un incremento en la alcalinidad, debido a la fermentación del guano de isla (Tabla N° 4), asimismo se observa una reducción de la carga orgánica (nitrógeno total) y un incremento significativo de los macronutrientes, nitrógeno amoniacal (NH_4^+), fósforo y potasio (Tabla N° 9), (Tabla N° 10), (Tabla N° 11). Este comportamiento en la reducción de los sólidos totales, se observa en otros tipos de estiércoles biodigestados.

En la tabla N° 11 se observa la variación porcentual del nitrógeno total y el NH_4^+ , también se observa la variación del fósforo y potasio en el biorreactor (Tabla N° 9). Se puede observar el aumento del nitrógeno amoniacal, reduciéndose el nitrógeno total y el orgánico, esto mejora la calidad del biofertilizante, por la mineralización del nitrógeno. El biofertilizante presenta un aumento de nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+) respecto al estiércol sin tratar, el nitrógeno total disminuye en un 34,5 % y el N-NH_4^+ aumenta en 42,42 %. Este resultado en el incremento de macronutrientes, es consistente con otros estudios realizados donde se usaron diferentes alimentaciones al medio anaerobio, estiércol de animal, residuos orgánicos y lodos activados, (Rashvanlou et al, 2020), donde obtuvieron un residuo semisólido rico en nitrógeno llamado biofertilizante (Matter et al., 2017) y un gas combustible rico en metano, llamado "biogás" (Almanza, 2011).

Sin embargo el incremento de los macronutrientes en el biofertilizante puede variar (Tabla N° 9), por el proceso sintrófico, (interdependencia nutritiva entre los organismos que los componen), de las bacterias oxidantes que pueden verse afectadas por distintos factores que van más allá del presente estudio, la humedad, temperatura, radiación solar, material del medio anaerobio, pH, potencial de reducción de la fuente de alimentación, etc. (Rashvanlou et al., 2020)

La innovación en la obtención del biofertilizante, consiste en la etapa de pretratamiento (fermentado aerobio), se prefermenta en diversos rangos (7, 14, 21 y 28 días), para luego añadirlo al medio anaerobio que tiene 28 días con el inóculo y dejarlo reposar nuevamente en diversos rangos de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente. (Paes et al.,

2020), estabiliza significativamente al medio anaerobio mejorando la biodigestión (Agabo et al., 2020).

La relación DBO₅/ DQO señala que el día 21, el guano de la isla en el contenedor tuvo un índice de biodegradación mayor de 0,49 en promedio (Tabla N° 5) se estima en la literatura que este valor es relativamente bajo.

En la tabla N° 2 se muestra la temperatura de alimentación al biorreactor del guano de isla diluido y la variación de la temperatura del biofertilizante en la salida, aumentando en promedio 3 °C. La temperatura promedio en el biorreactor fue de 22 °C, lo que indica según la literatura, a una fase microbiológica mesofílica (Popov et al., 2020), la temperatura de operación fue un parámetro de gran influencia en el proceso anaeróbico, se denota que cuando fue menor, ralentizó la digestión anaerobia, por esto las cargas de partida en el biorreactor se realizaron al mediodía, donde la temperatura ambiente era la más adecuada (22 °C en promedio).

En la tabla N°5 y N° 7, se observa una disminución del DQO y DBO del guano de isla, la descomposición conduce a un aumento gradual del valor de pH, lo que indica la estabilidad de la materia orgánica. (Meegoda et al., 2018)

En la tabla N°13 se aprecia la variación de los coliformes totales en el guano de isla y el biofertilizante obtenido, en concordancia con resultados de la literatura científica, (Owamah et al., 2014).

El nitrógeno tiene un papel principal en relación al crecimiento de las plantas, es asimilado en sus formas inorgánicas especialmente el ión amonio (NH₄⁺) (College of Agriculture, 2019), se obtuvo un incremento máximo hasta del 42,42 % (a los 28 días) de nitrógeno amoniacal.

La ventaja del biofertilizante obtenido, (Rea, 2018), es que se requiere una menor cantidad del mismo para cubrir una hectárea de terreno (2 – 4 Toneladas), en relación con otros tipos de abonos. En el caso de manejar sólo estiércol es necesario 15 – 30 Toneladas/ha y si se maneja compost es necesario de 10 – 20 Toneladas/ha. Siendo el biofertilizante una alternativa de fertilización orgánica de bajo costo, de fácil aplicación y libre de patógenos (Pinedo et al., 2018).

La creciente demanda de los alimentos orgánicos, se necesitan abonar con biofertilizantes, evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por fertilizantes agroquímicos fosfatados del sector agropecuario, demanda buscar nuevos

procesos tecnológicos para lograr el tratamiento óptimo del guano de la isla y así darle un valor agregado a esta materia prima que tenemos en Perú, siendo beneficiada la industria agropecuaria y siendo un hub regional en la materia logrando cumplir la normativa ambiental internacional, Organización de las Naciones Unidas (ONU), ODS 03 (salud y bienestar), ODS 06 (agua limpia y saneamiento), ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), así como la agenda ambiental nacional para el 2030, (Ministerio del Ambiente, 2016).

4. CONCLUSIONES

En el biofertilizante obtenido se incrementa significativamente los macronutrientes (macroelementos), NH_4^+ , P_2O_5 y K_2O , a razón de 42,42% - 8,9% - 30,5% respectivamente. El medio anaerobio, biorreactor semicontinuo “modelo hindú modificado con cúpula flotante”, mineralizó el guano de isla, convirtiéndolo por sus características, en un biofertilizante de óptima calidad.

La temperatura promedio en el biorreactor fue de 22 °C.

Hubo una eficiencia de remoción de 82,1 % para la DQO y 95,4% para la DBO_5 en el biorreactor.

El pH promedio de entrada y salida en el biorreactor tuvo un rango de 6,78 y 7,85 respectivamente.

Se logró una remoción del 99,9% de coliformes totales en el biofertilizante.

Comparando el insumo se observó que el guano de la isla tiene un valor de S/ 1,0 / kg, y el estiércol bovino es considerado desecho, ambos biodigestados producen un ecoproducto denominado biofertilizante, (Ministerio de agricultura, 2016), el cual es inocuo y tiene un incremento significativo de macronutrientes, lo cual genera una economía circular dentro de sistemas agropecuarios a implementar, teniendo un impacto en el PBI y promoviendo el desarrollo sostenible.

5. PROPUESTA Y/O RECOMENDACIONES

- Estudiar los hongos y carga microbiana benéficas presentes en el biofertilizante.
- Investigar la forma disponible de los iones nitrógeno presentes en el biofertilizante obtenido (NH_4^+ y NO_3^-).
- Determinar la variación en la cantidad de micronutrientes en el biofertilizante, elementos secundarios (CaO, MgO, S) y microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn, B).

- Investigar el uso de electrodos para biofermentar el guano de isla y/o estudiar los valores del potencial de reducción en las etapas fermentativas en el biorreactor.
- El hacer un pretratamiento como el termoquímico, ultrasonido y/o prefermentado, se debe estudiar ya que producen una mejora significativa (Gunes et al., 2021).

6. LISTA DE REFERENCIAS

- Agabo-García, C., Pérez, M., & Solera, R. (2020). Adaptation of thermophilic sludge-inoculum to co-digestion with Sherry-wine distillery wastewater. *Biomass and Bioenergy*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105628>
- Alfa, M. I., Adie, D. B., Igboro, S. B., Oranusi, U. S., Dahunsi, S. O., & Akali, D. M. (2014). Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy*, 63, 681–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.049>
- Agrorural, (2018). Manual de Abonamiento con Guano de las Islas. <https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL%20DE%20ABONAMIENTO%20CON%20G.I.pdf> (06-09-20)
- Ambiente, D. G. de I. e I. A. del. (2016). Objetivos de Desarrollo Sostenible e Indicadores. <https://www.minam.gob.pe/investigacion/wp-content/uploads/sites/19/2017/02/ODS.compressed.pdf>
- Apolo, A. (2015). Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio prototipo de bajo costo. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Arriaga, P. (1621). La extirpación de las idolatrías en el Perú. Edición digital basada en la de Lima, Imprenta y Librería San Martí y C^a, 1920. Lima, Perú.
- Aydın, İ., & Bayrak, Ö. (2019). Gonen example of biofertilizer production activities which are indispensable for environmentally friendly agricultural applications. *Karbey Yayıncılık Eğitim ve Danışmanlık Hiz. San. Tic. Ltd. Şti. Kesit Yayınları*, 2019.
- Cabos, J. (2014). 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. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- College of Agriculture & Resource & Environment, Tianjin Agriculture University, Tianjin 300384, China; Institute of Environment & Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, C. (2019).

- Nitrogen Absorption of Winter Wheat Influenced by Combined Biofertilizer Replace Chemical Fertilizer. *China Science & Technology Journal Database, (Acta Agri,* 178–186.
http://qikan.cqvip.com/article/detail.aspx?id=7001818539&from=journal_article
- Carrasco, L. (2017). "Impacto de la extracción del guano sobre las poblaciones de aves guaneras en algunas islas y puntas guaneras de la costa peruana. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- FAO, MINENERGIA, PNUD, & GEF. (2011). Manual del Biogás. *Proyecto CHI/00/G32*, 120.
<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Gunes, B., Stokes, J., Davis, P., Connolly, C., & Lawler, J. (2021). Modelling and optimisation of the biogas yield after hybrid alkaline-ultrasonic pre-treatment in the early stages of anaerobic digestion of pot ale to shorten the processing time. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 43–53.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.013>
- Gunes, Burcu, Stokes, J., Davis, P., Connolly, C., & Lawler, J. (2021). Optimisation of anaerobic digestion of pot ale after thermochemical pre-treatment through Response Surface Methodology. *Biomass and Bioenergy*, 144.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105902>
- Hernández, R. (2017). Metodología de la investigación. México, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Hernández, V. (2017). Dimensionamiento de dos biodigestores para la producción de metano en la FES Cuautitlán, empleando la materia fecal de conejos y vacas. *Revista de desarrollo tecnológico*. Vol 1 n°03 Ecorfan. España.
- León, G. (2017). Los biofertilizantes en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en el valle del Mantaro. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Lorente, L. (2018). Diseño de biodigestor a escala de laboratorio para la digestión anaerobia e industrialización energética de los desechos sólidos municipales. Universidad de Málaga, España.
- Matter, J. M., De Costa, M. S. S. M., De Costa, L. A. M., Pereira, D. C., De Varennes, A., & Tessaro, D. (2017). Anaerobic co-digestion of hatchery waste and wastewater to produce energy and biofertilizer - Batch phase. *Revista Brasileira de Engenharia*

- Agricola e Ambiental*, 21(9), 651–656. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p651-656>
- Meegoda, J. N., Li, B., Patel, K., & Wang, L. B. (2018). A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 15, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102224>
- Ministerio del ambiente. (2017, 28 de junio), Nueva Ley de Residuos Sólidos. [http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/nueva-ley-de-residuos-solidos/\(28-12-18\)](http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/nueva-ley-de-residuos-solidos/(28-12-18))
- Ministerio de agricultura. (2016, 21 marzo), Medios de producción agropecuarios. <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/produccion-agropecuarias/2016/boletin-estad-medios-produccion-agropec-mar16.pdf>
- Miyashiro, I. (2014). “Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas”, Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú
- Owamah, H. I., Dahunsi, S. O., Oranusi, U. S., & Alfa, M. I. (2014). Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. *Waste Management*, 34(4), 747–752. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.01.017>
- Pinedo, M., Abanto-Rodríguez, C., Oroche, D., Paredes, E., Bardales-Lozano, R., Alves, E., Lopes, J., & Vargas, J. (2018). Improvement of the agronomic characteristics and yield of camu-camu fruit with the use of biofertilizers in Loreto, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 527–533. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.08>
- Paes, J. L., Alves, T. B. S., da Silva, L. D. B., de S. Marques, A., & Valentina, R. S. D. (2020). Use of inoculum in biodigesters with cattle manure under conventional and organic production systems. *Engenharia Agrícola*, 40(2), 146–153. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V40N2P146-153/2020>
- Rashvanlou, R. B., Farzadkia, M., Moserzadeh, A. A., Riazati, A., Wei, C., & Hoseinzadeh, E. (2020). Microbial Community Analysis Using MiSeq Sequencing and Pathway of Methane Production in Tehran WWTP: A Full-Scale Anaerobic Digester. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, Vol 5, Iss 3, Pp 1091-1102 (2020). <https://doaj.org/article/741ba427341c43629d818fa3f113ee44>

- Rea, H. (2018). Diseño e implementación de un biodigestor para la producción de un bioabono a partir de estiércol de ganado vacuno en el relleno sanitario del gad municipal del cantón La joya de los Sachas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- 28) Reis, M. M., Santos, L. D. T., Pegoraro, R. F., Colen, F., Rocha, L. M., & Ferreira, G. A. D. P. (2016). Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(11), 1008–1013. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p1008-1013>
- 29) Sánchez, Y. (2016). Caracterización química del guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad como fertilizante agrícola. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. México
- 30) Serrepe, A. (2017). El Habla de los Mochicas, Muchik: Historia de la gramática. Tomo I. Chiclayo-Perú
- 31) Sihuas N. (2016), Boletín estadístico de medios de producción agropecuarios, Dirección general de seguimiento y evaluación de políticas-DGESEP, Ministerio de agricultura y riego – MINAGRI, Perú.
- 32) Vargas M. (2017). “Evaluación de un fertilizante compuesto por una mezcla de efluente de biodigestor más urea versus urea, sobre variables tanto del suelo como de la producción del pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en fincas lecheras de Santa Cruz de Turrialba y Pacayas de la provincia de Cartago”. Universidad Nacional – Facultad de Ciencias de la tierra y mar, Costa Rica.

ANEXOS

Métodos para el análisis físico, químico y biológico

Nº	Parámetros	Título/Norma/Año
1	Demanda Química de Oxígeno	Oxygen Demand, Chemical.Reactor Digestion Method. Method 8000. WATER ANALYSIS HANDBOOK .4 th Edition.2002
2	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.5210B. APHA-AWWA-WEF. 21st Edition.2005
3	Sólidos Totales (ST)	Total Solids Dried at 103-105°C.2540B. APHA-AWWA-WEF. 21st Edition.2005
4	Sólidos Volátiles (SV)	Fixed and Volatile Solids Ignited at 550 °C.2540E. APHA-AWWA-WEF. 21st Edition.2005
5	Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivity. Direct Measurement Method. Method 8160. WATER ANALYSIS HANDBOOK .4 th Edition.2002
6	Alcalinidad	Alcalinity.Titration Method.2320B. APHA-AWWA-WEF. 21st Edition.2005
7	pH	Electrodo Crison con 0.01 unidades de pH y precision de ± 0.01
8	Nitrógeno Total	Método 4500 -NH ₃ B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA,1995).
9	Nitrógeno amoniacal	Método 4500 de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA,1995).
10	Fósforo	Método 8178 de aminoácidos llamado también Ortofosfato, adaptado de SMEWW
11	Potasio	Método Turbimétrico de Tetrafenilborato. APHA-AWWA-WEF. 21st Edition.2005
12	Coliformes Totales	Método de Filtrado de Membrana. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA AWWA WEF 21 th Edition. Part. 9221 E-1.
