

discontinuo (BATCH), se hizo una proyección de los valores, los mismos que se detallan a continuación:

TABLA II
PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOFERTILIZANTES, BIOL (LITROS) Y BIOSOL (TONELADAS).

Tipo de biofertilizante	Número de biodigestores Batch	
	1 biodigestor BATCH	8 biodigestores BATCH
Biol (L)	185	1480
Biosol (Tn)	0.0019	0.0152

En la tabla II se detallan los datos proyectados de los litros totales de biol y las toneladas totales de biosol, producidos en 8 biodigestores BATCH.

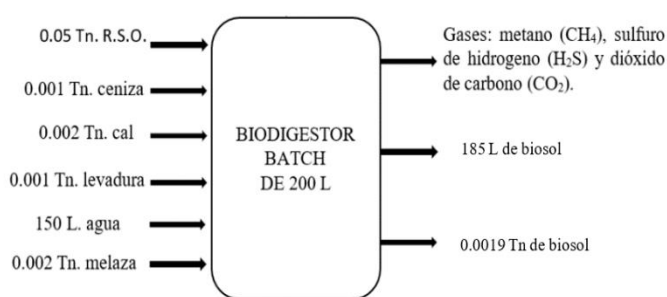


Fig. 12. Balance de materia del biodigestor anaerobio de régimen discontinuo (BATCH).

Por lo tanto, las medidas del biodigestor anaerobio de régimen discontinuo son de 0.92 m de altura y 0.6 m de diámetro. En ese sentido, el diseño de cada biodigestor tendrá la capacidad de valorizar hasta 0,05 toneladas de residuos sólidos orgánicos del mercado de Casa Grande, por lo que la digestión de las 0.395 toneladas de residuos sólidos orgánicos será cubierta por 8 biodigestores anaerobios de régimen discontinuo. Empíricamente en un biodigestor BATCH de 200 litros, se llegan a producir 185 litros de biol y 0,0019 toneladas de biosol (ver tabla 2).

Similar postura asume [16], ya que, para realizar su diseño a escala del biodigestor anaeróbico, también se apoyaron en estudios previos de cuantificación y caracterización de residuos sólidos orgánicos en Ecuador, siendo el biodigestor escalado en CAD de 45 litros, 0.386 m de alto y 0.386 m de diámetro. Asimismo, en Malawi [17], realizaron el diseño y las estimaciones de su biodigestor, a partir de un estudio previo que halló las 1.384 toneladas diarias de residuos orgánicos, luego escalaron en Auto CAD su biodigestor de 61000 litros. Otra perspectiva es la que sostienen [43], puesto que analizaron la presión interna de un biodigestor anaerobio y la viabilidad de su instalación ingenieril, a través de una simulación física a escala de laboratorio mediante SolidWorks, lo que les permitió ahorrar recursos y gastos en mano de obra.

En esa línea, [21], utilizaron 16 biodigestores anaerobios de régimen estacionario (BATCH) de 600 litros, para el aprovechamiento 26 Tn de residuos orgánicos urbanos en Ecuador; siendo la producción de 9600 litros de biol, sin biosol.

En [36], usaron 4 biorreactores anaerobios a escala de laboratorio en condición discontinua de 2 litros y 1.7 litros de volumen útil con un diámetro interno de 0.122 m y una altura de 0.165 m. Por otro lado, la municipalidad distrital de Casa Grande designará personal responsable de los biodigestores anaerobios y producción de los biofertilizantes, lo que supone la generación de puestos de trabajo, así como lo menciona [44], que con la implementación de soluciones de ingeniería como los biodigestores BATCH se van a generar puestos de trabajo para la población desempleada.

En ese sentido, de las teorías mencionadas y los resultados analizados, se verifica que el modelamiento del biodigestor estará en función de la cantidad de residuos orgánicos disponibles, a la par que se debe diseñar un prototipo a escala en un software CAD para estandarizar el proceso y prever inconsistencias. Además, de la generación de puestos de trabajo para la producción de biofertilizantes, a cargo de la municipalidad distrital de Casa Grande.

Por último, se describe la propuesta de implementación de una planta piloto de biofertilizantes compuesta por 8 biodigestores de régimen discontinuo (Batch), en respuesta a la problemática que representa la mala gestión de los residuos sólidos orgánicos del mercado de Casa Grande.

La distribución de los 8 biorreactores de régimen discontinuo será en 2 ambientes de 25 m² cada una denominadas “área de producción de biofertilizantes 1” y “área de biofertilizantes 2”, de modo que se cuente con 4 biorreactores por cada ambiente (ver figura 13).

Así también, la presente propuesta tiene por propósito instaurar el modelo de la Economía Circular en el distrito de Casa Grande con enfoque hacia la sostenibilidad. En ese sentido, la ejecución de esta propuesta es vital para mitigar el impacto ambiental negativo en los suelos, la napa freática por los lixiviados y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), aprovechándolo como biogás. Sin embargo, para obtener un sustituto del gas natural apto para su utilización es necesario eliminar el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el dióxido de carbono (CO₂), al tratarse de un compuesto tóxico y corrosivo de equipos [45], [46]. (ver figura 14)

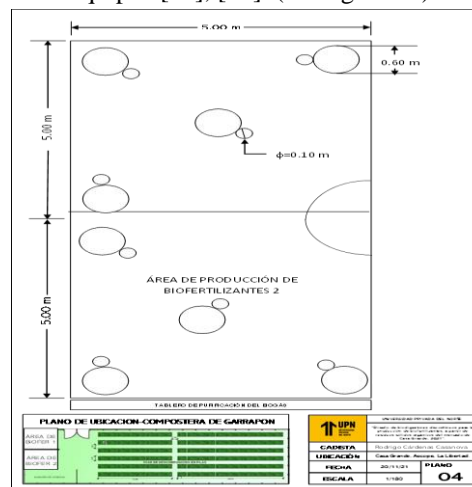


Fig. 13. Plano de distribución de biorreactores BATCH, en la compostera Garrapón.

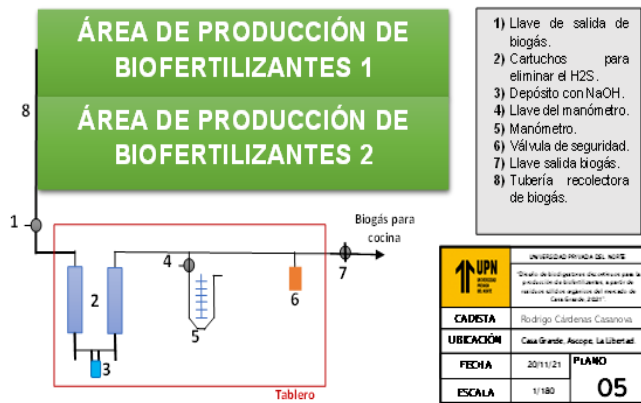


Fig. 14. Plano del sistema de producción de biogás.

El biogás producido en los 8 biodigestores Batch serán recolectados por una tubería PVC de 1" que conducirá al tablero de purificación y control de biogás, las particularidades del tablero son los cartuchos de PVC de 2", rellenos con esponjas de fierro conectados a dos puentes para eliminar el agua condensada y un depósito con hidróxido de sodio que capture el H₂S y CO₂ que no hayan sido capturados por los cartuchos (ver figura 14). La presión de trabajo del sistema estará controlada por una válvula de seguridad.

También, en [47], se utilizó un sistema de purificación de biogás basado en 2 cartuchos que fueron rellenos con clavos de fierro para atrapar el H₂S. Asimismo, en [48], mencionan que la reacción de oxidación de H₂S se acelera en presencia de sales de fierro. Mientras que en [49] y [50], recomiendan el uso de soluciones diluidas de Fe(OH)₃, NaOH o FeCl₂ como tratamientos del biogás al ser eficientes para la absorción química del H₂S y CO₂. Ello debido a la reactividad del sulfuro con la mayoría de los metales [51].

Similar postura en [52], pues indican que para la purificación del biogás se puede emplear óxido de fierro (III) hidratado, cloruro de fierro (III), pelets de fierro, solución de hidróxido de sodio, y óxido de zinc. En ese sentido, el biogás purificado se usará como combustible para una cocina a la que tendrá acceso el personal de trabajo de la compostera Garrapón.

IV. CONCLUSIONES

En el mercado de Casa Grande se producen 0.539 Tn. de RSO entre los rubros de carnes, avícolas, pescados, frutas, verduras y floristería, pero según data de los cuestionarios, los residuos de los rubros de carnes y avícolas ya se reaprovechan particularmente, por lo tanto, se generan 0.395 Tn. diarias de residuos sólidos orgánicos de los rubros de pescados, frutas, verduras y floristería.

Se elaboró un flujograma de la producción de biofertilizantes, lo que permite estandarizar el procedimiento, va a facilitar el adiestramiento de nuevos trabajadores, y servirá de insumo en futuras investigaciones.

Los planos de los biodigestores anaerobios de régimen discontinuo, se escalaron en base a las 0.395 toneladas diarias de residuos sólidos orgánicos y se elaboraron en el software SolidWorks 2018, con medidas de 200 litros, 0.92 m de altura

y 0.6 m de diámetro. Para la valorización de las 0.395 Tn diarias de residuos sólidos orgánicos son necesarios 8 biodigestores de régimen discontinuo, que producirán en conjunto 1480 L. de biol y 0.0152 Tn de biosol, al cabo de 60 días calendarios.

El presente trabajo de investigación repercutirá positivamente, ya que los biofertilizantes producidos servirán para el mantenimiento de las áreas verdes. Además, con la valorización de los residuos sólidos orgánicos se reducirán las emisiones GEI, responsables del calentamiento global.

En virtud de lo señalado, se recomienda la inclusión progresiva de los residuos sólidos orgánicos de los hogares casagrandinos, a través del empadronamiento de hogares de segregación en la fuente.

AGRADECIMIENTOS

Mi sentido agradecimiento a Olimpia Casanova, mi madre, benefactora de mis sueños y propósitos. Quien no sólo, me brindó la humanidad para disfrutar de esta aventura efímera llamada vida; sino que me inculcó valores éticos y morales para ser probo, que este sea un sentido reconocimiento a su esmerada labor.

En memoria de Carmen Rosa Pretell, mi abuela, quien sembró la semilla de la curiosidad por la naturaleza cuando niño, y a quien guardo con profundo cariño y nostalgia en mis recuerdos.

A mi hermano Arnold Cárdenas, por su apoyo incondicional desde que tengo uso de razón y sus palabras de aliento.

Mi sentido agradecimiento al Ing. Ronald Alvarado, ya que con sus aportes logré concluir exitosamente el presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] B. Prieto, "Revertir el calentamiento global," *PM World J.*, vol. 10, pp. 1–14, 2021, Accessed: Sep. 25, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Robert-Prieto/publication/349859315_Reversing_Global_Warming/links/60445281a6fdcc9c781adebf/Reversing-Global-Warming.pdf
- [2] IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático), *Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, vol. 5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Accessed: Jan. 15, 2022. [Online]. Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- [3] R. Afroz, M. M. Masud, R. Akhtar, and J. B. Duasa, "Water pollution: Challenges and future direction for water resource management policies in malaysia," *Environ. Urban. ASIA*, vol. 5, no. 1, pp. 63–81, Jan. 2014, doi: 10.1177/0975425314521544.
- [4] W. Charles, L. Walker, and R. Cord-Ruwisch, "Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste," *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 8, pp. 2329–2335, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.biortech.2008.11.051.
- [5] Department of Environmental Affairs, "National Waste Information Baseline Report," Baseline, Republic of South Africa, 2012.
- [6] S. Kaza, L. C. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank, 2018. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0.
- [7] INEI, "INEI: Anuario de Estadísticas Ambientales del Perú, 2019,." Lima, 2019. Accessed: Jun. 15, 2021. [Online]. Available: https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf
- [8] F. A. Leiva, "Educación Ambiental para el poblador del distrito de Casa Grande en el manejo de residuos sólidos urbanos entre julio a

- diciembre del año 2019,” *Arnaldoa*, vol. 27, no. 1, pp. 323–334, 2020, doi: 10.22497/ARNALDOA.271.27120.
- [9] W. Stahel and E. MacArthur, *The Circular Economy: A User's Guide*, 1^o Edición. New York: Routledge, 2019.: Routledge, 2019. doi: 10.4324/9780429259203.
- [10] A. Rodríguez, R. Palomo, and F. Gonzáles, “Transparency and circular economy: Analysis and assessment of municipal management solid waste,” *CIRIEC-España Rev. Econ. Pública, Soc. y Coop.*, no. 99, pp. 233–272, Jul. 2020, doi: 10.7203/CIRIEC-E.99.16011.
- [11] J. William, P. Vargas, J. Adarraga, D. Aguas, and E. Molina, “Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido,” *INGENIARE*, Barranquilla, 2011.
- [12] S. Wainaina *et al.*, “Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies,” *Bioresource Technology*, vol. 301. Elsevier Ltd, Apr. 01, 2020. doi: 10.1016/j.biortech.2020.122778.
- [13] A. Diaz, “Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya (Bolivia),” *Universitat Politècnica de Catalunya*, Tiquipaya, Bolivia, 2013. Accessed: Sep. 13, 2021. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20647>
- [14] R. Parra, “Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria,” *Prod. + Limpia*, vol. 10, no. 2, pp. 142–159, 2015, Accessed: Jan. 16, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [15] E. Campos, X. Elías, and X. Flotats, *Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje*, Ediciones. Madrid, 2012.
- [16] L. Leyva, M. Santos, I. Herrera, C. Orges, S. Palacios, and R. Chapi, “Design of a Lab-scale Anaerobic Biodigester for Renewable Energy from Municipal Solid Waste,” *Universidad Técnica del Norte*, Ibarra, Ecuador, 2018. Accessed: Nov. 23, 2021. [Online]. Available: <http://ieomsociety.org/dc2018/papers/205.pdf>
- [17] N. Kawelamzenje, M. Twizerimana, D. Bernadette, and A. Bakundukize, “Design of a Co-Digestion Biogas Plant to Curb Deforestation-Case Study of Phalombe Secondary School in Malawi,” *Open Access Libr. Inc.*, vol. 8, pp. 1–28, Mar. 2021, doi: 10.4236/oalib.1107255.
- [18] R. Kigozi, A. Aboyade, and E. Muzenda, “Sizing of an anaerobic biodigester for the organic fraction of municipal solid waste,” *b-dig.iie.org.mx*, vol. 2, pp. 22–24, 2014, Accessed: Sep. 12, 2021. [Online]. Available: http://b-dig.iie.org.mx/BibDig2/P14-0289/content/pdf/WCECS2014_pp659-663.pdf
- [19] R. Jyothilakshmi and S. V. Prakash, “Design, Fabrication and Experimentation of a Small Scale Anaerobic Biodigester for Domestic Biodegradable Solid Waste with Energy Recovery and Sizing Calculations,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 35, pp. 749–755, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.PROENV.2016.07.085.
- [20] O. Rojas and L. Rojas, “Diseño asistido por computador,” *Ind. Data*, vol. 9, no. 1, p. 007, 2014, doi: 10.15381/idata.v9i1.5709.
- [21] A. J. Catagña and D. P. Noboa, “Producción, caracterización y evaluación del biol de la EMMAIPC-EP, Cañar, a partir de residuos orgánicos urbanos, en pastizales ganaderos,” *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, Riobamba, 2016. Accessed: May 26, 2021. [Online]. Available: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/4909>
- [22] M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, S. Soltanian, and H. Ghanavati, “Biopower and biofertilizer production from organic municipal solid waste: An exergoenvironmental analysis,” *Renew. Energy*, vol. 143, pp. 64–76, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.04.109.
- [23] N. Ortega, “Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process,” 2006, Accessed: Sep. 17, 2021. [Online]. Available: <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>
- [24] S. Nogués, F. García, and D. Rezeau, *Energía de la Biomasa*. Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2010. Accessed: Sep. 05, 2021. [Online]. Available: https://www.unebook.es/es/libro/energia-de-la-biomasa-ii-energias-renovables_2811
- [25] M. Mata and S. Macassi, *Cómo elaborar muestras para los sondeos de audiencia*. Quito, 1997. Accessed: Jul. 07, 2021. [Online]. Available: [http://biblioteca.uide.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-](http://biblioteca.uide.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=2230)
- [26] M. Varnero, “Manual de biogás,” Santiago de Chile, 2011. Accessed: Sep. 17, 2021. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- [27] B. Lagrange, *Biomethana2: Principles Techniques and Utilization*. EDISUD, 1979.
- [28] SENAMHI, “Mapa Climático del Perú,” *SENAMHI*, 2021. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru> (accessed Jan. 18, 2022).
- [29] A. Alaminos and J. Castejón, “Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión,” Alicante, 2006. Accessed: Oct. 24, 2021. [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20331/1/Elaboración_análisis_e_interpretación.pdf
- [30] R. Hernández-Sampieri and C. Torres, *Metodología de la investigación*, vol. 4. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana., 2018. Accessed: Nov. 23, 2021. [Online]. Available: <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf>
- [31] J. Castiblanco and E. Rodríguez, “Análisis del manejo de los residuos sólidos Universidad Piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena, Facultad Ingeniería, Programa De Ingeniería Civil, Girardot, 2017.”, *Universidad Piloto de Colombia*, 2017.
- [32] T. C. Ogwueleka, “Survey of household waste composition and quantities in Abuja, Nigeria,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 77, pp. 52–60, Aug. 2013, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2013.05.011.
- [33] B. Chatterjee and D. Mazumder, “Role of stage-separation in the ubiquitous development of Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste: A critical review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 104. Elsevier Ltd, pp. 439–469, Apr. 01, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.01.026.
- [34] A. Cesaro and V. Belgiorno, “Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 240. pp. 24–37, Mar. 15, 2014. doi: 10.1016/j.cej.2013.11.055.
- [35] C. A. León, C. Nomberto, G. A. Mendoza, C. B. Bardales, J. Cabos, and M. A. Barrena, “Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol,” *Universidad Privada Antenor Orrego*, Trujillo, 2019. doi: 10.22497/arnaldoa.263.26311.
- [36] J. Fernández, M. Pérez, and L. I. Romero, “Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW),” *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 14, pp. 6075–6080, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.12.048.
- [37] A. Cesaro, V. Belgiorno, A. Siciliano, and M. Guida, “The sustainable recovery of the organic fraction of municipal solid waste by integrated ozonation and anaerobic digestion,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 141, pp. 390–397, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.10.034.
- [38] Z. Abudi *et al.*, “Batch anaerobic co-digestion of OFMSW (organic fraction of municipal solid waste), TWAS (thickened waste activated sludge) and RS (rice straw): Influence of TWAS and RS pretreatment and mixing ratio,” *Energy*, vol. 107, pp. 131–140, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.03.141.
- [39] H. Hernández, “Diseño de un biodigestor instrumentado electrónicamente para la generación de biogás en casa habitación,” *Universidad Nacional Autónoma de México*, México, 2012. Accessed: May 28, 2022. [Online]. Available: https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000677469
- [40] D. Puglia, D. Pezzolla, G. Gigliotti, L. Torre, M. L. Bartucca, and D. Del Buono, “The opportunity of valorizing agricultural waste, through its conversion into biostimulants, biofertilizers, and biopolymers,” *Sustain.*, vol. 13, no. 5, pp. 1–26, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13052710.
- [41] K. Torres and M. Gonzáles, “Diseño de un tanque agitado para la etapa de hidrólisis en la producción de miel de agave.”, *Rev. Divulg. científica Jovenes en la Cienc.*, 2016, Accessed: May 26, 2022. [Online]. Available: https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/752/pdf_5
- [42] Y. Alfonso, A. Pérez, and M. Yil, “Diseño de un biorreactor para la producción de inóculo de Salmonella enteritidis,” *Rev. Cuba.*

- Química*, vol. 31, no. 1, Apr. 2019, Accessed: May 26, 2022. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100120&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [43] C. Martínez, L. Méndez, and J. Flores, "Análisis de tensiones Von Mises en biodigestores anaerobios de cúpula rígida," *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. 27, no. 2, pp. 1–9, Apr. 2018.
- [44] K. Nandini Dora, K. Kumari, M. Srivatsava, and N. Dalai, "A review on various techniques for municipality waste management & product development," *Mater. Today Proc.*, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.747.
- [45] J. Krischan, A. Makaruk, and M. Harasek, "Design and scale-up of an oxidative scrubbing process for the selective removal of hydrogen sulfide from biogas," *J. Hazard. Mater.*, vol. 215–216, pp. 49–56, May 2012, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2012.02.028.
- [46] D. Liu, B. Li, J. Wu, and Y. Liu, "Sorbents for hydrogen sulfide capture from biogas at low temperature: a review," *Environ. Chem. Lett.* 2019 181, vol. 18, no. 1, pp. 113–128, Aug. 2019, doi: 10.1007/S10311-019-00925-6.
- [47] M. Barrena, F. Cubas, W. Gosgot, C. M. Ordinola, J. Rascón, and M. Huanes, "Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú," *Arnaldoa*, vol. 26, no. 2, pp. 725–734, 2019, doi: 10.22497/ARNALDOA.262.26214.
- [48] N. Abatzoglou and S. Boivin, "A review of biogas purification processes," *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 3, no. 1, pp. 42–71, Jan. 2009, doi: 10.1002/BBB.117.
- [49] V. Da Silva, M. Da Motta, and F. De Melo, "Biogas purification: Removal of CO₂ and H₂S by process absorption chemistry," *J. Chromatogr. Sep. Tech.*, vol. 06, no. 04, 2015, doi: 10.4172/2157-7064.S1.011.
- [50] W. Eldien, G. Gasmseed, and B. Abdalla, "Chemical Absorption of H₂S in Aqueous Fe₂(SO₄)₃ Solution," *Rev. Int. Ciencias la Ing. y Tecnol. Innovadora*, vol. 4, pp. 86–92, 2008.
- [51] M. Horikawa, F. Rossi, M. Gimenes, C. Costa, and M. Da Silva, "Chemical absorption of H₂S for biogas purification," *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 21, no. 03, pp. 415–422, Sep. 2004, Accessed: May 28, 2022. [Online]. Available: <https://www.scielo.br/pdf/bjce/v21n3/a06v21n3.pdf>
- [52] J. Viquez, "Remoción del sulfuro de hidrógeno (H₂S (g))/ácido sulfhídrico (H₂S (aq)) en el biogás," *EGAC*, vol. 53, pp. 16–20, 2010.