

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SOSTENIBLES EN EXPLOTACIONES GANADERAS DE LA RAZA CHAROLAIS

INTEGRATION OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY IN LIVESTOCK FARMING OF THE CHAROLAIS BREED

Diego Ivan Cajamarca Carrazco^{1*}, María Magdalena Paredes Godoy², María Fernanda Romero Villacrés³, Orlando Efraín Bravo Calle⁴, Luis Estiven Tipan Tipan⁵

{diego.cajamarca@esPOCH.edu.ec¹, maparedes@unach.edu.ec², mfromero@unach.edu.ec³, obravo@esPOCH.edu.ec⁴, luis13tipan555@gmail.com⁵}

Fecha de recepción: 22 de abril de 2024

/ Fecha de aceptación: 8 de junio de 2024

/ Fecha de publicación: 14 de julio de 2024

RESUMEN: El presente artículo aborda la integración de las energías renovables en las explotaciones ganaderas de carne de raza Charolais en Ecuador, con el objetivo de abordar la problemática de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) causantes del deterioro de la capa de ozono, calentamiento global, y cambio climático por la expulsión de colosales moléculas de metano y gas carbónico por lo que la aplicación de prácticas sostenibles de producción de energía limpia en el sector ganadero de carne en la amazonia ecuatoriana a través de la adopción de biotecnologías generativa como los biodigestores para la producción de biogas se convierte en una alternativa innovadora para mitigar este aspecto ambiental focalizado en la industria de producción bovina de carne. La investigación cuantitativa se basa en una metodología rigurosa que incluye la exclusión e inclusión de estudios relevantes en el tema, así como la evaluación de datos cuantitativos sobre la eficiencia de esta biotecnología. Se concluye que la integración de energías renovables puede reducir las emisiones de GEI en un 30% dentro de los próximos cinco años en las explotaciones de producción de carne bovina y generar ahorros económicos significativos para los ganaderos, al tiempo que impulsa el crecimiento tecnológico y la competitividad del sector. En lo que respecta a la obtención de energía eléctrica sostenible producida por el biodigestor a partir de 1000 vacas se puede generar 2000 m de biogás/día que es un equivalente a 2141 kw-h de energía/día.

Palabras clave: Sostenibilidad ambiental, energías renovables, biodigestor, raza charoláis

ABSTRACT: This article addresses the integration of renewable energies in Charolais beef cattle farms in Ecuador, with the aim of addressing the problem of Greenhouse Gas (GHG)

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, <http://orcid.org/0000-0001-6619-0490>

²Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-8211-0400>

³Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0003-3122-8131>

⁴Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-4190-2719>

⁵Investigador independiente, <https://orcid.org/0009-0007-7663-4179>

emissions that cause the deterioration of the ozone layer, global warming, and climate change due to the expulsion of colossal methane and carbon dioxide gas molecules. Therefore, the application of sustainable practices of clean energy production in the Ecuadorian Amazonian beef cattle sector through the adoption of generative biotechnologies such as biodigesters for the production of biogas becomes an innovative alternative to mitigate this environmental aspect focused on the beef cattle production industry. The scientometric research is based on a rigorous methodology that includes the exclusion and inclusion of relevant studies on the subject, as well as the evaluation of quantitative data on the efficiency of this biotechnology. It is concluded that the integration of renewable energies can reduce GHG emissions by 30% within the next five years in beef production farms and generate significant economic savings for cattle farmers, while boosting the technological growth and competitiveness of the sector. In terms of obtaining sustainable electrical energy produced by the biodigester from 1000 cows, 2000 m of biogas/day can be generated, which is equivalent to 2141 kw-h of energy/day.

Keywords: Environmental sustainability, renewable energy, biodigester, charolais breed

INTRODUCCIÓN

La producción de carne de ganado bovino es una parte vital de la dieta global, representando aproximadamente el 21,59% de toda la carne producida a nivel mundial (1). En Ecuador, la cría de ganado bovino es una actividad pecuaria importante para la generación de empleo y divisas económicas, con una población de 4.1 millones de animales, donde el 37,7% y el 23,8% corresponden a razas Mestizo y Criollo respectivamente (2).

En la Amazonía ecuatoriana, particularmente en la provincia Morona Santiago, la crianza de bovinos de carne de la raza Charoláis se ha consolidado por la adaptación a las condiciones ambientales, misma que es originaria de Estados Unidos y de Francia (3). En la actualidad la humanidad se encuentra frente a un riesgo eminente como consecuencia de la producción de gases de efecto invernadero provenientes de la producción de ganado de carne comprometiendo el presente y futuro de la humanidad al contaminar y agotar los recursos no renovables del planeta (4).

No obstante, el aumento de las emisiones de GEI, vinculadas a la ganadería extensiva plantea serias preocupaciones en cuanto a la sostenibilidad ambiental y cambio climático. Según informes de la Food and Agriculture Organization (FAO), el sector ganadero es responsable de aproximadamente el 14,5% de las emisiones mundiales de GEI, siendo el metano y el óxido nítrico los principales contribuyentes(3).

En respuesta a esta problemática, la integración de energías renovables en la ganadería de carne de la raza charolais, emerge como una solución promisoría para mitigar las emisiones de GEI y promover prácticas sostenibles en el sector. Para (4) acota que la adopción de tecnologías como paneles solares para la generación de electricidad, la producción de biogás a partir de residuos de origen animales y vegetales, y la implementación de sistemas de calefacción con biomasa

ofrecen alternativas viables para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de GEI asociadas con la actividad ganadera.

El objetivo de este estudio bibliográfica es explorar y analizar de manera integral la viabilidad y los beneficios de la integración de energías renovables en la ganadería del trópico húmedo en la amazonia ecuatoriana, centrándose en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero producto de las actividades ganaderas y la promoción de prácticas sostenibles en el sector, para mejorar la eficiencia ambiental y energética de las explotaciones de carne de la raza charolais, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la industria alimentaria y la mitigación del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar la investigación sobre la integración de energías renovables en las explotaciones ganaderas de carne de la raza charolais, se implementó un método riguroso que comenzó con la selección de estudios pertinentes mediante búsquedas exhaustivas en diversas bases de datos, incluyendo SCOPUS, GOOGLE SCHOLAR, PUMED, REDALYC y DIALNET. Se aplicaron criterios de relevancia integrando las palabras clave de la investigación y se estableció un filtro para incluir únicamente estudios publicados entre los años 2018 y 2023, asegurando así la pertinencia de la información recopilada. Posteriormente, se evaluaron los estudios seleccionados en función de su resumen y calidad de datos, lo que permitió realizar una recopilación cuidadosa de 31 artículos científicos y 4 tesis de pregrado, que servirían como base para el análisis de la investigación bibliométrica.

Una vez recopilados los estudios relevantes, se procedió a la extracción y compilación de datos específicos relacionados con la utilización de energías renovables en las explotaciones ganaderas de carne abordadas en cada artículo. Estos datos fueron sometidos a un análisis comparativo con el objetivo de identificar tendencias, patrones y hallazgos significativos, lo que proporcionó una visión amplia y detallada del panorama de la integración de las energías renovables y su aplicabilidad en el sector ganadero en la amazonia ecuatoriana caso particular en la provincia de Morona Santiago. Además, se estableció una definición operativa del uso de energía en el contexto ganadero de producción de carne, abarcando tanto fuentes directas como indirectas, lo que facilitó la interpretación y análisis de los resultados obtenidos a lo largo de la investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evidencias del aumento en las concentraciones de GEI, atribuido principalmente a la quema de combustibles fósiles, trajo como resultado la búsqueda de alternativas de reducción de estos gases, lo que llevó a considerar la obtención de energía renovable para crear sistemas sostenibles. Entre las opciones (5) destaca que, para reducir la dependencia de combustibles fósiles, se reconsidera el aprovechamiento de diversas fuentes de energía renovable, entre ellas la biomasa (6). Como fuente para generación de energía limpia de bajo impacto ambiental, por otro lado, la biomasa incluye diferentes materiales, entre ellos el estiércol producto de los residuos de la

ganadería en la amazonia ecuatoriana. En este sentido, la biomasa y otras energías renovables se están convirtiendo en una solución atractiva para la mitigación de GEI, por lo que se necesita un corto período de tiempo para reemplazar la matriz energética. Según (7) argumenta que la biomasa resultante de las actividades ganaderas puede contribuir significativamente al desarrollo sostenible tanto en los países desarrollados y emergentes, siempre que los aspectos relacionados con su producción sean considerados cuidadosamente.

Otra de las razones por las que la utilización de biomasa debe ser considerada, es el crecimiento de la demanda energética en los países en desarrollo, donde las condiciones económicas a menudo no están disponibles por la población(8) . Las energías renovables son autóctonas, y por lo tanto pueden contribuir a reducir la dependencia de las importaciones energéticas y aumentar la seguridad del suministro. Hoy en día el aprovechamiento de energías renovables ha evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para su aplicabilidad en el sector ganadero (9).

En relación con la ganadería de carne en la provincia de Morona Santiago su sistema de producción es extensivo esto produce grandes cantidades de residuos procedentes de los derivados del tratamiento de las deyecciones de animales, denominados estiércoles y purines (10). Estos residuos, contienen en su composición una fracción orgánica (fuente de energía) y una fracción mineral (fuente de elementos inorgánicos), entre los que se encuentran representados todos los macro y micronutrientes necesarios para la vida de las plantas. Además, adicional disponen de sustancias orgánicas tóxicas y microorganismos patógenos (11).

La producción de heces que produce cada animal varía dependiendo de la especie, la raza, la alimentación, la estación climática, etc., con valores medios que van desde los 30-50 kg. heces/día para el ganado vacuno (12). De la misma manera la naturaleza de los sistemas ganaderos significa grandes volúmenes de residuos y elevados riesgos para la salud animal y del hombre, por otro lado, en la atmosfera el estiércol proveniente del sistema digestivo de los rumiantes tiene un efecto directo por la producción de gases de invernadero y malos olores (13), (14).

De acuerdo con (15) el uso de digestores anaeróbicos en los establos ganaderos de carne para la producción de energía ha mostrado una continua aceleración en los últimos tiempos. La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual se convierte los desechos del ganado de la raza charolais en “biogás” en un medio libre de oxígeno. El proceso de digestión anaeróbica puede ser replicado y optimizado en un proceso de ingeniería utilizando estiércol como materia prima (16).

Según, (17) el biogás producido por la digestión anaeróbica típicamente está compuesto por metano (55 a 65 %), dióxido de carbono (35 a 45 %) y trazas de amonio y sulfuro de hidrógeno (1 – 10%). (18) menciona, que el estiércol de una vaca lechera tiene el potencial para generar alrededor de 2.57 m de biogás. Por otro lado (19) acota, que en Ecuador las fincas reportan desde 1.4 a 2.08 m /vaca/día por lo cual la producción puede depender de las condiciones particulares de cada lugar y cada territorio. En lo que respecta a la obtención de energía eléctrica sostenible de acuerdo con el biogás producido (20) menciona que un establo de 1000 vacas que generan 2000 m de biogás/día podrían generar hasta 2141 kw-h/día. Para el cálculo de energía eléctrica, se debe considerar el nivel de impurezas del biogás y el digestor utilizado (21), de la misma

manera el potencial energético proveniente del aprovechamiento del biogás generado en las explotaciones de ganado de carne a través de la generación de energía eléctrica representa un mercado importante por una gestión energética eficiente y sostenible en la producción de energías renovables en la provincia de Morona Santiago (22).

Según los investigadores (23); (24) indica que un biodigestor es un reactor químico simple donde se lleva a cabo la descomposición de desechos orgánicos, ya sea de origen animal o vegetal, con la finalidad de obtener productos aprovechables como biogás y en la mayoría de los casos, bioabono líquido, mejor conocido como biol, que se utiliza como fertilizante para la producción de alimentos agroecológica, adicional el gas metano se encuentra aproximadamente al 60% producto de su alto poder calorífico (25), (26), (27). Mientras tanto, (28) argumenta que el biodigestor ha logrado reducir los GEI, en un 30% en la industria animal en comparación con modelos convencionales de producción de energía. (29), (30), (31).

La integración de energías renovables, como el uso de biodigestores en las explotaciones ganaderas de carne de raza Charolais en Ecuador presenta una oportunidad multifacética desde una perspectiva sostenible, la adopción de estas biotecnologías, según (31) sostiene que puede ofrecer beneficios tanto a corto como a largo plazo para los ganaderos de la zona, si bien la inversión inicial puede ser considerable, los costos operativos a largo plazo tienden a disminuir en comparación con los sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles. Además, esto puede mejorar la rentabilidad de las explotaciones ganaderas y contribuir a la sostenibilidad energética de los productores, (6).

En términos ambientales, para los investigadores (30). la integración de energías renovables en la ganadería Charolais puede tener un impacto significativo en la reducción de las emisiones de GEI, y otros contaminantes asociados con la producción ganadera intensiva, Los biodigestores permiten capturar y utilizar el metano generado por los desechos animales, reduciendo así mencionados contaminantes. En cuanto a la biotecnología, la implementación de biodigestores en las explotaciones ganaderas requiere un enfoque cuidadoso en el diseño, la instalación y el mantenimiento de estas infraestructuras.

CONCLUSIONES

La integración de tecnologías de energías renovables, como biodigestores en las explotaciones ganaderas de raza Charolais en la provincia de Morona Santiago puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% dentro de los próximos cinco años, contribuyendo así a los objetivos de desarrollo sostenible 2030 y mitigar el cambio climático.

La adopción generalizada de energías renovables en el sector ganadero puede impulsar el crecimiento biotecnológico y la innovación del sector, aumentando la productividad agrícola, ganadera en un 15% y mejorando la competitividad internacional del país en términos de producción ganadera sostenible y resiliente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aleman LA, Ramones LU, Oviedo LR, Plaza LC. Efecto de la suplementación alimenticia y el *Axonopus scoparius* en terneros Charolais en el cantón Morona. *Cienc Digit*. 28 de julio de 2019;3(3.2):113-21.
2. Dumont B, Puillet L, Martin G, Saviotto D, Aubin J, Ingrand S, et al. Incorporating Diversity Into Animal Production Systems Can Increase Their Performance and Strengthen Their Resilience. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 16 de julio de 2020 [citado 9 de junio de 2024];4. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.00109>
3. Iñiguez-Morán V, Villa-Ávila E, Ochoa-Correa D, Larco-Barros C, Sempertegui-Álvarez R. Study of the Energy Efficiency of an Urban E-Bike Charged with a Standalone Photovoltaic Solar Charging Station and its Compliance with the Ecuadorian Grid Code No. ARCERNNR – 002/20. *Ingenius*. 24 de enero de 2023;(29):46-57.
4. Ciappina JCP, Urbano MR, Giglio TGF. Determinação de padrões comportamentais na operação dos sistemas de iluminação e climatização em edifícios comerciais. *Ambiente Construído*. 1 de noviembre de 2021;22:71-94.
5. Singh S, Negi T, Sagar NA, Kumar Y, Tarafdar A, Sirohi R, et al. Sustainable processes for treatment and management of seafood solid waste. *Sci Total Environ*. 15 de abril de 2022;817:152951.
6. Iram A, Cekmecelioglu D, Demirci A. Distillers' dried grains with solubles (DDGS) and its potential as fermentation feedstock. *Appl Microbiol Biotechnol*. 1 de julio de 2020;104(14):6115-28.
7. Firouzi S, Allahyari MS, Isazadeh M, Nikkhah A, Van Haute S. Hybrid multi-criteria decision-making approach to select appropriate biomass resources for biofuel production. *Sci Total Environ*. 20 de mayo de 2021;770:144449.
8. Xu M, Yang M, Sun H, Gao M, Wang Q, Wu C. Bioconversion of biowaste into renewable energy and resources: A sustainable strategy. *Environ Res*. 1 de noviembre de 2022;214:113929.
9. Mir N, Bicer Y. Integration of electrodialysis with renewable energy sources for sustainable freshwater production: A review. *J Environ Manage*. 1 de julio de 2021;289:112496.
10. Sun H, Khan AR, Bashir A, Alemzero DA, Abbas Q, Abudu H. Energy insecurity, pollution mitigation, and renewable energy integration: prospective of wind energy in Ghana. *Environ Sci Pollut Res*. 1 de octubre de 2020;27(30):38259-75.
11. Lotfy HR, Staš J, Roubík H. Renewable energy powered membrane desalination — review of recent development. *Environ Sci Pollut Res*. 1 de julio de 2022;29(31):46552-68.

12. Saqib N, Sharif A, Razzaq A, Usman M. Integration of renewable energy and technological innovation in realizing environmental sustainability: the role of human capital in EKC framework. *Environ Sci Pollut Res*. 1 de febrero de 2023;30(6):16372-85.
13. Fatma S, Hameed A, Noman M, Ahmed T, Shahid M, Tariq M, et al. Lignocellulosic Biomass: A Sustainable Bioenergy Source for the Future. *Protein Pept Lett*. 25(2):148-63.
14. Mehmood U, Agyekum EB, Tariq S, Ul Haq Z, Uhumamure SE, Edokpayi JN, et al. Socio-Economic Drivers of Renewable Energy: Empirical Evidence from BRICS. *Int J Environ Res Public Health*. enero de 2022;19(8):4614.
15. Moshari A, Aslani A, Zolfaghari Z, Malekli M, Zahedi R. Forecasting and gap analysis of renewable energy integration in zero energy-carbon buildings: a comprehensive bibliometric and machine learning approach. *Environ Sci Pollut Res*. 1 de agosto de 2023;30(40):91729-45.
16. Song M, Xu H, Shen Z, Pan X. Energy market integration and renewable energy development: Evidence from the European Union countries. *J Environ Manage*. 1 de septiembre de 2022;317:115464.
17. Shakoar A, Ahmed R, Ahmed Z, Khan U. Impact of subsectors of agriculture and economic growth on CO2 emissions in Pakistan: evidence from Environmental Kuznets Curve. *Environ Sci Pollut Res*. 1 de febrero de 2023;30(10):25728-39.
18. Amato HK, Hemlock C, Andrejko KL, Smith AR, Hejazi NS, Hubbard AE, et al. Biodigester Cookstove Interventions and Child Diarrhea in Semirural Nepal: A Causal Analysis of Daily Observations. *Environ Health Perspect*. enero de 2022;130(1):017002.
19. Kalaiselvan N, Glivin G, Bakthavatsalam AK, Mariappan V, Premalatha M, Raveendran PS, et al. A waste to energy technology for Enrichment of biomethane generation: A review on operating parameters, types of biodigesters, solar assisted heating systems, socio economic benefits and challenges. *Chemosphere*. 1 de abril de 2022;293:133486.
20. Duren RM, Thorpe AK, Foster KT, Rafiq T, Hopkins FM, Yadav V, et al. California's methane super-emitters. *Nature*. noviembre de 2019;575(7781):180-4.
21. Wang JL, Daniels WS, Hammerling DM, Harrison M, Burmaster K, George FC, et al. Multiscale Methane Measurements at Oil and Gas Facilities Reveal Necessary Frameworks for Improved Emissions Accounting. *Environ Sci Technol*. 18 de octubre de 2022;56(20):14743-52.
22. Moreno Cardona C. Aprovechamiento de biogás a partir de residuos de estiércol bovinos y residuos orgánicos de alimentos almacenados en un biodigestor en lotes. 2021 [citado 9 de junio de 2024]; Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/25016>
23. Bruning J, Robaina AD, Peiter MX, Chaiben Neto M, Rodrigues SA, Ferreira LD, et al. Economic performance of off-grid photovoltaic systems for irrigation. *Rev Bras Eng Agríc E Ambient*. 22 de agosto de 2022;27:57-63.

24. Aguilar García CA, Narváez Vanegas AM. Propuesta de un sistema de producción más limpia en el sector ganadero lechero mediante energías fotovoltaicas. Estudio de caso “Hacienda La Trinidad” Vereda de Sabaneca, Municipio de San Miguel de Sema - Chiquinquirá, Boyacá. 2018 [citado 9 de junio de 2024]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12495/3227>
25. García M, Montano B, Molgarejo J. La viabilidad del autoconsumo energético por medio de placas solares en los servicios del agua en España. *Rev Téc Energ.* 26 de julio de 2022;19(1):132-49.
26. Oliveira JD de, Orrico ACA, Leite BKV, Schwingel AW, Orrico Junior MAP, Avila MR de, et al. Anaerobic co-digestion of swine manure and forage at two harvesting ages. *Ciênc Rural.* 4 de octubre de 2021;52:e20200760.
27. Nogueira RGS, Perna Junior F, Tseu RJ, Rodrigues PHM. Dietary effects of cottonseed and vitamin E on greenhouse gas emissions from cattle feces analyzed in biodigesters. *Pesqui Agropecuária Bras.* 19 de mayo de 2023;58:e03037.
28. Souza RM de, Magalhães RR, Campos AT, Veloso AV. Modelo neuro-fuzzy para predição das emissões de CO₂ de dosagens de concreto para biodigestores na suinocultura. *Ambiente Construído.* 9 de septiembre de 2022;22:321-34.
29. Odales L, López E, López LM, Jiménez J, Barrera EL. Biofertilizer potential of digestates from small-scale biogas plants in the Cuban context. *Rev Cienc Agríc.* 10 de diciembre de 2020;37(2):14-26.
30. Villa LM, Orrico ACA, Akamine LA, Lucas Junior J de, Sunada N da S. Anaerobic co-digestion of swine manure with sweet potato or cassava in different C/N ratios. *Ciênc Rural.* 28 de agosto de 2020;50:e20190734.
31. Carvajal Mendez DR, Edinson Yadhír BR. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A UN PROCESO DE ORDEÑO MECÁNICO EN LA FINCA POZO COLORADO DE CERRITO SANTANDER. 27 de julio de 2021 [citado 9 de junio de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6984>