



Emisiones de metano generados por cultivos de arroz en el distrito de Rioja y propuesta de medidas de mitigación ambiental

Methane emissions generated by rice crops in the Rioja district and proposed environmental mitigation measures

Torres-Fernandez, Yessenia^{1*}

Ayala-Díaz, Marcos Aquiles¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

Recibido: 15 Ago. 2023 | Aceptado: 27 Nov. 2023 | Publicado: 10 Ene. 2024

Autor de correspondencia*: ytorresf@alumno.unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Torres-Fernandez, Y. & Ayala-Díaz, M. A. (2023). Emisiones de metano generados por cultivos de arroz en el distrito de Rioja y propuesta de medidas de mitigación ambiental. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(1), e578. <https://doi.org/10.51252/reacae.v3i1.e578>

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue determinar las emisiones de metano (CH₄) generados por el cultivo de arroz en el distrito de Rioja y proponer medidas de mitigación ambiental. Se entrevistó a 89 agricultores de la comisión de usuarios El Progreso – Rioja, mediante la entrevista personal haciendo uso de un cuestionario, para calcular las emisiones de metano se utilizó la metodología desarrollada por el IPCC (1996), multiplicando las hectáreas cosechadas por el factor de emisión para el sistema de riego, se determinó multiplicando el factor de escala por el factor de corrección para fertilizantes orgánicos y por el factor de emisión para variaciones estacionales, lo que permitió proponer medidas de mitigación. Se determinó que en cinco años de estudio se cosecharon en promedio 181,70 ha, promedio por usuario de 2,4 ha y promedio total de cosecha de 2 376,96 ha/año, además, el factor de emisión es de 20,0 g/m² equivalente a 0,2 t/ha, se determinó un promedio anual de 36,34 tCH₄, siendo la emisión por hectárea de 0,2 tCH₄, el promedio anual por usuario de 0,41 tCH₄ y un total año de 475,28 tCH₄, equivalente a 9 980,84 tCO₂eq como aporte a la huella de carbono.

Palabras clave: emisiones de metano, factor de emisión, gases de efecto invernadero, huella de carbono

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine methane (CH₄) emissions generated by rice cultivation in the Rioja district and propose environmental mitigation measures. A total of 89 farmers from the El Progreso - Rioja users' commission were interviewed using a personal interview and a questionnaire. To calculate methane emissions, the methodology developed by the IPCC (1996) was used. This involved multiplying the harvested hectares by the emission factor for the irrigation system, determining the multiplication of the scale factor by the correction factor for organic fertilizers and the emission factor for seasonal variations. These calculations allowed for the proposal of mitigation measures. The results indicated that, over a five-year study period, an average of 181,70 hectares were harvested, with an average of 2,4 hectares per user and a total average annual harvest of 2 376,96 hectares. The emission factor was determined to be 20,0 g/m², equivalent to 0,2 t/ha. The annual average methane emissions were calculated as 36.34 tCH₄, with emissions per hectare amounting to 0,2 tCH₄. The annual average emissions per user were 0,41 tCH₄, resulting in a total of 475, 28 tCH₄ per year. These emissions contributed to a carbon footprint of 9 980,84 tCO₂eq.

Keywords: methane emissions, emission factor, greenhouse gases, carbon footprint



1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la humanidad viene enfrentándose a uno de los mayores retos que es el cambio climático, el cual incrementa la temperatura ambiental (Malhi et al., 2021) y con ello se prevé el aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos como tormentas, inundaciones, sequías y olas de calor (Rocha et al., 2022); además, el cambio climático influye en los recursos hídricos y en la economía agrícola (Prakash, 2021). Este tipo de impactos que guardan relación con el cambio climático no se limitan a la falta de los recursos de la naturaleza, más bien, generan impactos en una economía sana sostenible y también demanda grandes costos ambientales que resultan incalculables (Palmer Neyra, 2018).

Entre las actividades necesarias y primitivas del ser humano se encuentra la agricultura, la misma que garantiza la seguridad alimentaria del total de seres humanos del mundo que en cifras suma 7 600 millones, número que según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) va aumentando de forma exacerbada y que al año 2030 será alrededor de 11 mil millones de seres humanos (Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017). A partir de esto, aumentar la productividad agrícola se convierte en algo inevitable, resultando un problema la intensificación de cultivos, la mala administración del agua y la mala gestión de tierras, los cuales contribuyen en la producción de una serie de impactos ambientales significativos de tipo sinérgico, como contaminación de cuerpos de agua y suelos con agroquímicos.

El arroz es uno de los principales cultivos alimentarios de la población mundial y es inevitable en la seguridad alimentaria mundial actual y futura (Gadal et al., 2019); sin embargo, es una gran preocupación para la comunidad científica porque produce gases de efecto invernadero (GEI) amenazantes y de larga duración como metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) (Gupta et al., 2021; Umali-Deininger, 2022); a la vez este cultivo representa el 12% de emisiones mundiales de CH₄ y un porcentaje asombroso de 1,5% del total de emisiones de GEI (Kurnik & Devine, 2022). El CH₄ es el principal gas que contribuye a la formación de ozono a nivel de la tierra y un contaminante peligroso del aire, la exposición a éste genera cada año 1 millón de muertes prematuras (UN, 2021).

El Perú, netamente es un país arrocerero y de acuerdo al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2017), el primer producto en superficie sembrada y cosechada es el arroz, por encima de productos como el café, maíz amarillo y papa; con una superficie promedio de 380 000 ha, se ha establecido en uno de los esenciales componentes que forman parte de la canasta familiar básica. Gran parte de la producción de arroz en el Perú se ejecuta bajo prácticas agrícolas que no se relacionan con la sostenibilidad del ambiente, como por ejemplo los suelos inundados, que aportan entre 5 a 10% la emisión de gases de metano (CH₄).

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2019) a través del perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector agrícola, la región de San Martín es una de las principales regiones a nivel nacional productoras del cultivo de arroz, registrándose en el año 2019 el sembrado/instalado de 70 000 mil ha, teniéndose una cosecha de 69 000 mil ha. de arroz. Por otro lado, en la zona del Alto Mayo uno de los distritos donde se da mayor producción de este cultivo es en el distrito de Rioja y de acuerdo a los datos regionales y locales del área de estudio es posible creer que en la zona existe la problemática de elevadas emisiones de metano a la atmósfera, lo cual altera al ambiente en general, práctica de cultivo que se relaciona al sistema de riego que practican los agricultores, que a nivel regional es predominante el riego de tipo anegado (por inundación).

Es a partir de lo fundamentado y de la inexistencia de información en el distrito de Rioja sobre el tema abordado, se ejecutó la investigación que permitió conocer la realidad problemática a mayor profundidad, estimando que en el distrito de Rioja en promedio al año se producen 475,28 tCH₄, valor determinado que

permitió proponer medidas de mitigación ambiental a fin de minimizar en los próximos años las cantidades de emisión de metano que se generan.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio está representado por las áreas de cultivo de arroz.

2.2. Población y muestra

La población estuvo conformada por 1 164 usuarios que forman parte de la comisión de regantes “El Progreso – Rioja”.

Para la determinación de la muestra se utilizó la fórmula para poblaciones finitas (Bolaños Rodríguez, 2012):

$$n = \frac{(Z^2 pqN)}{(N-1)E^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

Z = Nivel de confianza (95% o 1,96)

p = Probabilidad favorable = 0,5

q = Probabilidad desfavorable = 0,5

N = Población universal = 1164 usuarios

E = Error permisible (10% o 0,1)

Al aplicar la fórmula se obtiene que la muestra está representada por los 89 usuarios de la comisión de regantes El Progreso.

2.3. Instrumentos de recolección de datos

Para recolectar los datos y dar cumplimiento a cada uno de los objetivos, se utilizó un cuestionario como instrumento, el mismo que fue validado por expertos.

2.4. Procedimientos

2.4.1. Técnica de recolección de datos

En gabinete

Primeramente, se realizó una evaluación haciendo uso de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE, 2007), mediante el software ArcGIS a fin de verificar de acuerdo a ello las zonas de cultivos de arroz, asimismo debido a que dicha información es pasada se usó Google Earth (actualizado al año 2020) a fin de corroborar la información presentada por la ZEE e identificar los terrenos de cultivos de arroz en el ámbito del distrito de Rioja, con lo cual posteriormente se salió a campo a corroborar estas informaciones que fueron de mucha utilidad.

También previamente antes de salir a campo se verificaron datos de hectáreas sembradas y cosechadas de cultivo de arroz en la jurisdicción del distrito de Rioja con respecto a los últimos 5 años, dicha información fue recolectada del MINAGRI y que fue de ayuda, aunque en campo se solicitó información nueva y

relevante a cada agricultor entrevistado mediante la encuesta sobre las hectáreas cosechadas en los últimos cinco años, dichos datos permitieron generar nueva información científica haciendo uso de la metodología del IPCC, acerca de emisiones de metano de cultivo de arroz en la jurisdicción del área de estudio.

Posteriormente, con el número de usuarios o agricultores presentados en el perfil de investigación, de acuerdo a la Dirección de Productividad Agraria (DPA) y Dirección Regional de Agricultura San Martín (DRASAM, 2016), a través del diagnóstico de la cadena de valor del cultivo de arroz y maíz, que menciona que en la ciudad de Rioja existen 1 164 usuarios, se procedió a validar dicha información en la comisión de usuarios, mediante la entrevista personal a responsables.

Al contar con información acerca del número de usuarios de la comisión de usuarios El Progreso – Rioja que es de 1 164, se procedió a determinar la muestra haciendo uso de la fórmula para poblaciones finitas, con el cual fue posible determinar una muestra de 89 usuarios.

En campo

Se aplicó la técnica de la encuesta con un cuestionario como instrumento a un total de 89 usuarios o agricultores que desarrollan el cultivo de arroz en la comisión mediante la técnica de la entrevista personal. Las encuestas se aplicaron durante tres meses desde inicios de agosto hasta finales de octubre del año 2021. El tipo de muestreo aplicado fue el probabilístico llamado “muestreo aleatorio simple”, con el cual es posible seleccionar al azar las personas hasta que se complete la cantidad necesaria de la muestra (Hernández & Carpio, 2019).

Para la determinación de las emisiones de metano no se empleó tecnología alguna en la recolección de datos, para la recolección de los datos en campo solo se utilizó una encuesta donde fue posible registrar la cantidad de hectáreas cosechadas en cada año por los agricultores muestreados a través de la técnica de la entrevista y mediante la estimación de los factores de emisión fue posible determinar las emisiones de metano, lo cual estuvo basado en la metodología del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996).

Además, para la recolección de datos también se tuvo a bien utilizar datos secundarios para el cual se revisaron investigaciones ya realizadas como tesis, revistas, artículos científicos, entre otros, referidos a las variables de estudio y al tema a investigar, asimismo se tomaron vistas fotográficas durante todo el proceso del estudio a fin de mostrar evidencias de lo desarrollado.

2.4.2. Evaluación de la superficie anual cosechada de cultivos de arroz según sistema de riego de los últimos 5 años en el distrito de Rioja

El desarrollo de este objetivo se fundamentó principalmente en la aplicación de la encuesta a agricultores y posterior procesamiento de dicha información recolectada en campo, cuyo método fue la observación directa y opinión de los encuestados. En la encuesta se contemplaron preguntas de suma importancia y relevancia que permitieron cumplir con el objetivo propuesto como es el número de hectáreas cosechadas, el tipo de sistema de riego, tipo de fertilizantes utilizados, entre otros. El procesamiento de la información recolectada se hizo en programa Excel y para facilitar el análisis se usó tablas y figuras que sirven para una mejor comprensión del público lector.

2.4.3. Determinación de los factores de emisión y las emisiones totales de metano generados por cultivos de arroz en el distrito de Rioja

Para el desarrollo de este objetivo fue de suma importancia contar con datos reales obtenidos de campo, la metodología aplicada fue la desarrollada en base a libros de trabajo del (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996), donde para el cálculo de las emisiones de metano (CH₄) se debió tener en

cuenta datos de la superficie anual cosechada de arroz y el factor de emisión para el sistema de riego, datos que permitieron determinar las emisiones totales haciendo uso de las siguientes fórmulas de cálculo:

Ecuación 1: Emisiones de metano por cultivos de arroz

$$\text{Emisiones}_{(\text{CH}_4)} = \text{FE}_j * \text{S}_j$$

Donde:

Emisiones (CH₄) = Emisiones de metano por cultivo de arroz (t).

FE_j = Factor de emisión para el sistema de riego j (t/ha).

S_j = Superficie anual cosechada según el sistema de riego j (ha).

Asimismo, para determinar el factor de emisión propio de cada sistema de riego, se usó la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Factor de emisión de metano por cultivos de arroz

$$\text{FE} = (\text{FS}_w * \text{FS}_o * \text{FE}_{\text{VE}})$$

Donde:

FE = Factor de emisión integrado ajustado para una superficie de cosecha dada (g/m²).

FS_w = Factor de escala para reflejar las diferencias en los regímenes de manejo del agua.

FS_o = Factor de corrección para fertilizantes orgánicos.

FE_{VE} = Factor de emisión para variaciones estacionales (g/m²).

Para determinar el factor de escala, factor de corrección para fertilizantes orgánicos y factor de emisión para variaciones estacionales (Tabla 1).

Cabe mencionar que las Directrices del IPCC señalan que para el factor de corrección del fertilizante orgánico se debe usar el valor de 2, sin embargo, por ser esta actividad prácticamente nula en el Perú se considera según las indicaciones del IPCC usar el valor de 1.

Tabla 1.

Factores de emisión para los cultivos de arroz

| Régimen de gestión del agua | | Factor de escala* | Factor de corrección para el fertilizante orgánico** | FE variaciones estacionales - arroz anegado continuamente sin fertilizantes orgánicos*** (g/m ²) | |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|--|--|-------|
| De regadío | Anegados continuamente | 1,00 | 1,00 | 20,00 | |
| | Anegados intermitentemente | Aeración sencilla | 0,50 | 1,00 | 20,00 |
| | | Aeración múltiple | 0,20 | 1,00 | 20,00 |
| De secano | Anegadizos | 0,80 | 1,00 | 20,00 | |
| | Expuesto a la sequía | 0,40 | 1,00 | 20,00 | |
| Aguas profundas | Profundidad del agua 50-100 cm | 0,80 | 1,00 | 20,00 | |
| | Profundidad del agua > 100 cm | 0,60 | 1,00 | 20,00 | |

Nota: * Directrices IPCC 1996, Tabla 4-10 ** Directrices IPCC 1996, página 4.18, numeral 3 *** Directrices IPCC 1996, Tabla 4-11

Después de la obtención del factor de emisión de metano en g/m², se procedió a convertir el valor a t/ha de la siguiente manera:

Ecuación 3: Conversión de factor de emisión de metano de g/m² a t/ha

$$FE \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{g}{m^2} \times \frac{10000 m^2}{1ha} \times \frac{1 t}{1 \times 10^6 g}$$

A fin de evaluar el aporte a la huella de carbono, se procedió a calcular el CO_{2eq} de emisiones de metano de cultivos de arroz, el mismo que de acuerdo a Cerón (2021), es mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Cálculo de CO_{2eq} de emisiones de metano de cultivos de arroz

$$CO_{2eq} = Emisiones_{CH_4} \times GWP_{CH_4}$$

Donde:

CO_{2eq} = Emisiones de metano CO_{2eq} (t).

Emisiones_{CH₄} = Emisiones totales de metano de cultivos de arroz.

GWP_{CH₄} = 21 (Potencial de calentamiento global en un horizonte de 100 años), para convertir CH₄ a CO_{2eq}.

2.4.4. Propuesta de medidas de mitigación ambiental para minimizar las emisiones de metano (CH₄) y controlar el impacto hacia el ambiente

La formulación de propuestas de medidas de mitigación ambiental se encuentra enmarcado en los resultados obtenidos del primer y segundo objetivo, es decir a partir de la opinión de los agricultores mediante las encuestas y de la determinación de emisiones de metano, se formularon las medidas de mitigación ambiental en la presente investigación, es preciso mencionar además que estas medidas fueron propuestas con el objetivo de minimizar las emisiones y controlar el impacto hacia el ambiente, teniendo en cuenta la situación actual y pasada de hace 5 años, propuesta que además se sustenta en la revisión de información secundaria, todo lo cual permite presentar una información sólida, la misma que puede ser tomada por autoridades para su implementación en los cultivos de arroz.

2.5.5. Análisis estadístico

Para el procesamiento y análisis de los datos usó la estadística descriptiva con el fin de determinar sumas y promedios de los resultados obtenidos en campo y procesados en gabinete; asimismo, para facilitar la interpretación de los resultados se elaboraron figuras y tablas. El principal instrumento utilizado para el desarrollo del procesamiento y análisis de datos fue el programa Excel, además también se empleó softwares como ArcGIS, Google Earth.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Superficie anual cosechada de cultivo de arroz según sistema de riesgo de los últimos 5 años

En la Figura 1 se evidencia la tendencia de hectáreas de cultivo de arroz durante los últimos 5 años, encontrando un incremento considerable del número de agricultores que llegaron a cosechar 1,0 ha, en tanto para 2,0 ha, es posible evidenciar un descenso a partir del último año, ocasionando un aumento del número de agricultores que pasaron a cosechar 1,0 ha, por otro lado, con respecto a las mayores hectáreas cosechadas es posible evidenciar una tendencia de descenso sobre todo con las de 6,0 ha y 7,0 ha, siendo esta última mencionada que a partir del segundo año se redujo totalmente, a diferencia de 1,0 ha y 0,5 ha, todas las demás hectáreas entre el penúltimo y último año de estudio tienden a descender el número de agricultores que los cosecharon, el mismo que según los entrevistados se debe a efectos de la pandemia.

Los resultados de número de hectáreas cosechadas durante los últimos cinco años de estudio (Figura 2) muestra una tendencia de descenso, cuyo mayor número de hectáreas cosechadas (205,0 ha) se determinó para el primer año (2016), en tanto, el menor número de hectáreas cosechadas (154,0 ha) fue en el quinto año (2020), lo que conllevó a determinar que en el primer y quinto año el promedio de hectáreas cosechadas de arroz por usuario sea mayor (2,30 ha/usuario) y menor (1,73 ha/usuario) respectivamente, lo mismo que permitió determinar en base al total de usuarios, que en el primer y quinto año a nivel del distrito de Rioja se cosecharon las mayores (2 681,12 ha) y menores (2 014,11 ha) superficies de cultivo de arroz. Del mismo modo, en base a los 5 años de estudio y de acuerdo al total de entrevistados se determinó que el promedio anual es de 181,70 ha, lo que hace que el promedio de hectáreas cosechadas por usuario sea de 2,04 ha/usuario, obteniendo, además, que el promedio total de hectáreas cosechadas por año a nivel de Rioja es de 2 376,39 ha.

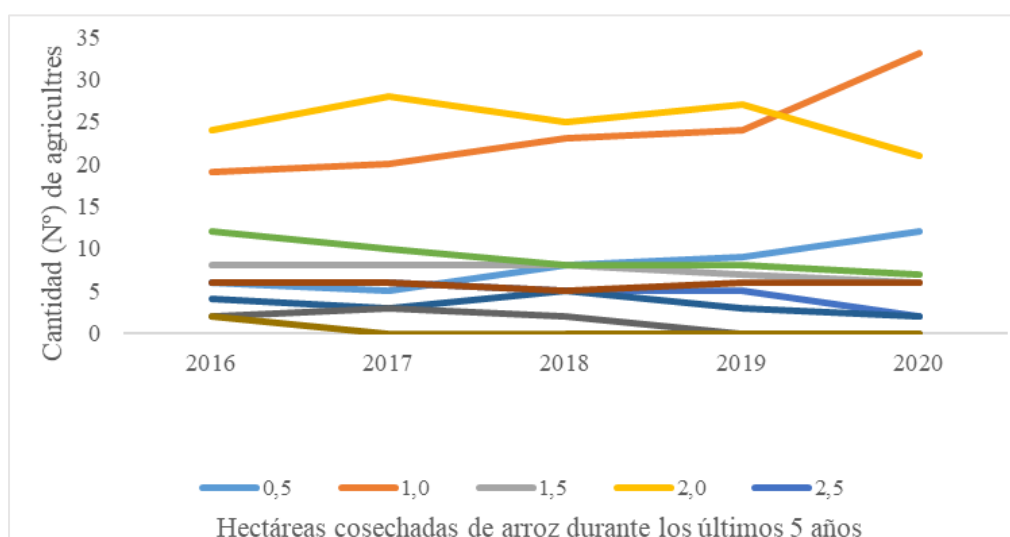


Figura 1. Tendencia de hectáreas cosechadas de arroz durante los últimos 5 años



Figura 2. Hectáreas de arroz cosechadas durante los últimos 5 años

En los últimos cinco años de estudio de acuerdo a los resultados de la entrevista, las hectáreas cosechadas de cultivos de arroz muestran un descenso conforme van pasando los años, información que es afirmada con lo evaluado en el perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2019), donde se observa que en el distrito de Rioja las hectáreas totales cosechadas de cultivos de arroz se han disminuido, lo cual se debe al desarrollo de diferentes factores que permiten tal evento.

3.2. Factores de emisión y las emisiones totales de metano generados por cultivos de arroz

3.2.1. Factores de emisión de metano para cultivos de arroz de acuerdo al régimen de gestión del agua

Del total de entrevistados se determinó que el 100,0% hacen uso del régimen de gestión de agua de tipo "De regadío: Anegado continuamente", durante los años de estudio el cultivo de arroz estuvo inundado continuamente debido a que para un adecuado crecimiento depende mucho del agua, la misma que es utilizada hasta que la planta esté en fase de fruto y hasta su cosecha, de la misma manera en los días de fumigación el ingreso del agua a los cultivos es interrumpido por uno o dos días como máximo, para posteriormente de manera continua seguir anegando los cultivos de arroz, ante lo mencionado se utilizó el factor de emisión de variaciones estacionales - arroz anegado continuamente sin fertilizantes orgánicos que es de 20,00 g/m².

Del total de entrevistados, el 100,0% mencionó que en los cultivos de arroz solamente usan fertilizantes como nitrógeno, potasio, sulfato de amonio, fosfatos, herbicidas, fungicidas, insecticidas, foliares, entre otros, no empleando fertilizantes orgánicos lo que amerita un valor nulo, y para el caso de la presente investigación en base a las indicaciones del IPCC, se usó el valor de 1 como factor de corrección.

De acuerdo a los posibles factores de emisión para los diferentes tipos de régimen de gestión del agua de acuerdo a las directrices del IPCC y en base a la entrevista aplicada se logró determinar, con 20,0 g/m² como factor de emisión para variaciones estacionales, con 1,0 como factor de corrección para fertilizantes orgánicos y con 1,0 como factor de escala en el total de agricultores pertenecientes al tipo de régimen de gestión del agua anegado continuamente, que el factor de emisión de metano en todos los años es de 20,0 g/m², el mismo que equivale a 0,2 t/ha, siendo este mismo el valor promedio anual, que a la vez es equivalente a 0,2 t/ha/año CH₄.

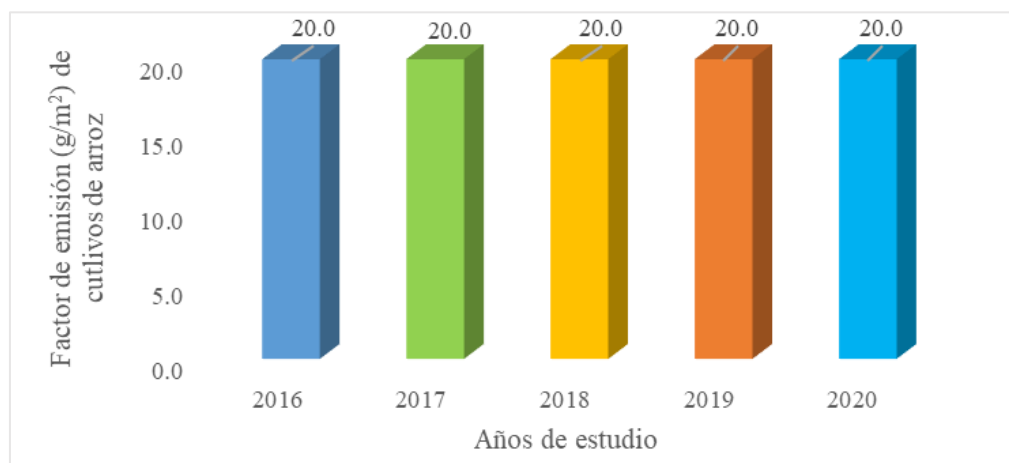


Figura 3. Factor de emisión de metano en los cultivos de arroz de los años de estudio

3.2.2. Emisiones totales de metano generados por cultivos de arroz en el distrito de Rioja

Es posible evidenciar la tendencia de emisiones de metano generados por los cultivos de arroz en referencia a la cantidad de agricultores y hectáreas cosechadas (Figura 4), encontrándose un incremento considerable de las emisiones de 0,2 t/ha CH₄, evidenciando además un descenso de emisiones de 0,4 t/ha CH₄ a partir del cuarto año, tal y como también lo muestra la tendencia de hectáreas cosechadas, por otro lado, las emisiones de 0,1 y 0,2 t/ha CH₄ muestran tendencia de aumento con el pasar de los años, lo que demuestra que la menor cantidad de hectáreas cosechadas han aumentado, siendo las demás emisiones las que con el

pasar de los años han ido disminuyendo debido a un descenso en las superficies cosechadas, sobre todo entre el penúltimo y último año de estudio.

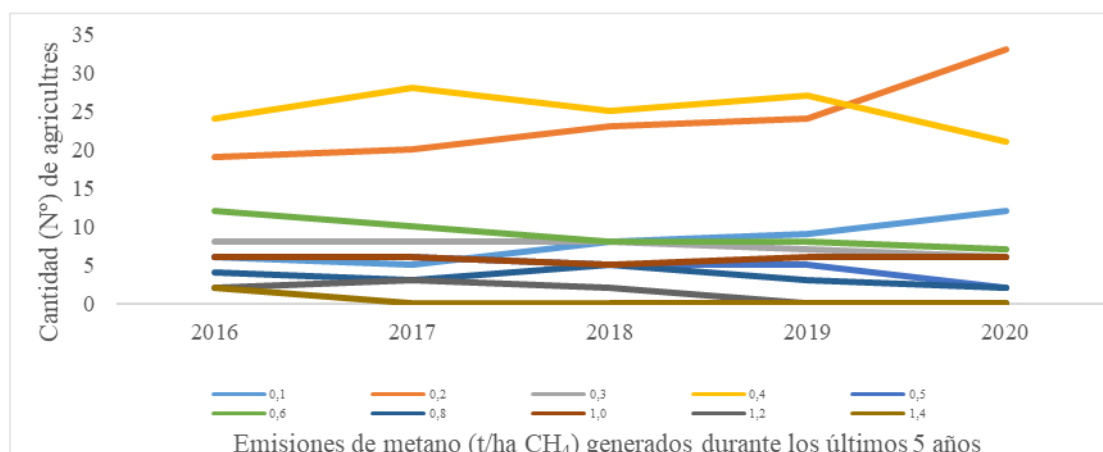


Figura 4. Tendencia de emisiones de metano (t/ha CH₄) generado por cultivos de arroz durante los últimos 5 años

El año donde mayor emisión de metano se generó fue en el 2016 (41,0 tCH₄), seguido del 2017 (39,1 tCH₄), en tanto, la menor emisión de metano en los años de estudio fue estimado en el 2020 (30,8 tCH₄), se estimó un descenso en las emisiones de metano conforme pasan los años, lo cual se relaciona directamente con el número de hectáreas cosechadas en los últimos años, determinándose también un promedio anual de emisión de metano de 36,34 tCH₄.

Con respecto a las emisiones de metano por usuario, la mayor emisión se generó en el 2016 (0,46 t/usr. CH₄), seguido del 2017 (0,44 t/usr. CH₄), en tanto, la menor emisión de metano por usuario en los años de estudio fue estimado en el 2020 (0,35 t/usr. CH₄), se determinó un descenso en las emisiones de metano por usuario que se relaciona directamente con el número de hectáreas cosechadas en los últimos años, determinando un promedio anual de emisión de metano por usuario de 0,41 t/usr. CH₄.

Con respecto a las emisiones totales de metano en la ciudad de Rioja de los últimos cinco años de estudio (Figura 5), se encontró que la mayor emisión total fue en 2016 (536,22 tCH₄), seguido del año 2017 (511,38 tCH₄), en tanto, la menor emisión total de metano en los años de estudio fue en el 2020 (402,82 tCH₄), se estimó un descenso en las emisiones totales de metano conforme pasan los años que se encuentra directamente relacionado con el número total de hectáreas cosechadas en Rioja en los últimos años, determinando un promedio anual total de emisión de metano de 475,28 tCH₄.



Figura 5. Emisiones totales de metano (tCH₄) generado por cultivos de arroz durante los últimos 5 años

3.2.3. Cálculo de CO_{2eq} de emisiones totales de metano (CH₄) del cultivo de arroz en el distrito de Rioja

Se determinó la huella de carbono en base a las emisiones totales de metano obtenidos en el distrito de Rioja (Figura 6), encontrándose que en el año 2016 se generó mayor cantidad que es de 11 260,72 tCO_{2eq}, siendo en el 2020 donde se estimó menor cantidad equivalente a 8 459,27 tCO_{2eq}, se evidencia un descenso en las emisiones de huella de carbono en los últimos años, el cual se encuentra relacionado con las hectáreas cosechadas y las emisiones de metano, encontrándose además un promedio anual de emisiones totales de CO_{2eq} de 9 980,84 tCO_{2eq}, por otro lado, las emisiones totales mayores y menores de huella de carbono por usuario se estimó en el primer y último año con 9,67 tCO_{2eq}/usr. y 7,27 tCO_{2eq}/usr., y que el promedio en base a los años de estudio por usuario es de 8,57 tCO_{2eq}/usr., siendo la emisión por hectárea cosechada de 4,2 tCO_{2eq}/ha.

Roa Medina (2020), menciona que el sistema de manejo de agua es uno de los parámetros influyentes en la emisión de metano en los arrozales, información que es afirmada con lo evidenciado y encontrado en la presente investigación, dado a que de los posibles factores de emisión se determinó que el régimen de gestión de agua de tipo anegado continuamente es el que mayor valor de factor obtiene, el cual se desarrolla en el ámbito de estudio siendo posible de esta manera la generación de mayor emisión de metano.

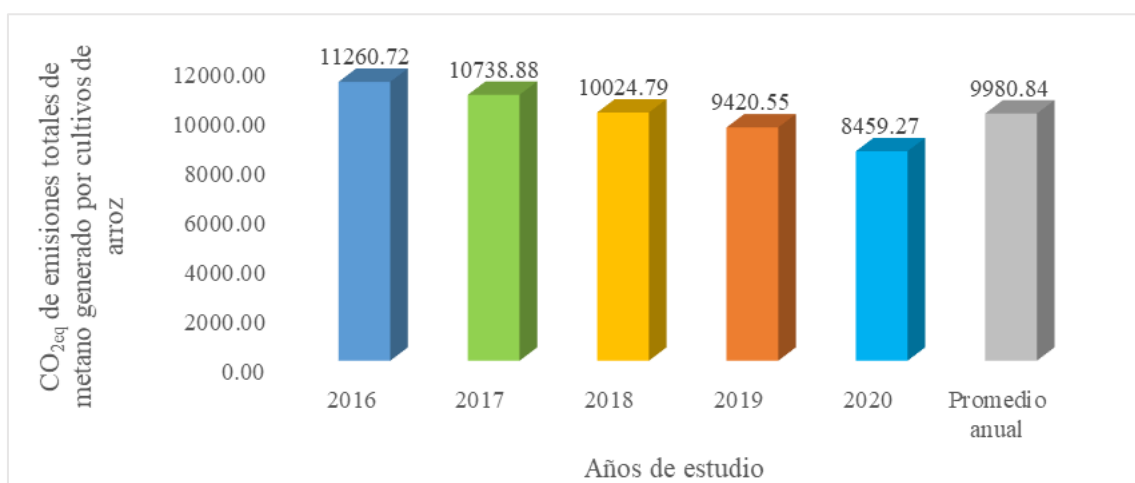


Figura 8. CO_{2eq} de emisiones totales de metano generado por cultivos de arroz

Entre los factores que incrementan las emisiones de metano se encuentra la duración y cantidad de superficies cosechadas, los regímenes de agua antes y en el transcurso del cultivo, además de los abonos inorgánicos y orgánicos utilizados (Carrillo-Vitale & Manso-Jiménez, 2017); información que es corroborada con lo obtenido en la presente investigación, debido a que se determinó que la cantidad de emisión emitida se redujo durante los últimos años por un descenso de la superficie cosechada, aunque el régimen de agua y uso de abonos orgánicos es una práctica común un poco difícil de cambiar, por lo cual se recomienda centrarse en buenas alternativas que posibiliten la reducción de emisiones sin reducir la producción de arroz.

En la presente investigación se determinó que por hectárea de cultivo de arroz se generan 0,2 tCH₄ en base a las hectáreas cosechadas y factor de emisión de tipo de régimen de agua anegado continuamente, resultado que es superior, pero se aproxima al ser comparado con lo encontrado por Rivas Vidal (2019), quien determinó en su investigación que por hectárea se generan 0,145 tCH₄ mediante la evaluación de características físicas y químicas del suelo de cultivo de arroz.

3.3. Medidas de mitigación ambiental a fin de minimizar las emisiones de metano (CH₄) y controlar el impacto hacia el ambiente

| Medidas | Descripción |
|--|--|
| Medida en base al manejo de fertilizantes y de abono | Algunos inhibidores de nitrificación no solo tienen la capacidad de mitigar N ₂ O, sino que también de acuerdo a varios estudios puede reducir la emisión de CH ₄ en cultivos de arroz, resultando ser una medida de doble objetivo al reducir la emisión de ambos gases, es así que el empleo de inhibidores de la nitrificación, por ejemplo, colocar supergránulo de urea o Nimin en los cultivos de arroz inundados se pueden considerar alternativas pertinentes para mitigar emisiones de CH ₄ , sin producir efectos en el rendimiento del grano. |
| Medida de manejo del agua mediante drenaje en la mitad de estación | La aplicación de esta medida interviene con las propiedades anaeróbicas, interrumpiendo de esta manera la producción de metano, implica contener el agua irrigado mediante inundación durante periodos de tiempo determinados hasta evidenciar que el cultivo presente características de estrés, para posteriormente proceder a anegar los cultivos en el menor tiempo posible, siendo pertinente que la superficie terrestre sea cubierta con el fluido a fin de que las plantas tengan la capacidad de comenzar su recuperación. |
| Medida de aplicación de fertilizante con potasio | La implementación de esta medida a los arrozales previene el descenso en el potencial redox, logrando disminuir los niveles de sustancias de activa reducción y contenido de Fe ²⁺ , por lo cual además de producir mayor biomasa de arroz y de rendimiento de grano, la ejecución de esta medida puede reducir de manera efectiva la emisión de metano de suelos anegados. |
| Medida de labranza reducida para la mitigación de metano | La labranza en suelos húmedos comparado con el cultivo en tierras secas sin arado seco tiene la capacidad de generar un brote más temprano de metanogénesis, contribuyendo de esta forma a que en la etapa de crecimiento haya una mayor producción de metano, cuyo nivel más bajo de CH ₄ es generado por el cultivo sin arado y es una práctica que en reemplazo de compost emplea residuos del cultivo. |
| Medida de sembrado directo | Diversos autores refieren que sembrar directo el arroz genera menores emisiones de CH ₄ , lo cual se debe a periodos más cortos de inundación y perturbaciones menores de los suelos en relación con el trasplante de arroz. |
| Medida de enmienda mediante fertilizante químico | Las tasas de aplicación, método y origen de los fertilizantes minerales inciden de manera significativa en la producción y emisión de metano de cultivos de arroz inundados, resultando ser eficiente controlar y usar adecuadamente los fertilizantes, estos resultados demuestran que las emisiones de cultivos de arroz disminuyen en aproximadamente 18% por las enmiendas con fertilizantes de tipo químicos. |
| Medida de biotecnología agrícola como opción de mitigación de metano | Los autores demostraron que existe la probabilidad que el arroz con hijuelos productivos, alto índice de cosecha, alta actividad oxidativa en sus raíces y sistemas pequeños de raíces, generan menos CH ₄ en comparación con otras plantas cultivares. Aunque se identificó plantas de arroz que generan metano en poca cantidad, la minimización de estas emisiones obtenidos al seleccionar plantas cultivares demostró ser en menor cantidad que emisiones que se obtuvieron al modificar regímenes hídricos o incluso incorporando aditamentos orgánicos. |
| Medida de manejo del agua, mediante la alternación de mucha y poca humedad | También conocida como irrigación intermitente o controlada, donde la cantidad de días donde el cultivo no está anegado puede variar de uno a más de diez días, la medida se centra en que, al estar los niveles hídricos a 15 cm por debajo de la superficie terrestre, la tierra debe volver a ser inundada a 5 cm de profundidad aproximadamente en la etapa de floración, debiendo mantenerse la mencionada altura a fin de evitar el estrés de la plantación, lo cual ocasionaría una gran pérdida en el rendimiento de los cultivos de arroz, para monitorear la napa freática o la estabilidad del agua luego de cada irrigación en la altura requerida, es necesario instalar un tubo plástico perforado en el área de cultivo. |

Palmer (2018), determinó que a través de un riego intermitente y mediante la aplicación de una adecuada gestión hídrica en los cultivos de arroz, se reducen las emisiones de metano y se ahorra el agua, no afectando la producción y crecimiento del cultivo, información que también lo comparte (Cumpa, 2017), y

que a la vez es afirmada con lo encontrado, dado a que se propone como una de las alternativas que mayor minimización de metano genera y que las autoridades lo deberían tomar en consideración a fin de implementarla con los agricultores en los cultivos de arroz.

Méndez (2018), refiere que la quema de residuos agrícolas genera emisiones de CO₂, si bien en la presente investigación no se evaluó a este gas, no puede pasar por desapercibido el problema que se genera al quemar los residuos agrícolas del cultivo de arroz, que, junto a la emisión de metano, se tiende a emitir a la atmósfera dos de los gases de efecto invernadero más importantes y se contribuye de una u otra manera en el cambio climático.

CONCLUSIONES

A nivel del distrito de Rioja, más del 50% de agricultores cosechan entre 0,5 y 2,0 ha; hubo un descenso de superficies cosechadas entre los años, siendo 205,0 ha en el 2016 y 154,0 ha en el 2020, determinándose un promedio anual de 181,70 ha donde el promedio por usuario fue 2,4 ha/usuario, además, en el primer y quinto año a nivel distrital se cosecharon las mayores (2 681,12 ha) y menores (2 014,11 ha) superficies de cultivo de arroz, con lo cual el promedio total de hectáreas cosechadas por año es de 2 376,39 ha/año.

Se determinaron los factores de emisión para todos los años con 20,0 g/m² como factor de emisión para variaciones estacionales, con 1,0 como factor de corrección para fertilizantes orgánicos y con 1,0 como factor de escala en el total de agricultores pertenecientes al tipo de régimen de gestión del agua anegado continuamente, que el factor de emisión de metano es de 20,0 g/m², el mismo que equivale a 0,2 t/ha.

Más del 50% de emisiones son entre 0,1 t/ha CH₄ y 0,4 t/ha CH₄, al existir una relación directamente proporcional con el número de hectáreas cosechadas, existe un descenso en la generación de emisiones de metano, siendo el mayor 41,0 tCH₄ en el año 2016 y menor en el 2020 con 30,8 tCH₄, cuyo promedio anual de los cinco años resulta ser de 36,34 tCH₄, la mayor y menor emisión promedio por usuario es de 0,46 t/usu. CH₄ y 0,35 t/usu. CH₄ en el primer y último año de estudio respectivamente, siendo el promedio anual de los cinco años por usuario de 0,41 t/usu. CH₄, por otro lado, las emisiones totales de metano de los años de estudio fueron mayor en el 2016 con 536,22 tCH₄ y menor en el 2020 donde se estimó 402,82 tCH₄, resultando ser el promedio anual total de emisión de metano en Rioja de 475,28 tCH₄.

En base a las emisiones totales de metano, se determinó el aporte en la huella de carbono CO₂eq, encontrándose que en el año 2016 se generó mayor cantidad que es de 11 260,72 tCO₂eq, y en el 2020 se estimó menor cantidad equivalente a 8 459,27 tCO₂eq, encontrándose además un promedio anual de emisiones totales de CO₂eq de 9 980,84 tCO₂eq, por otro lado, las emisiones totales mayores y menores de huella de carbono por usuario se estimó en el primer y último año con 9,67 tCO₂eq/usr. y 7,27 tCO₂eq/usr., y que el promedio en base a los años de estudio por usuario es de 8,57 tCO₂eq/usr., siendo la emisión por hectárea cosechada de 4,2 tCO₂eq/ha.

Se propusieron medidas de mitigación las cuales pueden ser tomadas por autoridades para su implementación y lograr minimizar las emisiones de metano generados por cultivos de arroz, medidas en base al manejo de fertilizantes y de abonos, medida de manejo del agua mediante drenaje en la mitad de estación, medida de aplicación de fertilizante con potasio, de labranza reducida para la mitigación de metano, medida de sembrado directo, de enmienda mediante fertilizante químico, de biotecnología agrícola y medida de manejo del agua mediante alteración de mucha y poca humedad, de todas las cuales son expuestas la definición de la medida, su descripción, ventajas, desventajas y barreras de implementación de la medida, que deben ser tomados en cuenta para su implementación.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, administración del proyecto, software, supervisión, validación, visualización, redacción -borrador original y redacción -revisión y edición: Torres-Fernandez, Y. & Ayala-Díaz, M. A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolaños Rodríguez, E. (2012). *Muestra y muestreo* [Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/14620>
- Carrillo-Vitale, E. R., & Manso-Jiménez, R. W. (2017). Emisiones de metano procedentes del cultivo del arroz en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(1), 10–18. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/256/308>
- Dirección Regional de Agricultura de San Martín - DRASAM. (2016). *Diagnóstico de la cadena de valor de ganadería vacuno* (p. 55). SIAR San Martín. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-cadena-valor-ganaderia-porcina>
- Gadal, N., Shrestha, J., Poudel, M. N., & Pokharel, B. (2019). A review on production status and growing environments of rice in Nepal and in the world. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4(1), 83–87. <https://doi.org/10.26832/24566632.2019.0401013>
- Gupta, K., Kumar, R., Baruah, K. K., Hazarika, S., Karmakar, S., & Bordoloi, N. (2021). Greenhouse gas emission from rice fields: a review from Indian context. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 30551–30572. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13935-1>
- Hernández, C. E., & Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *ALERTA Revista Científica Del Instituto Nacional de Salud*, 2(1), 75–79. <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7535>
- INIA. (2017). *Programa nacional de arroz*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://www.inia.gob.pe/pn-arroz/>
- IPCC. (1996). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - versión revisada en 1996* (Vol. 2). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kurnik, J., & Devine, K. (2022). Innovación en la reducción de emisiones de metano del sector alimentario: lado del arroz, retención del metano. *World Wildlife Fund*. <https://www.worldwildlife.org/blogs/sustainability-works/posts/innovation-in-reducing-methane-emissions-from-the-food-sector-side-of-rice-hold-the-methane>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, 13(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- MINAGRI. (2019). *Perfil productivo competitivo de los principales cultivos del sector*. Ministerio de

Agricultura y Riego.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmYzU1Y2ItM2I1Ny00Y2E5LWEzOGMtM2Y4Y2VmNmZiNWQzliwidCI6IjNmMmVjNzcvLWMxYjEtNDEzYy05ZmY5LTRjOWY3MDA1OWYxOCJ9>

ONU. (2017). *La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/desa/world-population-prospects-2017>

Palmer Neyra, I. G. (2018). "Aplicación de riegos intermitentes para reducir emisiones de metano en el cultivo de arroz en el fundo el triunfo, distrito de Cajaruro, provincia de Utcubamba – región de Amazonas, 2017 - 2018" [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/18336>

Prakash, S. (2021). Impact of climate change on aquatic ecosystem and its biodiversity: an overview. *International Journal Biological Innovations*, 03(02). <https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3210>

Rivas Vidal, H. J. (2019). *Comparación de suelos de aguajal natural y del cultivo de arroz en la generación de metano en la cuenca del río Huascayacu – San Martín – 2019* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46433>

Roa Medina, Y. (2020). *Distribución espacial, factores y tasa de emisión de gases efecto invernadero (CH₄ y CO₂) emitidos a la atmósfera por parte de los cultivos de arroz en Colombia en el 2019* [Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/52514>

Rocha, J., Oliveira, S., Viana, C. M., & Ribeiro, A. I. (2022). Climate change and its impacts on health, environment and economy. In *One Health* (pp. 253–279). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822794-7.00009-5>

Umali-Deininger, D. (2022). *Reverdecer el arroz que comemos*. Asia Oriental y el Pacífico en ascenso. <https://blogs.worldbank.org/eastasiapacific/greening-rice-we-eat>

UN. (2021). *Methane emissions are driving climate change. Here's how to reduce them*. Environment Programme. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/methane-emissions-are-driving-climate-change-heres-how-reduce-them>