

Más arroz, con menos emisiones y menor consumo de agua

Producto 4. Escenario Modelado

Sandra Loaiza; Gabriel Garcés Varón.

2022



Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus directorios ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Sandra Patricia Loaiza y Gabriel Garcés.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

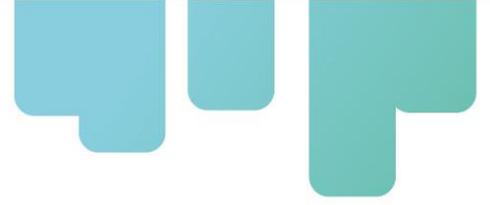
Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

- Resumen 4**
- Metodología..... 6**
 - 1. Sítio experimental – ensayos de campo.....6
 - 2. Modelo DNDC - Rice9
 - 3. Análisis estadístico 12
- Resultados.....13**
- Conclusiones.....17**
- Referencias Bibliográficas18**
- Instituciones participantes19**



Resumen

En el marco del proyecto “Más arroz, con menos emisiones y menor consumo de agua” fue propuesto la modelación de emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) bajo diferentes escenarios climáticos y de manejos agronómicos del cultivo de arroz en Colombia para las prácticas de control y riego alterno, por medio de la implementación del modelo “DeNitrification and Decomposition – RICE (DNDC)” desarrollado por el Instituto para el estudio de la tierra, los océanos y el espacio de la universidad de New Hampshire, con el objetivo de determinar el impacto ambiental a largo plazo de los cultivos de arroz. Como primer paso para la estimación de las emisiones de estos gases fue la validación del modelo DNDC Rice que se encuentra conformado por tres submodelo que simulan el clima del suelo, el crecimiento de los cultivos y la biogeoquímica del suelo para determinar el ciclo del carbono y el nitrógeno en ecosistemas de arroz) donde se utilizó la obtenida en campo durante dos ciclos de evaluación en el año 2020, considerando la información del manejo agronómico y de las condiciones climáticas de la zona donde se llevaron a cabo los ensayos (nivel de agua, suelo, eventos de riego y fertilización, temperatura, precipitación y radiación solar) para la estimación de los gases.

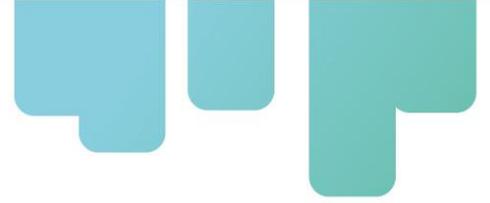
La validación fue realizada bajo 3 escenarios del manejo del recurso hídrico en el cultivo de arroz: Inundación intermitente (drenaje durante la aplicación de fertilizantes e inundación continua hasta la cosecha), y dos niveles de la tecnología de riego y secado alterno (sigla en inglés AWD) a 5 y 10 cm del nivel del agua bajo la superficie del suelo. El modelo sobreestimó las emisiones de metano en un 100% en el control y los dos niveles de AWD en comparación con los valores de las emisiones observadas; respecto a las emisiones de N_2O , los valores estuvieron entre de 0.01 a 0.9 $\text{mg N}_2\text{O} - \text{N m}^{-2} \text{d}^{-1}$ aproximándose a cero, subestimando las emisiones en comparación con los



valores observados en campo. Como resultado final el modelo no predice adecuadamente las emisiones de gases.

Palabras Clave:

Arroz, Metano, óxido nitroso, modelo DNDC – RICE.



Metodología

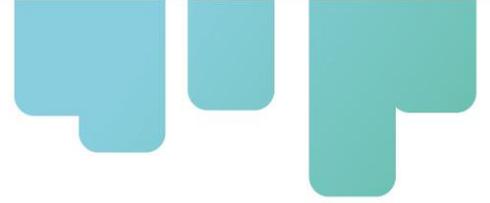
1. Sitio experimental – ensayos de campo

Los experimentos de campo se llevaron a cabo desde el año 2020, comprendiendo dos temporadas de cultivo de arroz en Centro Experimental "Lagunas" de la Federación Colombiana del Arroz (Fedearroz) (3° 55' 59" Norte, 75° 1' 1" Oeste) en la ciudad de Saldaña, (Tolima, Colombia). La región tiene una altitud de 305 metros, el clima de la ciudad se caracteriza por estaciones secas pronunciadas y precipitaciones bimodales (feb - jun) y (sep - dic). La precipitación media anual es de 1099 mm y la temperatura media anual es de 29 °C. La textura del suelo fue franco arenoso (59% arena, 29% limo y 12% cay) con las siguientes propiedades seleccionadas: densidad aparente de 1,58 g cm⁻³, 0,85% de C orgánico total y pH de 6,50 para el 0 - 10 cm de profundidad.

El experimento en campo comparó tres prácticas del manejo del agua: inundación intermitente, riego y secado alterno en dos niveles (AWD). Las condiciones de manejo agronómicas y las condiciones climáticas de la zona de estudio se resumen en la tabla 1 y gráfica 1, respectivamente. Para el riego AWD, se insertó en el suelo un tubo de agua de campo perforado de 25 cm de largo para observar el nivel del agua debajo de la superficie del suelo. Se aplicó riego para volver a inundar el campo cuando el nivel del agua había descendido a unos 5 y 10 cm por debajo de la superficie del suelo en riego AWD.

Tabla 1. Eventos de manejo agronómico de parcelas de arroz, durante 2 ciclos de ensayos y bajo tres tratamientos de riego. Saldaña, 2020 (información suministrada por el artículo de los resultados del proyecto). La información de las temporadas 1 y 2 fue utilizada para el ejercicio de simulación con el modelo de gases.

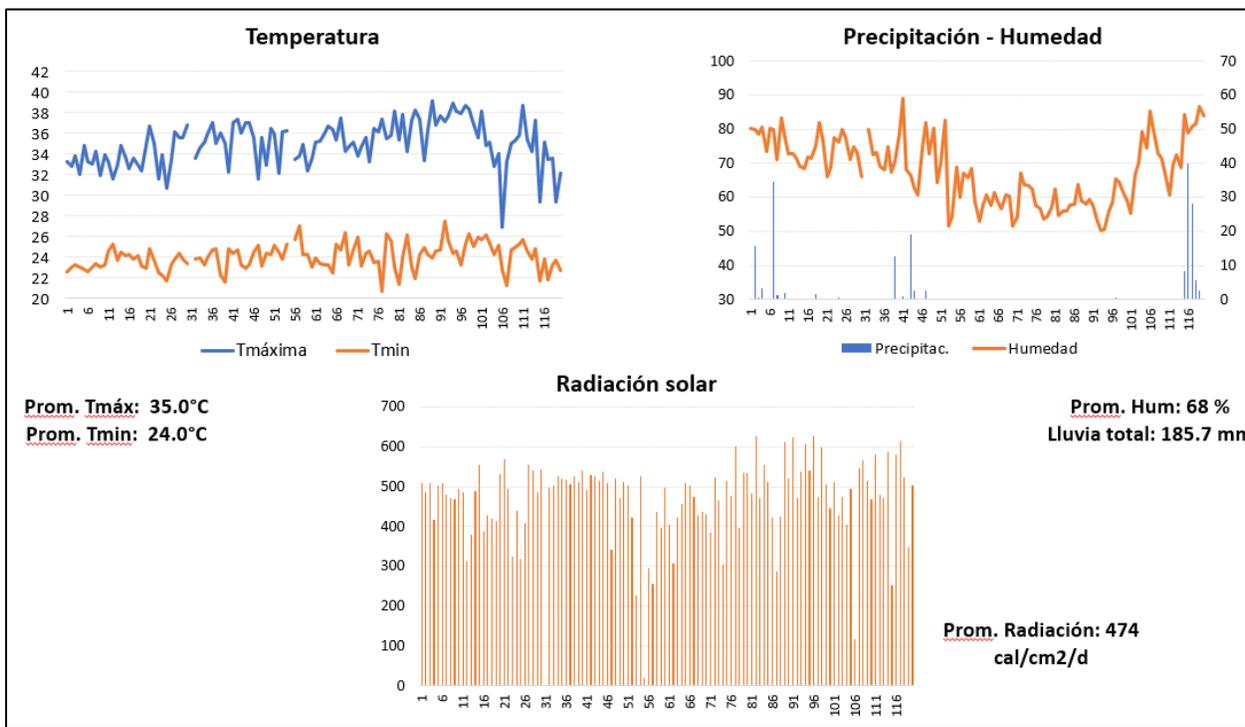
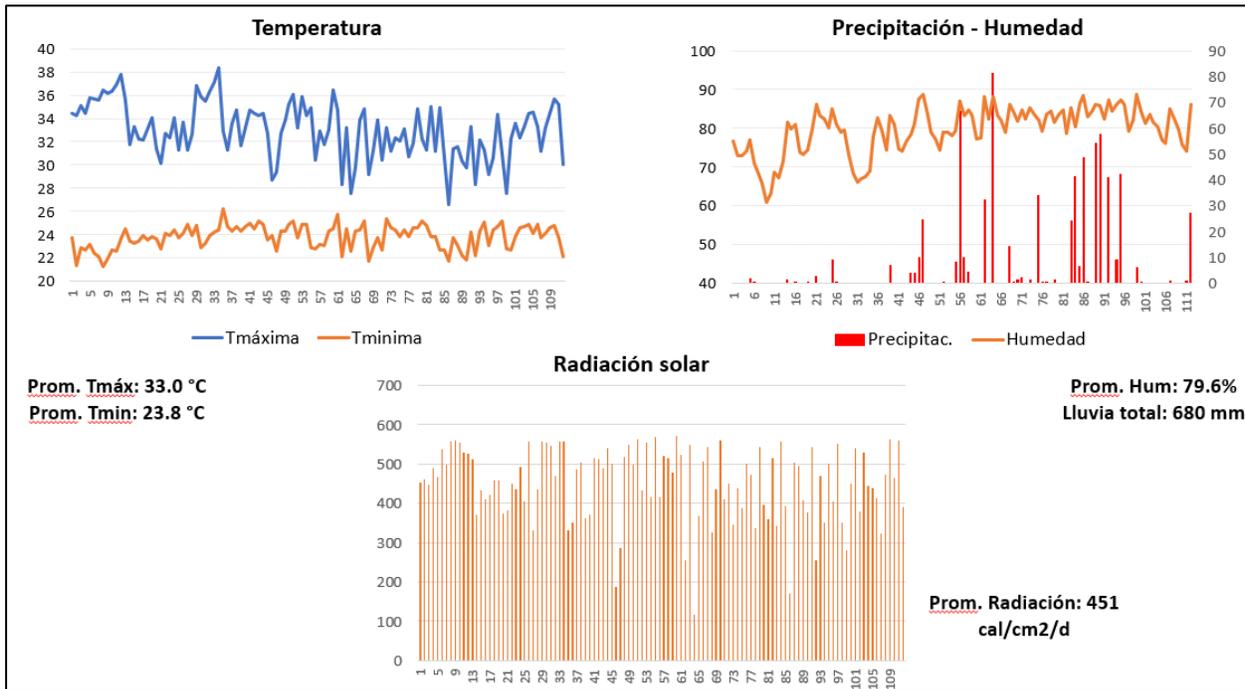
Manejo agronómico	Temporada I	Temporada II
Fecha de siembra (dd/mm/aa)	18/12/18	29/05/19
Fecha de germinación (dd/mm/aa)	26/12/18	07/06/19

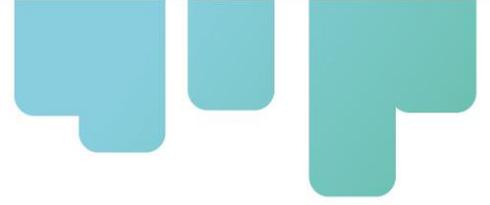


Manejo agronómico	Temporada I		Temporada II	
Tasa de fertilizante (kg N ha ⁻¹)	170		176	
# Fraccionamiento del fertilizante	4		5	
Fecha de aplicación del fertilizante (dd/mm/aa)	05/01/19 (0 days) 16/01/19 (11 days) 28/01/19 (23 days) 13/02/19 (39 days)		20/06/19 (0 days) 08/07/19 (18 days) 22/07/19 (32 days) 05/08/19 (46 days) 20/08/19 (61 days)	
Fraccionamiento del N (kg N ha ⁻¹)	05/01/19→23 (U+ME) * 16/01/19→45 (U+AS) * 28/01/19→45 (U+AS) 13/02/19→56 (U+AS)		20/06/19→41 (U+ME) 08/07/19→34 (U+AS) 22/07/19→45 (U+AS) 05/08/19→34 (U+AS) 20/08/19→23 (U+AS)	
Fechas de irrigación (dd/mm/aa)	AWD_{5cm} 04/02/19 04/03/19	AWD_{10cm} 05/02/19 05/03/19	AWD_{5cm}	AWD_{10cm}
			28/06/19 04/07/19 15/07/19 30/07/19 12/08/19 27/08/19 05/09/19 11/09/19 17/09/19 23/09/19	29/06/19 05/07/19 01/08/19 14/08/19 29/08/19 06/09/19 18/09/19 24/09/19
Cosecha (dd/mm/aa)	08/04/19		17/10/2019	

Urea (U), sulfato de amonio (AS), MicroEssentials (ME).

Grafica 1. Precipitación diaria, humedad, radiación solar y temperatura máxima y mínima medidas durante las dos temporadas de muestreo del 2020.

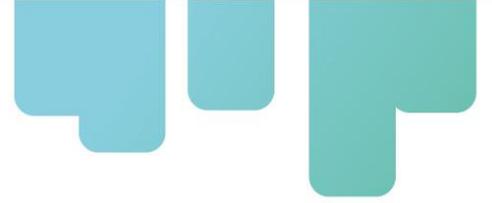




2. Modelo DNDC - Rice

El modelo DNDC-Rice está constituido por tres submodelos principales que simulan el clima del suelo, el crecimiento de los cultivos y la biogeoquímica del suelo. El submodelo del clima calcula la humedad, la temperatura y la concentración O_2 del suelo en función de las propiedades del suelo y las condiciones climáticas. El submodelo de crecimiento del cultivo simula la fisiología y la fenología del cultivo en función del entorno por encima y por debajo del suelo y en la disponibilidad de Nitrógeno. El crecimiento de los cultivos se retroalimenta al submodelo de clima del suelo a través de la absorción de agua y está vinculado al submodelo de biogeoquímica del suelo a través de la absorción de N y el suministro de C orgánico por parte de las plantas. El submodelo de biogeoquímica del suelo simula varios procesos biogeoquímicos en el suelo en función de las propiedades del suelo y el clima (Fumato et al., 2008). El flujo de CH_4 dentro del modelo se calcula mediante el submodelo de fermentación. Bajo condiciones anaeróbicas, el modelo calcula la producción de hidrógeno (H_2) y carbono orgánico disuelto (COD), que se utilizan como donantes de electrones para la posterior reducción de Manganeseo (Mn), hierro (Fe) y óxidos de azufre (S) y la producción de CH_4 . La producción de óxido nitroso lo calcula, mediante procesos de nitrificación y desnitrificación. La emisión de N_2O desde la superficie del suelo se calcula en función del contenido de N_2O del suelo, la porosidad del aire, la temperatura y el contenido de arcilla (Katayanagi et al., 2012). En este estudio, La validación del modelo DNDC-Rice, se llevó a cabo con base en toda la información registrada durante dos ciclos de ensayos de arroz que se desarrollaron en el Centro Experimental Las Lagunas, en Saldaña-Colombia. En los ensayos fue utilizada la variedad Fedearroz 67 y fueron evaluados tres tratamientos de riego: Convencional (inundación intermitente), el de riego y secado alterno (sigla en inglés: AWD) bajo dos niveles: 5 cm y 10 cm de profundidad de la lámina de agua bajo el manejo tradicional de la región para estimar las emisiones de CH_4 y N_2O .

La información registrada de biomasa, rendimientos, condiciones climáticas (temperatura, radiación solar, humedad y precipitación), lámina de agua, características fisicoquímicas del suelo



y manejo agronómico (nutrición, tipo de fertilizantes, número de riego y eventos de fertilización) que fueron utilizadas como inputs para realizar la validación del modelo son descrita a continuación:

2.1 Caracterización de la zona

- Localidad: Saldaña
- Latitud: 3.933
- Años simulados: 1 año
- Concentración atmosférica CO₂ = 540 ppm – valor promedio tomado de la información recolectada en campo en cada uno de los muestreos realizados durante el ciclo productivo.
- Concentración de N en la lluvia → 0.32 mg N L⁻¹.

2.2 Datos de suelo:

Textura: Franco Arenosa

Densidad aparente: (g cm³): 1.58

pH: 7.1

Fracción de arena: 59%

Fracción de limo: 30%

Fracción de arcilla: 12%

Porosidad del suelo: 38%

Punto de marchitez (0-1): 0.41

Capacidad de campo (0-1): 0.52

Contenido inicial de C orgánico en la superficie del suelo (0-5cm) (kg C/kg): 0.02

Temperatura inicial del suelo (°C)]--> 31.8

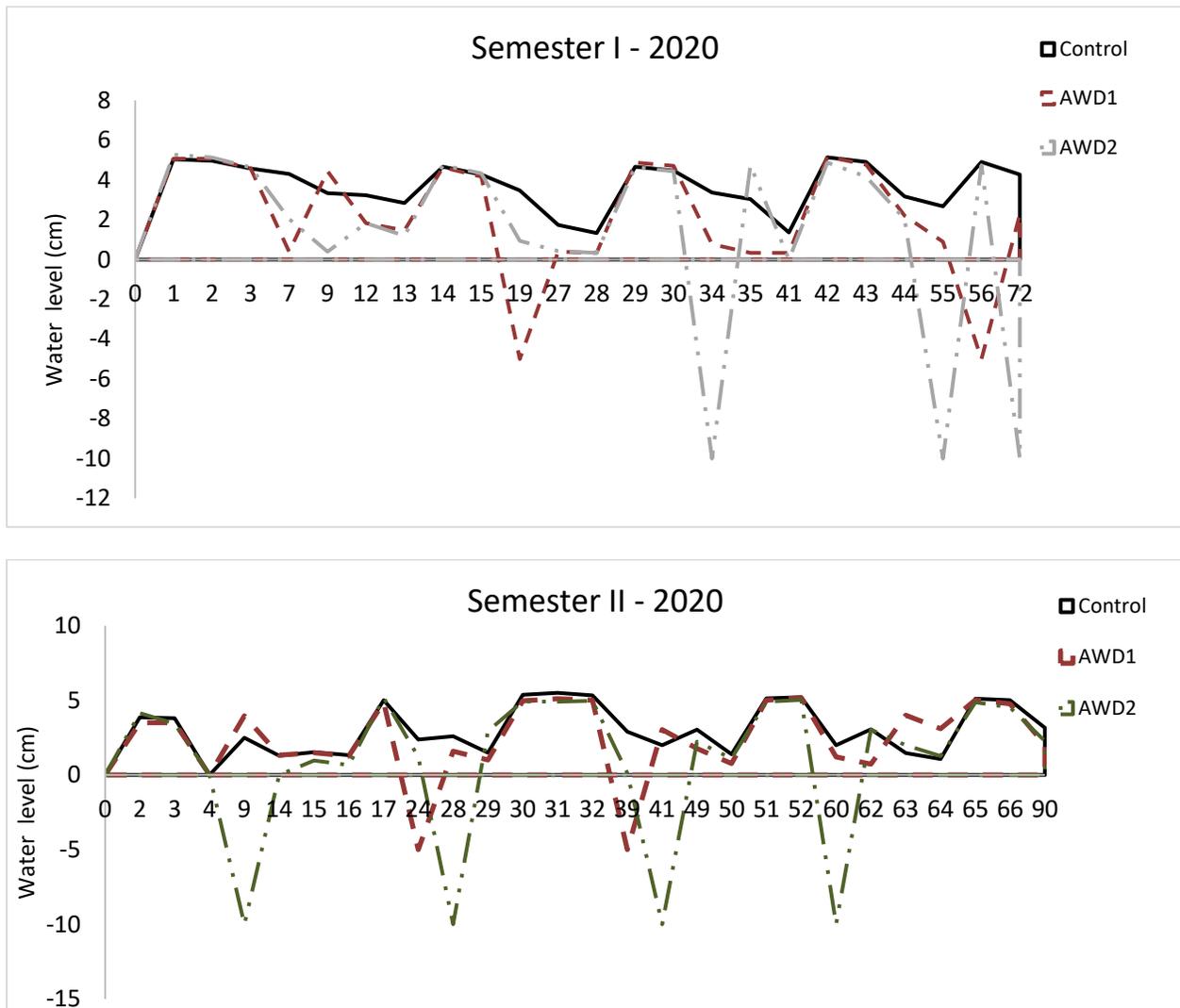
Esta información de suelo hace parte de los resultados de la línea base que se realizó para la caracterización de la zona de estudio donde se realizaron los ensayos de campo.

2.3 Niveles de agua

Esta variable es importante, debido a que permite determinar los momentos en los que el ciclo productivo de arroz es anaeróbico o aeróbico, condiciones que favorecen los procesos metanogénicos y metanotrofos, donde se produce mayor o menor emisiones de metano, respectivamente. En el gráfico 3, se observa el nivel del agua en el perfil de suelo para los dos ciclos de evaluación en cada uno de los tratamientos evaluados. El manejo de inundación



intermitente presenta una lámina de agua constante durante todo el ciclo productivo, excepto en los eventos de fertilización donde el nivel del agua es drenado cerca de capacidad de campo. Para los tratamientos AWD, la lámina de agua fue controlada hasta 5 y 10 cm por debajo de la superficie del suelo, para la aplicación nuevamente de la lámina de agua y el drenaje de la lámina de agua cerca de capacidad de campo y punto de marchitez permanente en las fechas de fertilización. Este parámetro permite diferenciar las condiciones de consumo de agua en cada uno de los tratamientos y determinar el impacto que tiene esta variable en las emisiones de gases bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas.



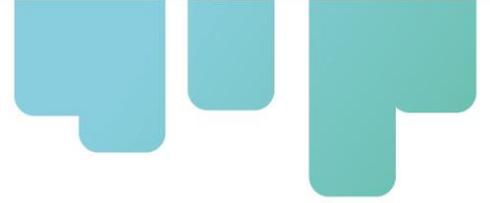
Grafica 3. Niveles de agua del suelo para cada tratamiento, en los dos primeros ciclos del proyecto. Saldaña, 2020-I y 2020-II.



3. Análisis estadístico

La variación relativa entre los valores observados y simulados para las emisiones de CH₄ y N₂O se determinó utilizando la siguiente ecuación de Katayanagi et al., (2012).

$$\text{Variación relativa (\%)} = \left[\frac{(\text{Valor simulado} - \text{valor observado})}{\text{Valor observado}} \right] * 100$$

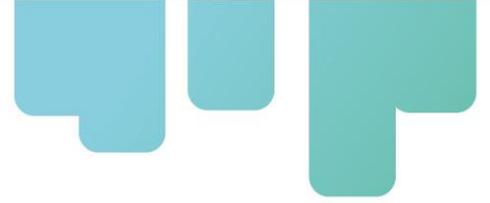


Resultados

Estimación de las emisiones de CH₄ y N₂O con DNDC – Rice.

En las gráficas 4 y 5, se presentan los datos de los flujos diarios de CH₄ cuantificados en campo y los estimados a través del modelo DNDC para los ciclos productivos del año 2020, bajo las condiciones de manejo agronómico descritas en las secciones anteriores. En las gráficas de los flujos diarios de CH₄, se observa que los valores cuantificados durante las temporadas del cultivo evaluadas son menores comparados con los estimados por el modelo. Los flujos diarios estimados por el modelo DNDC son ascendentes para el primer ciclo y descendentes para el segundo ciclo con emisiones por encima de 100 mg CH₄ – C m⁻² d⁻¹, donde no se presentan diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para ambos ciclos. La variación relativa entre los valores observados y estimados fue mayor al >>100% y el error cuadrático medio supera los valores de 100. Lo que demuestra que el modelo DNDC – Rice no responde a las condiciones climáticas y de manejo agronómico de los diferentes tratamientos evaluados, sobreestimando las emisiones de CH₄ en más del 100%. Lo que indicaría que los tratamientos AWD no tendrían ningún impacto sobre la reducción de emisiones de CH₄ contrario a los resultados obtenidos de manera experimental donde se obtuvo una reducción mayor al 100%.

Las emisiones diarias de N₂O cuantificadas a lo largo de los dos ciclos de evaluación no presentaron un aumento de las emisiones durante los eventos de fertilización, lo que demuestra que la humedad del suelo en los momentos de aplicación es una estrategia clave para la mitigación de este potente gas. Sin embargo, los valores estimados de emisiones para N₂O no presentan una diferencia significativa entre tratamientos para el primer ciclo y para el segundo ciclo las emisiones se fueron incrementando para los tratamientos AWD evidenciando diferencias entre el control (Gráficas 6 y 7). De acuerdo con estos resultados el modelo estarían indicando que no se presentan diferencias entre el manejo del agua para el primer ciclo donde la lámina de



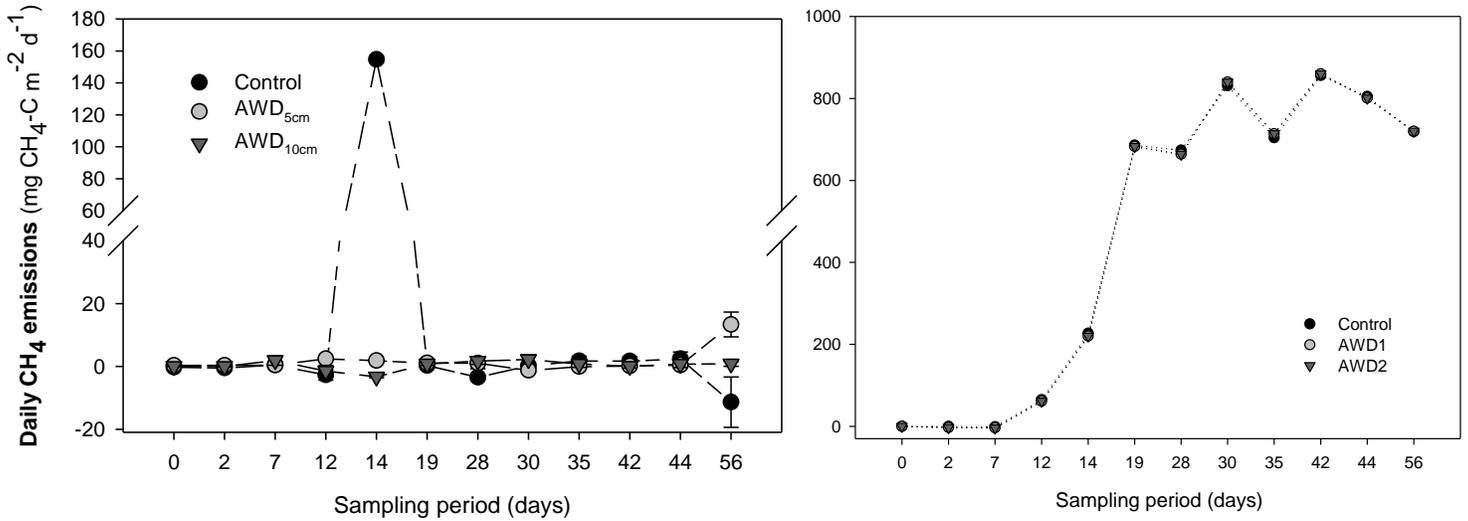
agua fue más difícil de controlar por el número de eventos de precipitación y para el segundo ciclo que fue más seco las emisiones para AWD se incrementaron indicando mayor potencial de mitigación en el tratamiento control, lo que contradice los resultados obtenidos en campo donde se obtuvo un porcentaje de reducción de emisiones cercano al 30%. Las emisiones observadas y cuantificadas presentaron una variación relativa demasiado alta, donde las emisiones son subestimadas en comparación con los datos medidos en campo. El modelo no responde a las condiciones de clima y manejo agronómico.

La sobreestimación de las emisiones de CH_4 y la subestimación de las emisiones de N_2O estimados por el modelo, posiblemente se deben a las condiciones de trópico bajo las cuales se desarrollaron los ensayos, cuyas condiciones climáticas pueden resultar más complejas y variables, lo que no permite reproducir con mayor precisión las emisiones de GEI con el modelo utilizado. A diferencia de los países de zona templada donde existen reportes de buen comportamiento de este modelo simulando emisiones en cultivos como maíz y arroz inundado (Pardo et al, 2015; Jiang et al., 2017).

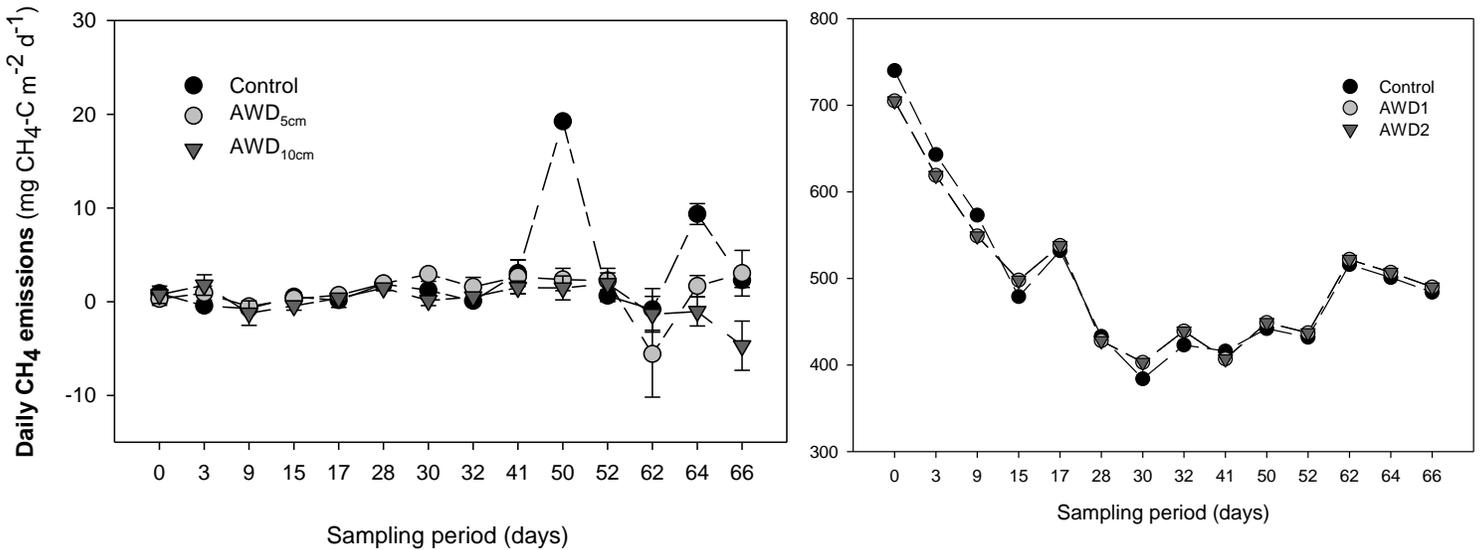
De acuerdo con estos resultados de simulación de los flujos diarios de GEI con el modelo DNDC, se sugiere el ajuste del modelo, para condiciones del trópico que permitan adaptar las reacciones de óxido – reducción de acuerdo con las características de manejo agronómico y de suelo de la zona de estudio, considerando la información de clima de más de 10 años para controlar mejor la dinámica de los procesos biogeoquímicos de los tres submodelos que conforman el modelo DNDC - Rice. Estas recomendaciones fueron sugeridas por los profesores Nobuko Katayanagi y Tamon Fumoto con experiencia en emisiones de GEI en arroz y validación del modelo bajo condiciones de manejo AWD. Actualmente, el equipo científico se encuentra trabajando en el ajuste de las reacciones y proceso biológicos que ocurre en el modelo para poder validarlo con % de variación menor al 100% y así estimar las emisiones de acuerdo con diferentes escenarios climáticos y de manejo agronómico de los sistemas productivos de arroz. Estimar los flujos diarios y acumulados con el modelo con esta variabilidad estaría sobre y subestimando los valores,



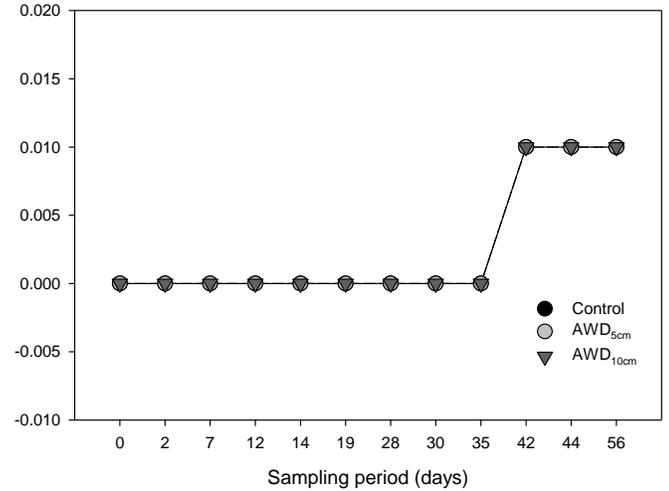
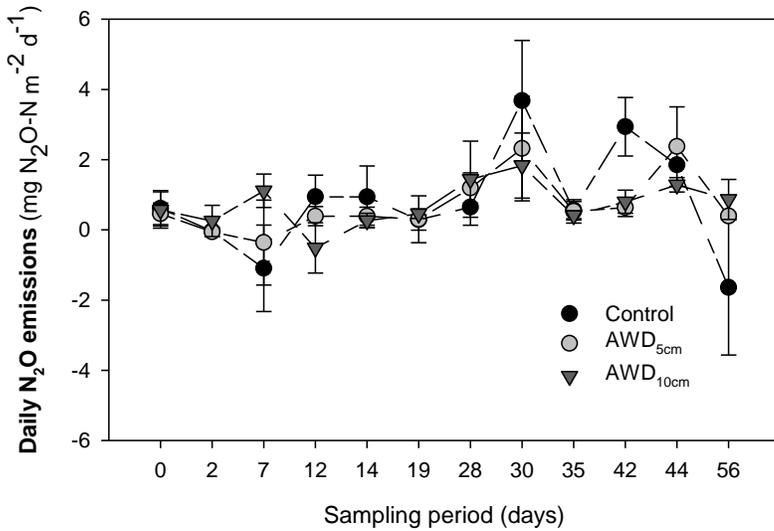
determinando que los tratamientos AWD no tendrían diferencias significativas comparado el manejo tradicional bajo inundación.



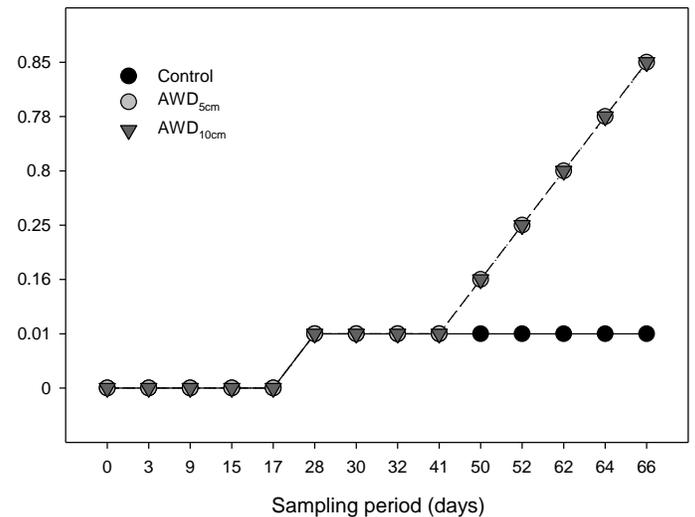
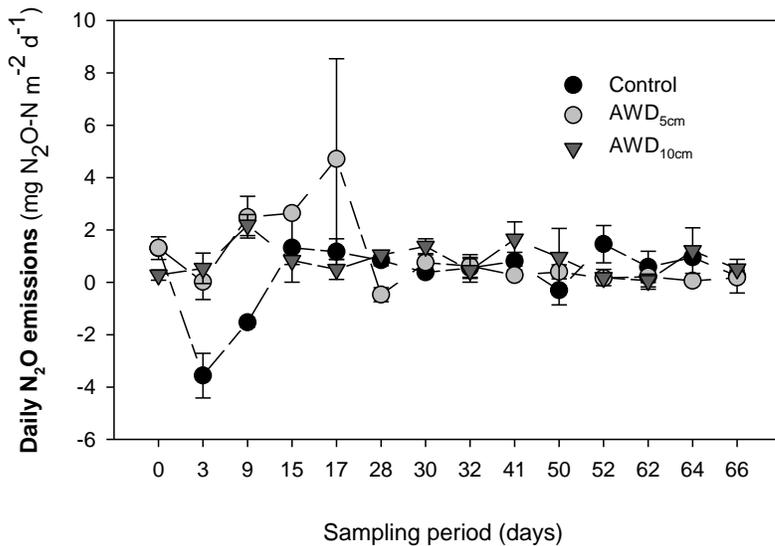
variedad Fedearroz 67 bajo tres tratamientos de riego. Saldaña, 2020-I.



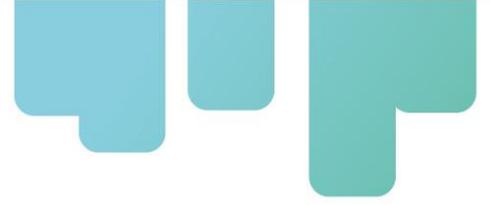
Grafica 5. Emisiones de metano observadas (izquierda) y simuladas (derecha) de parcelas de la variedad Fedearroz 67 bajo tres tratamientos de riego. Saldaña, 2020-II.



Grafica 6. Emisiones de óxido nitroso observadas (izquierda) y simuladas (derecha) de parcelas de la variedad Fedearroz 67 bajo tres tratamientos de riego. Saldaña, 2020-I.



Grafica 7. Emisiones de óxido nitroso observadas (izquierda) y simuladas (derecha) de parcelas de la variedad Fedearroz 67 bajo tres tratamientos de riego. Saldaña, 2020-II.



Conclusiones

Este objetivo es el primer intento de validación de datos obtenidos en campo con el modelo DNDC – Rice a través del uso de datos de flujos diarios de CH_4 y N_2O cuantificados en cultivos de arroz bajo inundación intermitente y riego bajo la tecnología AWD. El modelo no predice bien las emisiones de CH_4 y N_2O para las dos temporadas de monitoreo bajo los diferentes tratamientos en el manejo del agua dentro del cultivo, mostrando diferencias significativas entre los valores cuantificados y estimados. Esto pudo ser consecuencia de la fluctuación del nivel del agua durante los ciclos productivos y el efecto del clima en el caso de las emisiones de CH_4 . Para las emisiones de N_2O será necesario la modificación del modelo para las tasas de nitrificación y desnitrificación bajo las condiciones del suelo del lugar de estudio y las condiciones de aireación en los momentos de drenaje.



Referencias Bibliográficas

Fumoto, T., Kobayashi, K., Li, C., Yagi, K.; Hasegawa, T. (2008). Revising a process-based biogeochemistry model DNDC to simulate methane emission from paddy fields under various residue managements. *Global Change Biology*, 14, 382–402.

Jiang, Z., Yin, S., Zhang, X., Li, C., Shen, G., Zhou, P., Liu, C. (2017). Research and Development of a DNDC Online Model for Farmland Carbon Sequestration and GHG Emissions Mitigation in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1493. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121493>

Katayanagi, N., Furukawa, Y., Fumoto, T., & Hosen, Y. (2012). Validation of the DNDC-Rice model by using CH₄ and N₂O flux data from rice cultivated in pots under alternate wetting and drying irrigation management, *Soil Science and Plant Nutrition*, 58, 360-372, DOI: 10.1080/00380768.2012.682955

Oo, A., Sudo, S., Fumoto, T., Inubushi, K., Ono, K., Yamamoto, A., Bellingrath-Kimura, S., Win, K., Umamageswari, Ch., Bama, K., Raju, M., Vanitha, K., Elayakumar, P., Ravi, V., Ambethgar, V. (2020). Field validation of the DNDC-Rice model for methane and nitrous oxide emissions from double-cropping paddy rice under different irrigation practices in Tamil Nadu, India. *Agriculture* 10, 355; doi:10.3390/agriculture10080355.

Pardo, G., Recio, J., Sanz-Cobena, A., Del Prado, A. (2015). Evaluación de los modelos DayCent y DNDC para predecir las emisiones de óxido nitroso en un cultivo de maíz en regadío. En: *Red científica de mitigación de emisiones de GEI en el sector agroforestal*. (pp. 43). Madrid, España: Editorial Remedia.

Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org