

MÁS ARROZ CON MENOS EMISIONES Y MENOR CONSUMO DE AGUA

Producto 1. Medición de impacto de la Tecnología AWD a nivel experimental.

Elizabeth Heros; Juan Díaz; Gabriel Donoso; Viviana Becerra;
Gabriel Garcés Varón; Nelson F. Amézquita V.

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.

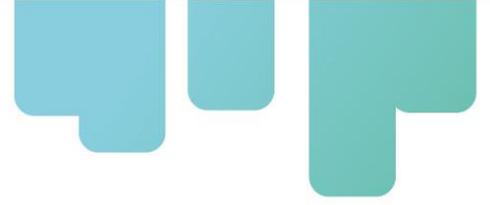
El presente documento ha sido preparado por Elizabeth Heros, Gabriel Garcés, Nelson Amézquita, Gabriel Donoso, Viviana Becerra.

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.



Tabla de Contenidos

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 4 |
| Antecedentes..... | 5 |
| Objetivos..... | 7 |
| Resultados..... | 12 |
| Indicadores Técnicos | 43 |
| Hallazgos Destacados..... | 46 |
| Historias en el campo..... | 47 |
| Discusión | 48 |
| Conclusiones | 52 |
| Recomendaciones..... | 53 |
| Referencias Bibliográficas..... | 54 |
| Anexos | 56 |
| Instituciones participantes | 57 |

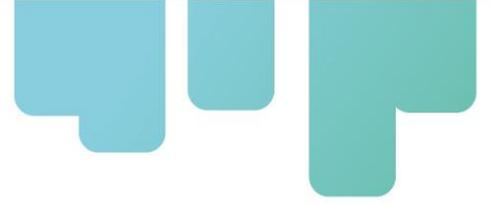


Resumen

El uso ineficiente del recurso hídrico, así como el requerimiento de reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), hacen necesario explorar e implementar nuevas alternativas tecnológicas en la producción de arroz. Durante el período 2018-2020 fueron desarrollados los ensayos de investigación del proyecto en los tres países, Colombia, Perú y Chile, con el fin de evaluar el efecto de dos tratamientos del sistema AWD (alternate wet-dry) sobre el consumo de agua, la productividad del cultivo del arroz y la emisión de GEI, comparado con el riego convencional bajo inundación. El tratamiento AWD1 consistió en reponer el agua de riego cuando la lámina de agua alcanzara 5 cm de profundidad en el perfil de suelo, mientras que AWD2 representaba una profundidad de 10 cm. La evaluación de consumo de agua se realizó con canaletas y estructuras aforadoras, mientras que la medición de GEI se llevó a cabo con el método de cámaras estáticas. Los resultados mostraron reducciones altamente significativas del consumo de agua con los tratamientos AWD, entre 3.5% y 42.4% con respecto al testigo inundado, sin detrimento significativo del rendimiento en la mayoría de los casos. En la mayoría de los ensayos se alcanzaron importantes reducciones en las emisiones de metano y óxido nitroso en los tratamientos AWD con respecto a las condiciones de inundación, aunque con variaciones entre los países y los ciclos evaluados. El tratamiento AWD1 (reposición del agua cuando se encuentra a 5 cm de profundidad en el perfil de suelo) se muestra como el tratamiento más viable para ser implementado por parte de los productores de arroz.

Palabras Clave:

Agua, Arroz, Gases de Efecto Invernadero, Riego



Antecedentes

El arroz como cultivo básico ha adquirido mayor importancia en los últimos años en América Latina (AL) reflejándose en el aumento del consumo per cápita (GRiSP, 2013). Los agricultores familiares (<10 ha) en Colombia, Chile y Perú, cuyos medios de subsistencia se basan en la producción de arroz, enfrentan una variedad de desafíos, uno de los más apremiantes es el aumento de la variabilidad climática y la consiguiente disminución en la disponibilidad de agua durante ciertas etapas del cultivo del arroz. De acuerdo con González et al, (2010), para Colombia se estima que son empleados 16000 m³ de agua por ha y por cosecha para el mantenimiento del cultivo de arroz en sus diferentes etapas. En Chile y Perú, no se tiene una estimación precisa del uso del agua, pero se indica que el cultivo utiliza un rango de 14000-18000 y 12000- 17500 m³, respectivamente. Por otra parte, la práctica convencional de inundación continua durante el cultivo da lugar a sistemas de arroz que tienen consecuencias ambientales negativas significativas, relacionadas con el aumento de las emisiones de metano (CH₄). En consecuencia, el potencial de calentamiento global (GWP) asociado a los sistemas de producción de arroz inundado es mayor que el de otros cultivos de cereales. Específicamente, el cultivo de arroz es responsable de 2027, 1880 y 104 Gg CO₂eq en, Colombia, Perú y Chile respectivamente (FAOSTAT, 2016).

La práctica de manejo del riego que incluye períodos alternados de inundación y secado durante las fases de crecimiento no crítico del arroz (denominado internacionalmente como AWD por sus siglas en inglés (“Alternate Wetting and Drying”), aumenta la eficiencia en el uso del agua (disminuir el uso de agua por 23%) y a la vez reduce las emisiones de metano (60-87%) sin afectar rendimientos (Bouman and Tuong, 2001; LaHue et al., 2016; Carrijo et al., 2017). Esta práctica de riego inteligente de alternancia de suelo mojado y seco permite una mayor resiliencia de los productores familiares a las variaciones climáticas y aunque ha sido ampliamente evaluada en Asia, aún las investigaciones robustas en buena parte de América Latina son escasas, las cuales se concentran principalmente en Brasil (Moterle et al., 2013; Zschornack et al., 2016). Varios científicos, han estimado que al año 2025, 15 a 20 millones de hectáreas de los ecosistemas de riego, tendrían problemas por diferentes niveles de escasez de agua (IRRI, 2013).

Como sucede con la mayoría de las prácticas de manejo, el desempeño de AWD puede ser altamente específico a las condiciones ambientales donde se implementa (dependiendo de factores edáficos y climáticos, entre otros). El cambio en el manejo del riego es una práctica de difícil adopción por los productores, debido a que es un factor decisivo para lograr buenos rendimientos. Por lo tanto, es necesario evaluar y adaptar el método a las condiciones específicas de cultivo en cada país, demostrando su factibilidad sin afectar la producción final, antes de su implementación en escala productiva comercial.

Aprendiendo de la experiencia en diversos lugares de Asia donde la tecnología no ha sido



implementada debido a que hay factores muy específicos a considerar como los mencionados anteriormente, en Colombia se están desarrollando mapas agroclimáticos óptimos para la aplicación AWD, lo cual ampliará el desarrollo del componente espacial indicando las zonas agroclimáticas con condiciones idóneas para la aplicación del sistema (Cadena 2016); post-proyecto se espera que en los demás países se pueda generar un enfoque que facilite la incorporación de esta tecnología con las experiencias generadas a lo largo de este proyecto.

El objetivo del proyecto es validar localmente los beneficios de una producción eficiente, competitiva y con un menor impacto ambiental bajo la implementación de AWD moderado e intensivo en cultivos de arroz en fincas de pequeños productores en Colombia, Perú y Chile.

Los objetivos específicos son: 1) Evaluar la eficiencia del recurso hídrico, rendimientos y emisiones de GEI con diferentes estrategias de manejo de agua, 2) cuantificar la relación costo beneficio de diferentes tratamientos de manejo del recurso hídrico, 3) modelar las emisiones de GEI de los diferentes tratamientos evaluados en diferentes escenarios de clima y condición de suelo, 4) Realizar actividades de extensión sobre las recomendaciones surgidas del proyecto, dirigidas a los productores familiares de arroz.

El proyecto se centra en mejorar la agricultura familiar. Específicamente AWD representa una práctica innovadora de gestión del agua que puede contribuir a la adaptación y mitigación del cambio climático en las fincas familiares de arroz y a la vez apoyar una intensificación sostenible de la gestión del agua expresada en kg de arroz producidos por metro cúbico utilizado. Una reducción de los costos de producción y un ahorro en el consumo de agua podría incrementar la competitividad de los sistemas de producción de arroz e incrementar el área de riego resultando en un mayor ingreso para los agricultores familiares. La capacidad de producir arroz con menos agua aumenta la resiliencia de la producción de arroz bajo condiciones climáticas más secas y/o más variables, en consecuencia, aumenta su sostenibilidad. Por lo tanto, nuestro proyecto está perfectamente alineado con la misión de FONTAGRO, abarcando temas como adaptación y mitigación, impacto socioeconómico, impacto productivo, gestión de agua y suelos.



Objetivos

General:

Validar localmente los beneficios de una producción eficiente, competitiva y con un menor impacto ambiental bajo la implementación de la tecnología AWD, en dos niveles moderado e intensivo, en cultivos de arroz en fincas de pequeños productores en Colombia, Perú y Chile.

Específicos:

- Evaluar la eficiencia del recurso hídrico bajo la tecnología AWD.
- Evaluar el efecto de la tecnología AWD sobre los rendimientos del arroz.
- Evaluar el efecto de la tecnología AWD sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.



Metodología

En general, los ensayos de investigación del proyecto consistieron en la evaluación del efecto de tres regímenes de manejo del agua de riego (convencional, AWD1 y AWD2) sobre el consumo de agua, el rendimiento y la emisión de gases de efecto invernadero. Colombia realizó cuatro ciclos de ensayos, mientras que Perú y Chile realizaron dos cada uno. En los tres países se registraron algunas particularidades, las cuales se presentan a continuación:

En Colombia, el estudio fue conducido en el Centro Experimental Las Lagunas, del municipio de Saldaña-Tolima (Figura 1). Los experimentos fueron establecidos en suelos franco-arenosos con el 59% de arenas, 30% de limos y 12 % de arenas.

Diseño experimental:

El diseño utilizado fue de bloques completamente al azar con cuatro réplicas y un área de 1600 metros cuadrados. Los tratamientos aplicados involucraron el manejo del recurso hídrico (riego convencional y alterno-AWD 1 y 2). La cantidad de nitrógeno utilizada fue de 180-200kg ha⁻¹ durante los ciclos de evaluación, en la variedad FEDEARROZ 67.

La descripción de los tratamientos de riego es la siguiente:

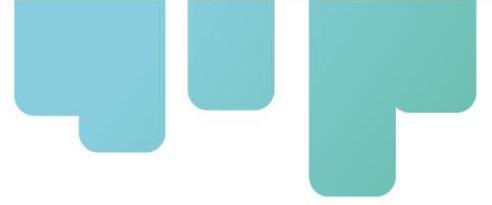
- Control: Riego convencional – inundado
- AWD1: Nivel del agua a 5 cm del subsuelo
- AWD2: Nivel del agua a 10 cm del subsuelo

En Perú, el ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Vista Florida del Instituto Nacional de Innovación Agraria, INIA, con coordenadas 79°46'49" longitud Oeste y 6°43'34" latitud Sur a 30 m.s.n.m del Distrito de Picsi, Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque; en el lote 5-2. El suelo donde se instaló el experimento era de clase textural arcillosa pH 7.56, materia orgánica media (1,78%), contenido de fósforo alto (17.9 ppm) y contenido de potasio alto (425 ppm).

Los tratamientos fueron:

- T1 = Riego de Inundación + 1 periodo de ahorro de agua de 5 días sin inundación durante el periodo del cultivo
- T2= Riego de Inundación + 1 periodo de ahorro de agua de 10 días sin inundación durante el periodo del cultivo
- T3= Riego de Inundación continua durante el desarrollo del cultivo

Para el ensayo realizado en el año 3, los tratamientos AWD fueron aplicados teniendo en cuenta el valor de los piezómetros. 5 cm de profundidad para AWD1 y 10 cm de profundidad para AWD2.



El diseño correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Sin embargo, debido a problemas en el manejo de agua, una repetición se eliminó y el experimento se analizó con base en tres repeticiones.

En Chile, el ensayo se realizó en el Campo Experimental Francisco Jiménez, ubicado en la Región del Maule. La variedad usada en el experimento corresponde a Zafiro-INIA. La siembra se realizó el 17 de octubre, en dos sistemas de siembra: 1) Al voleo con semilla pre-germinada y 2) Siembra directa (con un tractor pequeño). La fertilización se realizó de acuerdo con el análisis de suelo.

Diseño experimental:

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, donde cada parcela tuvo una superficie de 24 m², con cuatro repeticiones. El riego se realizó con mangas de 30 cm de diámetro, a la cual se le insertaron compuertas de riego (BG, PYR continental), para uniformar el llenado de los cuadros. Además, se instaló un sistema de medición de agua con un medidor análogo de ¾ de pulgada.

Medición del agua utilizada:

En los tres países y durante todos los ciclos de ensayos (4 en Colombia y 2 en Perú y Chile) se contó con canaletas y estructuras aforadoras que permitieron registrar el caudal de agua empleado en cada riego y para cada tratamiento, para la realización de los cálculos posteriores y la estimación del consumo de agua de riego en cada uno de los tres tratamientos evaluados.

De igual forma, en cada estación experimental se contó con el registro de la información meteorológica para disponer del dato de cantidad de precipitación recibida por los ensayos en cada ciclo. De esta manera, la suma del caudal de agua utilizado y la cantidad de precipitación recibida constituye el total de agua utilizada en cada ensayo de investigación.

Estimación del rendimiento de grano:

En cada parcela de los diferentes ensayos se estimó el rendimiento de grano promedio a partir el área cosechada en cada unidad experimental. En el momento del pesaje de las muestras, se registró la correspondiente humedad de grano y los resultados fueron expresados como arroz paddy seco (14% de humedad).

Mediciones y análisis de Gases de Efecto Invernadero.

Los muestreos de gases se realizaron utilizando con la metodología común para los tres países participantes del proyecto, al menos una vez por semana. Cada vez que se realiza algún manejo



agronómico (control de malezas y parcialización del nitrógeno), se realizó mediciones, un día antes y tres días después de cada fertilización y cuando se cumplen los criterios de los tratamientos AWD1 y AWD2 (niveles de agua) y semanalmente después de cada evento utilizando el método de la cámara cerrada estática (Bayer et al., 2014).

Cada cámara consistía en una base y una parte superior de poliestireno con un volumen de 250 litros aproximadamente (Arenas, 2015). Las bases se introdujeron 0.05 m en el suelo antes de las inundaciones permanentes y alternas, se dejaron en el suelo durante todo ciclo del cultivo. Cada base tenía un fondo abierto y canales (orificios) en los lados para facilitar el flujo libre de agua de riego en la temporada de arroz. Cada base cubría tres plantas de arroz. Se consideró el volumen de la cámara al estimar todas las emisiones de GEI. Cada parte superior de la cámara tenía un puerto de muestreo, un termómetro de acero inoxidable y un ventilador con batería para circular y homogeneizar el aire dentro de la cámara (Bayer et al., 2014). El cierre de la cámara y el muestreo de gas inicial comenzaron a las 8:00 a.m., seguido de cinco muestreos de aire a intervalos de 15 minutos (Bayer et al., 2014). Se extrajeron muestras de gas con jeringas de polipropileno, transferidas a los viales al vacío de 10 ml de capacidad y analizadas en el laboratorio de Gases de Efecto invernadero en CIAT para analizar CH₄ y N₂O en un cromatógrafo de gases (GC-2014 Shimadzu) equipado con detectores de ionización de llama y captura de electrones.





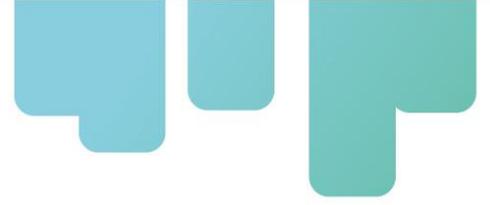
Fotografía 1. Ensayo tercer ciclo de evaluación de la tecnología AWD en Colombia.



Fotografía 2. Instalación de canaleta tipo Parshall. Perú.



Fotografía 3. Instalación de piezómetros en los tratamientos. Perú.



Resultados

Consumo de agua y rendimiento:

Colombia:

Fueron llevados a cabo cuatro ciclos de evaluación en condiciones experimentales, bajo el diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones (3 en el primer ciclo), los tratamientos de ahorro de agua correspondieron a contenido de agua en el suelo por debajo de 5 cm de la superficie (AWD 1) y 10 cm por debajo de la superficie (AWD 2), comparada con el manejo tradicional en la zona que corresponde a inundación permanente de la variedad FEDEARROZ 67, ampliamente utilizada por agricultores de la zona.

Para el primer ciclo del proyecto, se logró una reducción en la cantidad de agua utilizada de 18.9% y 28.7% para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente, con respecto al testigo inundado, que utilizó un total de 16063 m³ a lo largo del ciclo de cultivo (Gráfico 1).

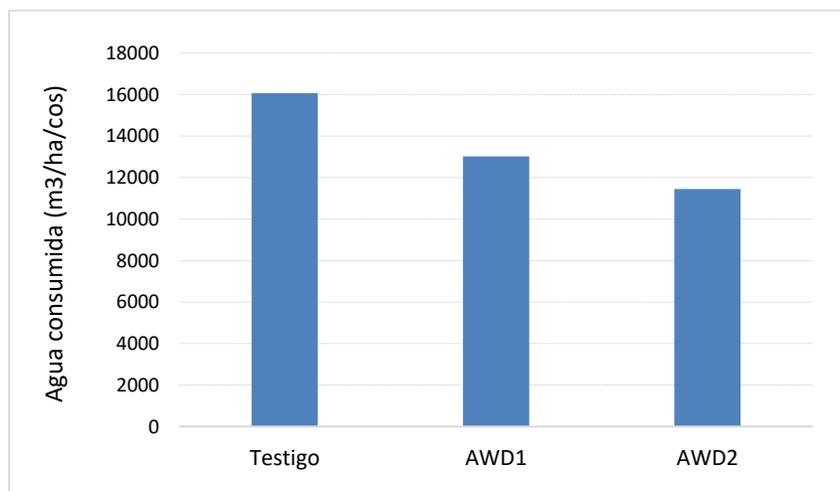


Gráfico 1. Consumo de agua de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 1. Saldaña, 2018B.

La cantidad de agua utilizada comprende tanto los aportes de agua de riego como los recibidos por la precipitación en la zona durante el tiempo del ensayo. Para el primer ciclo, la cantidad total de precipitación que se registró fue el equivalente a 6803 m³/ha.



Los rendimientos registrados en el ciclo 1 en Colombia, se presentan en la gráfica 2. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

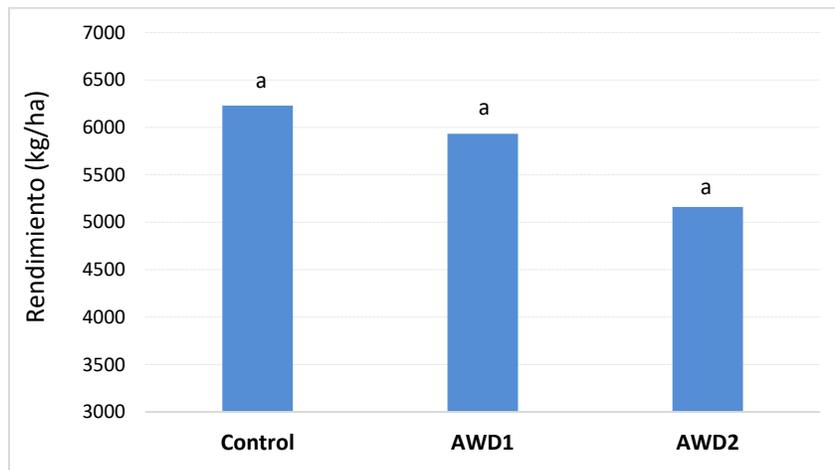


Gráfico 2. Rendimiento de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 1. Saldaña, 2018B.

Para el segundo ciclo de ensayos en Saldaña, las reducciones en la cantidad de agua utilizadas alcanzaron el 29.0% y el 29.6% para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente (Gráfica 3). La cantidad total de agua utilizada por el testigo inundado fue de 14281 m³/ha, de los cuales 2159 correspondieron a precipitaciones durante el ciclo del ensayo.

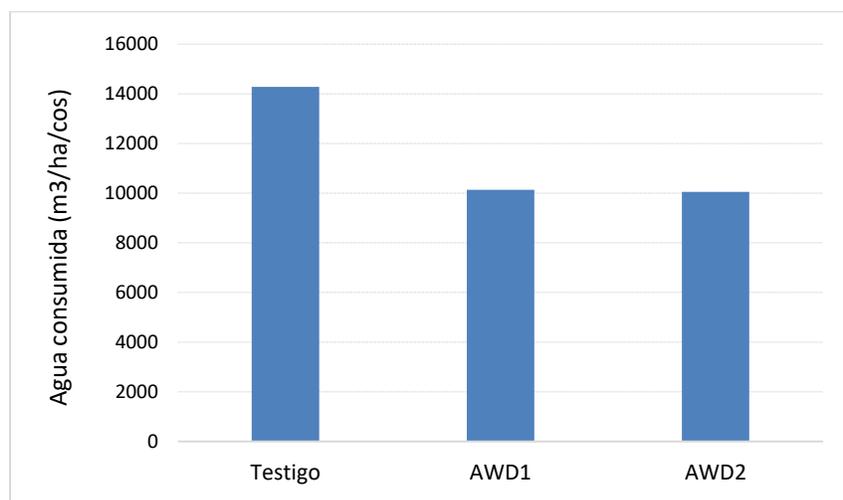


Gráfico 3. Consumo de agua de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 2. Saldaña, 2019A.

En el segundo ciclo del proyecto sí se registraron diferencias estadísticas en cuanto a la variable Rendimiento (Gráfica 4). El tratamiento convencional presentó diferencias estadísticas con respecto al tratamiento AWD1, pero fue estadísticamente igual al tratamiento AWD2.

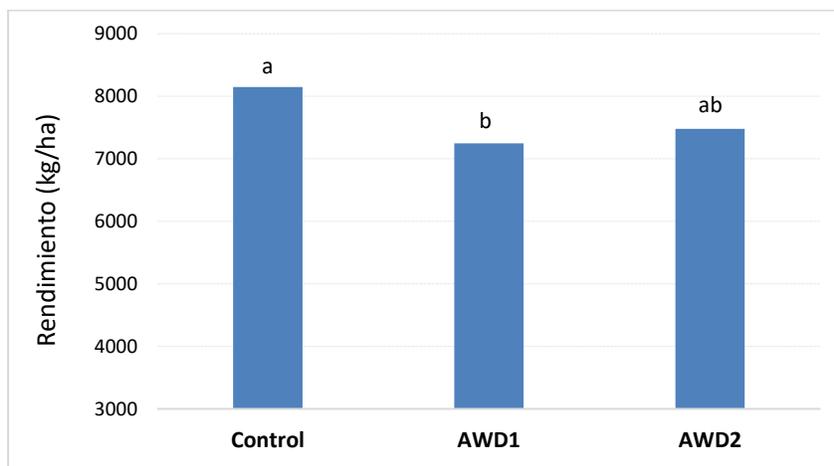


Gráfico 4. Rendimiento de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 2. Saldaña, 2019A.

Para el tercer ciclo, el manejo tradicional del riego en el cultivo de arroz para la zona en estudio demandó un total de 13041 metros cúbicos de agua (14 momentos de riego durante la cosecha); de esa cantidad, 1484 correspondieron a las precipitaciones del período (Gráfica 5). El ahorro fue del 16.9% y el 29.0% para la cantidad total de agua utilizada, para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente.

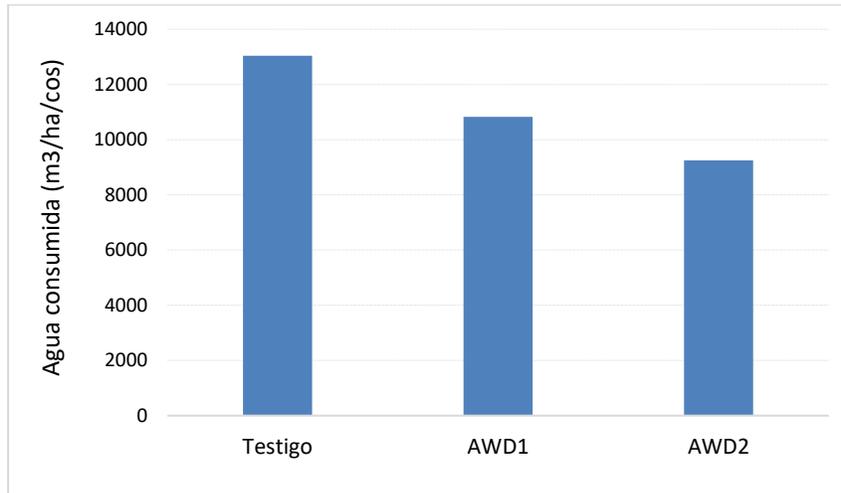


Gráfico 5. Consumo de agua de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 3. Saldaña, 2019B.

En cuanto al rendimiento de arroz paddy seco, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas, es decir, ante el significativo ahorro de agua de riego que permite la tecnología AWD, es posible con un alto grado de probabilidad cosechar la misma cantidad de arroz que al utilizar altos volúmenes de agua a la cosecha mediante el método tradicional de riego en la zona de Saldaña (Gráfica 6).

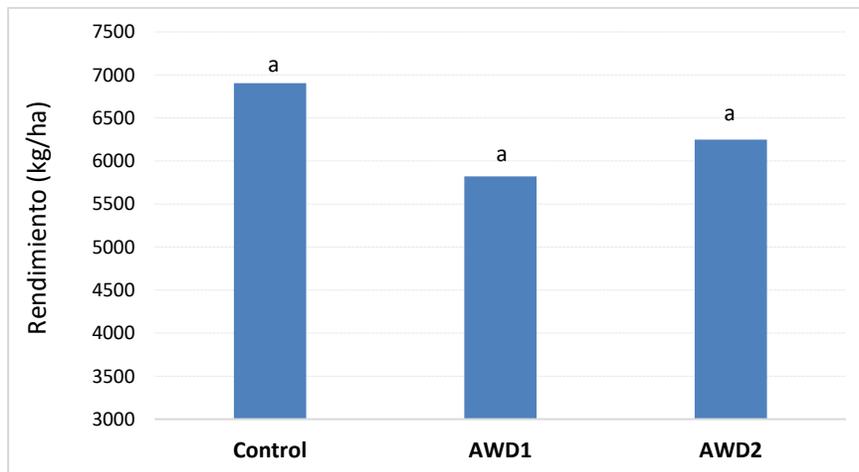


Gráfico 6. Rendimiento de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 3. Saldaña, 2019B.

El cuarto ciclo de ensayo arrojó un ahorro importante de agua para los tratamientos AWD con



respecto al testigo: el ahorro registrado fue de 50.2% y 56.3% para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente (Gráfica 7). El consumo total de agua del tratamiento testigo fue de 21995 m³ por hectárea en todo el ciclo, de los cuales, 5436 correspondieron a las precipitaciones registradas durante el período del ensayo.

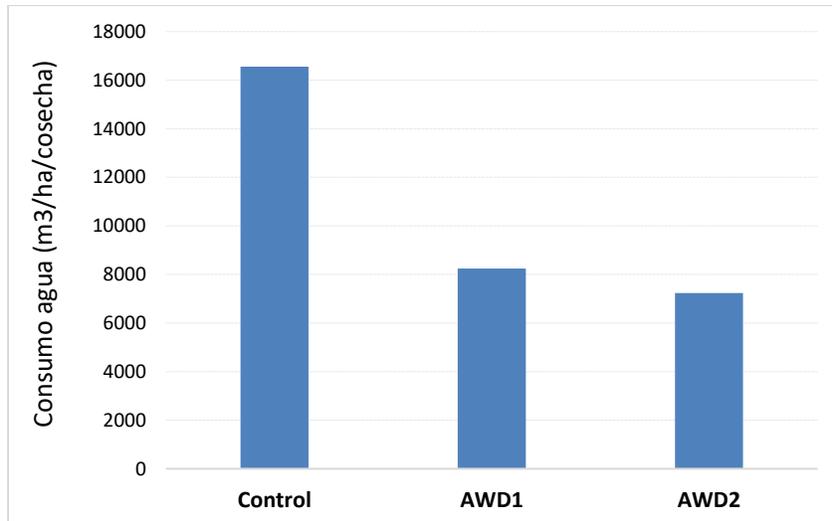


Gráfico 7. Consumo de agua de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 4. Saldaña, 2020A.

Los rendimientos no registraron diferencias significativas para los tratamientos evaluados. La reducción en los volúmenes de agua no afectó de manera significativa la expresión del potencial productivo del arroz (Gráfica 8).

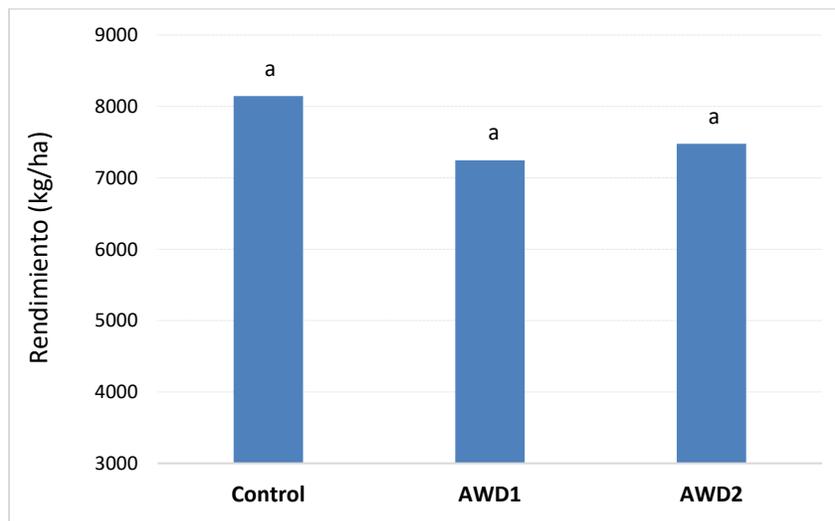


Gráfico 8. Rendimiento de la variedad Fedearroz 67 sometida a tres alternativas de manejo del riego. Ciclo 4. Saldaña, 2020A.

Chile:

Los datos generados de la primera temporada 2018-2019 fueron analizados. Las variables respectivas corresponden a el rendimiento, calidad de grano, índice de cosecha y productividad del agua, datos que conformaron la tesis de un estudiante de Agronomía de pregrado.

Durante la pandemia, el autosampler no se pudo reparar, lo mismo que el mandato institucional fue cerrar laboratorios y hacer teletrabajo. De acuerdo al Laboratorio de INIA Remehue, quedan pendientes alrededor de 6 fechas de muestreo de la temporada 2019-2020.

Se esperan completar los análisis en las primeras semanas de enero para generar los informes asociados, a las muestras analizadas. Con las restricciones de ingreso al INIA Remehue y de jornada laboral asociadas al estado de pandemia se ha tratado de avanzar lo máximo posible para responder a con las actividades comprometidas.

A continuación, se presentan los resultados preliminares del uso de agua y rendimiento para el ensayo (tabla 1 y 2).

| Sistema de siembra | Tratamiento | Uso de Agua (m³ ha⁻¹) | Rendimiento en grano (t ha⁻¹) |
|---------------------------|--------------------|--|---|
| Pregerminado | Control | 20987 | 9.60 |
| | AWD1 | 16085 | 11.33 |
| | AWD2 | 14924 | 7.66 |
| Siembra Directa | Control | 13833 | 9.60 |
| | AWD1 | 13184 | 9.85 |
| | AWD2 | 10368 | 8.76 |

Tabla 1. Resultados preliminares de uso de agua (m³ ha⁻¹) y rendimiento en grano (t ha⁻¹), bajo condiciones experimentales. Temporada 2018-2019. Ciclo 1



| Sistema de siembra | Tratamiento | Uso de Agua ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) | Rendimiento en grano (t ha^{-1}) |
|------------------------|-------------|---|---|
| Pregerminado | Control | 20987 | 8.19 |
| | AWD1 | 16085 | 7.06 |
| | AWD2 | 14924 | 5.93 |
| Siembra Directa | Control | 13833 | 8.73 |
| | AWD1 | 13184 | 7.76 |
| | AWD2 | 10368 | 6.65 |

Tabla 2. Resultados preliminares de uso de agua ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) y rendimiento en grano (t ha^{-1}), bajo condiciones experimentales. Temporada 2019-2020. Ciclo 2



Figura 1. Ensayos de pregerminado y siembra directa en Parral. Temporada 2019-2020

Perú:

Para la realización del ensayo se probaron tres tratamientos, donde cada uno se conformó por 24 puntos de muestreo o réplicas con un área de 10 m^2 . (Tabla 3)

Para comparar el efecto de los tratamientos se utilizó la prueba “t de Student” para muestras independientes a un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0,05$). El cálculo del estadístico t de la prueba se determinó mediante la siguiente ecuación:

Se estudió la respuesta del cultivar IR-43 en base a dos formas de riego (Tabla 3): la inundación permanente y el humedecimiento y secado alternado del suelo (AWD). El área de la parcela de cada tratamiento fue de 245 m^2 ($24.5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$) y su área neta de cosecha fue de 72 m^2 (3 m^2 en cada uno de los 24 puntos de muestreo por parcela).

Los resultados de la prueba t de Student a un nivel de significación de 0.05 (Tabla 3), indican que con la aplicación del riego por inundación continua se obtiene un rendimiento de arroz cáscara significativamente superior a los alcanzados con los otros dos regímenes de riego. El rendimiento alcanzado con el riego por inundación continua fue de $10.71 \text{ ton. ha}^{-1}$, el cual superó en 9.1 % ($0.98 \text{ ton. ha}^{-1}$) y 22.9% ($2.45 \text{ ton. ha}^{-1}$) a los obtenidos con AWD de 5 y 10 cm con descenso del nivel de agua debajo de la superficie de suelo y entre rendimientos de AWD 5 Y AWD 10 cm, la diferencia fue de $1.47 \text{ ton. ha}^{-1}$.



| Tratamientos | Rendimiento t ha-1 |
|---|--------------------|
| T1 : Inundación continua | 10.71 a |
| T2: AWD con 5 cm de descenso del agua por debajo del nivel de suelo | 9.73 b |
| T3: AWD con 10 cm de descenso del agua por debajo del nivel de suelo | 8.26 c |

Prueba de Student, significación al 5%

Tabla 3: Rendimiento de arroz cascara (ton.ha⁻¹) obtenido con tres regímenes de manejo de agua

Durante el desarrollo del experimento no se desarrollaron precipitaciones, y el volumen total de agua aplicado a los tratamientos, fue agua de gravedad.

En el tratamiento de inundación continua, se determinó 17,570 m³ha⁻¹, para mantener una altura de agua de 5 a 10 cm durante el periodo de crecimiento del cultivo. El tratamiento de AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo en el piezómetro, tuvo un consumo total de agua de 14,464m³, mientras que el tratamiento de AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo en el piezómetro, recibió un aporte total de agua de 14,584 m³.

La productividad del agua en términos de Kg de arroz cáscara producido por metro cúbico de agua aplicada por ha, se indica en la Tabla 4.

La productividad del agua fue mayor en el tratamiento 2 con 0.67 kg de arroz por m³ de agua aplicada, mientras que en el tratamiento 3, la productividad fue menor debido a las características hidrológicas del suelo y a la presencia de una capa de arena en el subsuelo a 0.30 m en el tratamiento 3 que contribuyó a la menor retención del agua en el estrato superior y mayores pérdidas por percolación.

| Tratamientos | Rendimiento t ha-1 | Consumo de agua m ³ ha ⁻¹ | Productividad de agua Kg de arroz cáscara m ⁻³ de agua |
|--------------|--------------------|---|---|
| T1 | 10.71 | 17,570 | 0.61 |
| T2 | 9.73 | 14,464 | 0.67 |
| T3 | 8.26 | 14,584 | 0.57 |



Tabla 4. Productividad del agua en cada uno de los tratamientos

Según los resultados de la prueba t con un $\alpha = 0.05$ (Tabla 5), los regímenes de riego aplicados influenciaron sobre la cantidad de materia seca producida (ton. ha^{-1}) en las etapas de máximo macollamiento, inicio de primordio floral, floración y maduración. En máximo macollamiento, el riego por inundación continua produjo una cantidad de materia seca significativamente superior ($5.64 \text{ ton. ha}^{-1}$), en comparación a los tratamientos AWD con 5 y 10 cm debajo de la superficie del suelo que produjeron 4.52 y 2.8 ton. ha^{-1} , respectivamente.

En el inicio del primordio floral hubo mayor producción de materia seca en el tratamiento de inundación continua ($7.48 \text{ ton. ha}^{-1}$), siendo estadísticamente similar al T2 (5.20) y significativamente superior al T3. Los tratamientos T2 y T3 fueron similares estadísticamente.

En la floración, se observa que los tratamientos T1 y T2 fueron estadísticamente similares y superaron ambos al T3, como se observa en la Tabla 6. Finalmente, en maduración existieron diferencias significativas entre los 3 tratamientos.

| Tratamiento | Materia seca producida (ton. ha^{-1})* | | | |
|---|---|---------|---------------|------------|
| | Máximo macollamiento | IPF | Floración 50% | Maduración |
| Inundación continua | 5.64 a | 7.48 a | 11.34 a | 20.22 a |
| AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 4.52 ab | 5.20 ab | 9.68 a | 20.23 b |
| AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 2.8 b | 3.02 b | 8.53 b | 14.68 c |

* Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 5: Producción de materia seca (ton. ha^{-1}) durante tres etapas del cultivo alcanzada con la aplicación de tres sistemas de manejo del agua



Figura 2. Golpe en punto de algodón extraído (a). Lavado de raíz (b). Eliminación de la raíz (c). Vista de los cuatro golpes extraídos y con la raíz eliminada. (d y e). Muestras en bolsas de papel introducidas en la estufa(f).

Los resultados de macollamiento (Tabla 6) indican la existencia de diferencias significativas en el número de macollos.m⁻² a los 42 y 52 días después del trasplante(ddt) entre los 3 regímenes de riego aplicados. Con el riego por inundación continua se obtuvo el mayor número de macollos.m⁻², con promedios de 352 y 475 macollos.m⁻² a los 32 y 42 días, respectivamente. El tratamiento T3 AWD, presentó el menor número de macollos. m⁻² con promedios de 297 y 418 macollos.

| * Tratamiento | Número de macollos.m ⁻² * | |
|--|--------------------------------------|--------|
| | 32 ddt | 42 ddt |
| T1: Inundación continua | 352 a | 475 a |
| T2: AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 321 b | 447 b |
| T3: AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 297 c | 418 c |

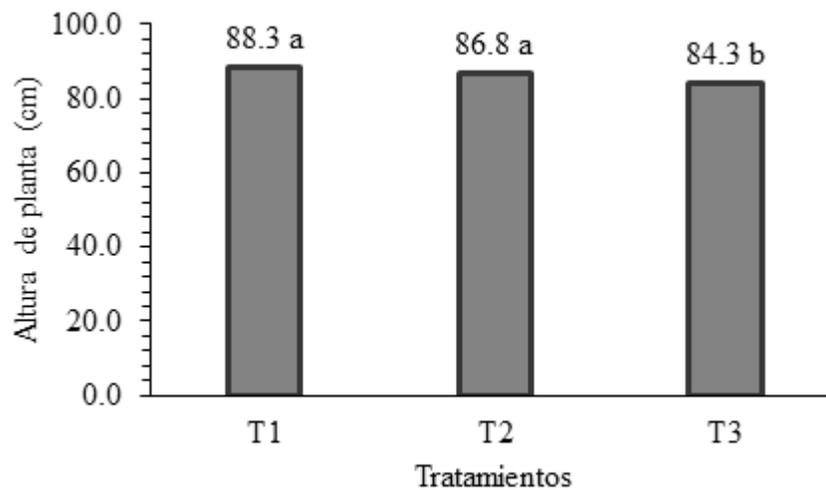
Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 6: Número de macollos.m⁻² a los 42 y 52 días después del trasplante (ddt) obtenido con la aplicación de 3 regímenes de riego



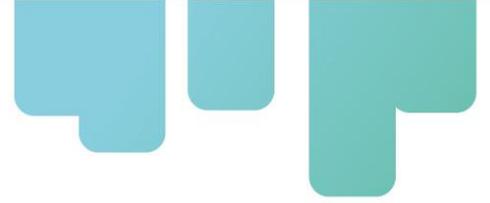
Figura 3. Número de macollos por metro cuadrado

Los resultados de la prueba t de Student con un nivel de significación de 0.05. El tratamiento T3, tuvo una altura de 84.30 cm y fue estadísticamente diferentes a los tratamientos inundado y el T2. Ambos fueron estadísticamente similares (Gráfica 9).



Gráfica 9. Altura de planta a la maduración en los tres tratamientos
Componentes de rendimiento

Respecto al número de panículas, los resultados de la prueba t de Student con un $\alpha = 0.05$ (Tabla 7) señalan que no hay diferencias significativas en el número de panículas /m² entre los tratamientos. El mayor número de panículas se obtuvo con el riego por inundación continua con un promedio de 424 panículas. m⁻², el riego por AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo tuvo 403 panículas /m², y en el tratamiento AWD con 10 cm, fue de 385 panículas/m² (Tabla 7).



| Tratamiento | Número de panículas.m ⁻² * |
|--|---------------------------------------|
| T1: Inundación continua | 424 a |
| T2: AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 403 a |
| T3: AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 385 ab |

* Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 7: Número de panículas.m⁻² obtenido con la aplicación de tres regimenes de riego

Los resultados refieren que solo existieron diferencias significativas en el número de granos por panícula entre los tratamientos de riego por inundación continua y AWD con 10 cm. Para el caso del T2 versus T3, no existen diferencias estadísticas. El tratamiento de inundación continúa, registró un promedio de 163 granos por panícula, siendo superior a los obtenidos por los tratamientos T2 (159 granos) y T3 (158 granos).

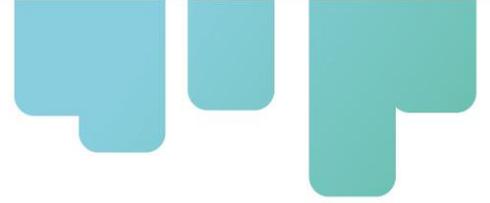
| Tratamiento | Número de granos panícula ⁻¹ * |
|--|---|
| T1: Inundación continua | 163 a |
| T2: AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 159 ab |
| T3: AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 158 b |

* Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 8. Número de granos por panícula obtenido con tres sistemas de manejo del agua

Según los resultados de la prueba t de Student con un nivel de significación de 0.05 (Tabla 9) el porcentaje de granos llenos en los tratamientos de riego por inundación continua y T2 tuvieron un 88% de granos llenos, ambos fueron significativamente similares, pero con superioridad al T3 (87%).

Por otro lado, respecto al porcentaje de granos vanos por panícula, fue similar estadísticamente en los tratamientos T1 y T2 con un 12%. Ambos tratamientos mostraron menores valores en relación con el T3 que tuvo un 13% de granos vanos. Los tratamientos de secado y humedecimiento no incrementaron el porcentaje de granos vanos por panícula en las condiciones en que se realizó este estudio.



| Tratamiento | % de granos llenos. panícula ⁻¹ | % Granos vanos. panícula ⁻¹ |
|--|---|--|
| T1: Inundación continua | 88 a | 12 a |
| T2: AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 88 a | 12 a |
| T3: AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 87 b | 13 b |

* Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 9: Porcentaje de granos llenos y vanos por panícula obtenido con tres sistemas de manejo del

Por otro lado, existieron diferencias significativas en el peso de 1000 granos. El tratamiento de inundación continua fue superior estadísticamente a los tratamientos T2 y T3. El peso de 1000 granos del tratamiento inundado alcanzó en promedio (26.47 g) en comparación a los tratamientos que tuvieron un peso de 1000 granos que alcanzaron 25.75 g y 25.33 g, respectivamente y que fueron estadísticamente similares.

| Tratamiento | Peso de 1000 granos (g)* |
|--|-----------------------------|
| Inundación continua | 26.47 a |
| AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 25.75 b |
| AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 25.33 b |

* Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 10: Peso de 1000 granos de arroz cáscara obtenido con la aplicación de tres sistemas de manejo del agua.

En la Tabla 11, se observa el análisis de calidad molinera y según la prueba t de Student con un nivel de significación de 0.05, se encontraron diferencias significativas para las variables rendimiento total de molinería y el porcentaje de granos enteros. El tratamiento de inundación continua fue superior estadísticamente con un rendimiento de molinería de 69.63 %, en comparación con los tratamientos de AWD que obtuvieron rendimientos de 67.77 (T2) y 66.33% (T3) de rendimiento de molinería total y que fueron ambos estadísticamente similares (Gráfica 10).

En el rendimiento de grano pilado entero se encontraron diferencias significativas entre los tres regímenes de riego (Gráfica 11). Esos rendimientos fluctuaron entre 54.52% y 58.97%, siendo el rendimiento obtenido con el riego por inundación continua

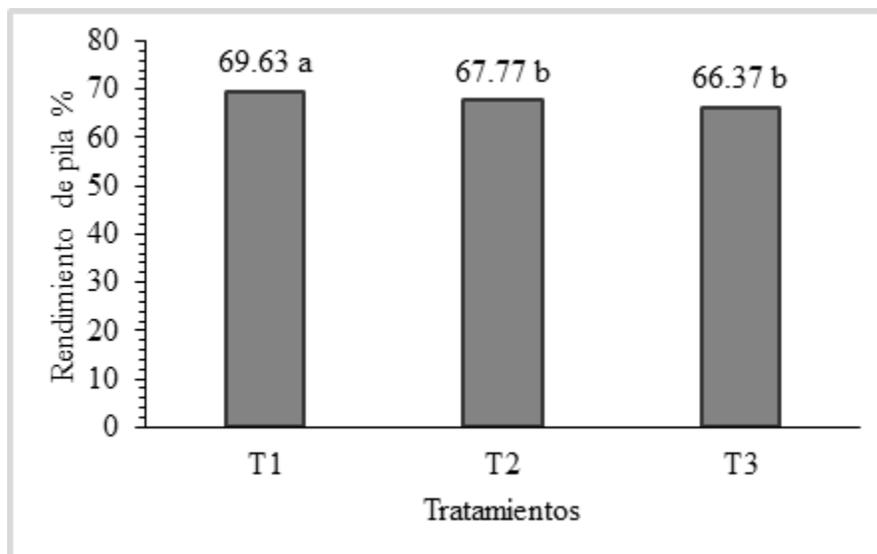


significativamente superior con un valor de 58.97%. En cuanto al porcentaje de granos quebrados, se encontró diferencias significativas entre el tratamiento de inundación continua y los dos tratamientos de AWD. Con el riego por inundación continua se obtuvo el porcentaje más bajo de granos quebrados (10.66%), mientras que el porcentaje de granos quebrados fue más alto con el tratamiento de AWD con 10 cm de (11.85%).

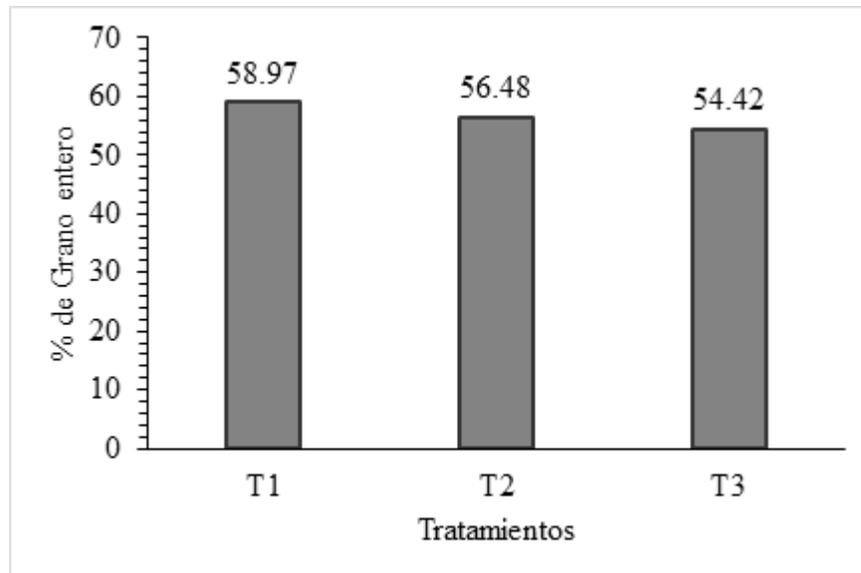
| Tratamiento | Rendimiento de molinería total (%) | Grano entero (%) | Grano quebrado (%) |
|---|------------------------------------|------------------|--------------------|
| Inundación continua | 69.63 a | 58.97 a | 10.66 a |
| AWD con 5 cm debajo de la superficie del suelo | 67.77 b | 56.48 b | 11.29 b |
| AWD con 10 cm debajo de la superficie del suelo | 66.37 b | 54.52 c | 11.85 b |

* Prueba t de Student con un nivel de significación del 5%

Tabla 11: Análisis de la calidad molinera obtenida con la aplicación de 3 sistemas de manejo del agua.



Gráfica 10. Rendimiento de molinería total en los tres tratamientos

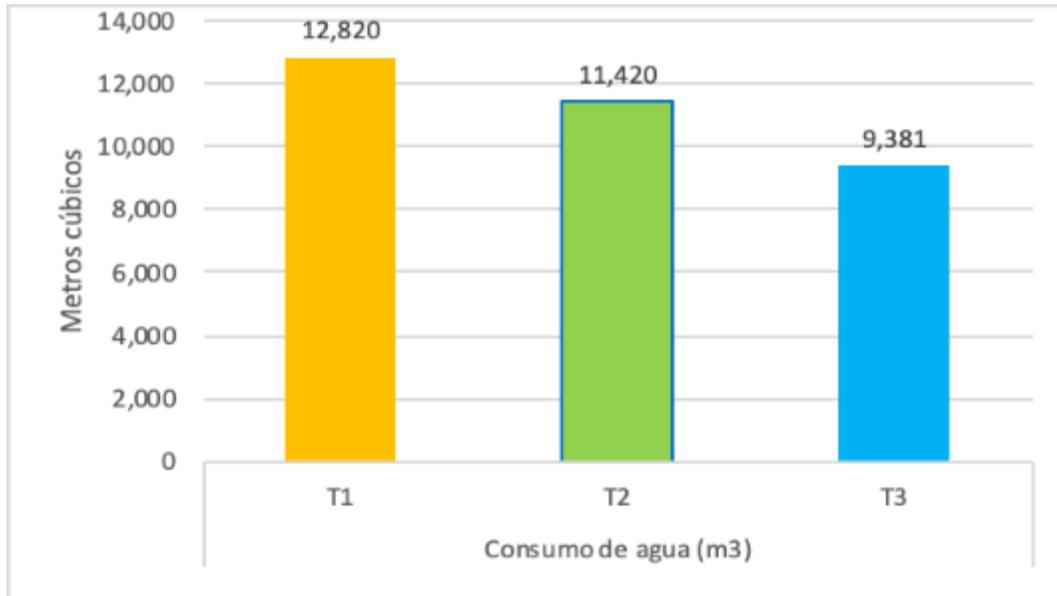


Gráfica 11 Porcentaje de granos llenos en los tres tratamientos

Perú (año 3):

Actividad 1.2 Monitoreo del agua

Los volúmenes totales aplicados durante el desarrollo del estudio variaron de 12,820 a 9,381 m³ ha⁻¹. El tratamiento T1 alcanzó 12,820 m³ ha⁻¹, le siguió el tratamiento 2 con 11,420 m³. El tratamiento T3, registró el menor volumen con 9,381 m³ ha⁻¹. El mayor consumo se obtuvo en el tratamiento de inundación continua (Gráfica 12).



Gráfica 12. Volúmenes de agua aplicados en m^3ha^{-1} en los tratamientos, EEVF-2019

La productividad del agua se indica en la tabla 12, agrónomicamente se obtiene relacionando el rendimiento obtenido con el volumen de agua aplicada. Se observa que la productividad del agua fue bastante similar en los tres tratamientos. Presentando el tratamiento T2 (descenso 5 cm debajo de la superficie del suelo) una productividad de 0.66 kg de arroz cáscara por m^3 de agua en comparación al tratamiento T3 que fue de 0.61 y el inundado de 0.68 kg de arroz cáscara por m^3 de agua.

| Tratamiento | Agua aplicada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ | Rendimiento Kg ha^{-1} | Productividad Kg m^{-3} |
|--|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| Riego por inundación permanente | 12,820 | 8,700 | 0.68 |
| Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 5 cm debajo de la superficie de suelo | 11,420 | 7,500 | 0.66 |
| Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 10 cm debajo de la superficie de suelo | 9,381 | 5,720 | 0.61 |

Tabla 12. Productividad del agua para los tratamientos en estudio. EEVF, 2019

Actividad 1.3 Monitoreo de variables agronómicas



Durante la ejecución del experimento se realizaron las evaluaciones de las variables agronómicas. Se presentan anexo de evaluaciones.

Actividad 1.5 Análisis de las variables monitoreadas

- **Rendimiento**

La prueba T de student realizada a la variable rendimiento indica que existen diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. En efecto los rendimientos de inundación continua fueron significativamente más altos que los tratamientos T1 y T2. El rendimiento en grano, más alto se alcanzó en el tratamiento de inundación continua con 8,700 Kg ha⁻¹ superiores a los tratamientos T2 y T1 que tuvieron rendimientos de 7,500 y 5,720 Kg ha⁻¹, **respectivamente**.

Las diferencias de rendimiento entre T1 y T2 fueron de 1,200 Kg. La mayor diferencia se registró entre el tratamiento de inundación continua y el T3, con 2,980 Kg a favor del tratamiento de riego por inundación (Tabla 13).

| Tratamiento | Rendimiento Kg ha ⁻¹ | diferencias Kg ha ⁻¹ |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| T1 Riego por inundación permanente | 8,700 | |
| T2 Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 5 cm debajo de la superficie de suelo | 7,500 | 1,200 |
| T3 Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 10 cm debajo de la superficie de suelo | 5,720 | 2,980 |

Tabla 13. Rendimiento en grano ajustado a 14% de humedad. EEVF, 2020-2021

- **Materia seca total**

La producción de materia seca total a la maduración fue más alta en el tratamiento T1, seguido del tratamiento T2. En todos los estadios evaluados el tratamiento inundado fue

superior a los tratamientos de ahorro de agua.

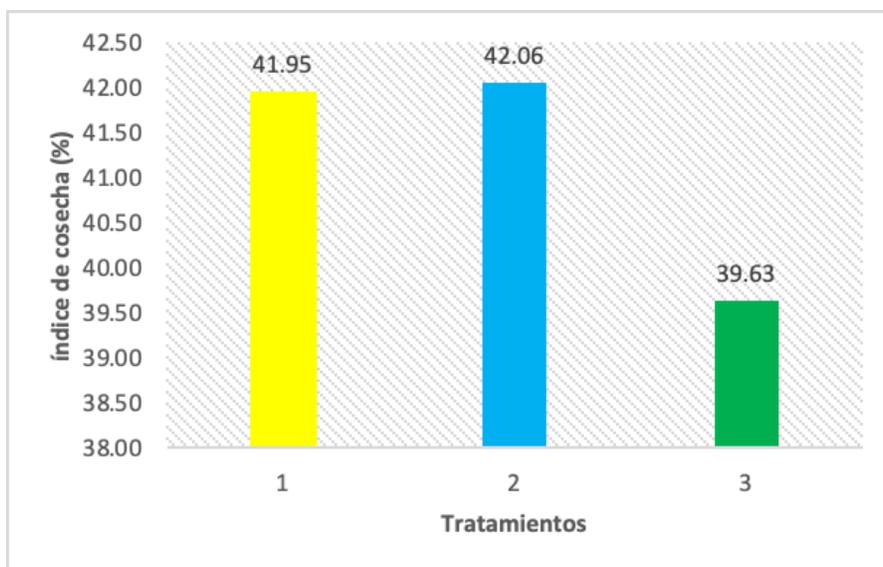
| Tratamientos | Número de macollos | | | |
|---|--------------------|---------------|---------------|------------|
| | Máx. Mac | Punto de alg. | 50% Floración | Maduración |
| T1 Riego por inundación permanente | 4.7 a | 9.4 a | 16 a | 18.4 a |
| T2 Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 5 cm debajo de la superficie de suelo | 3.8 b | 8.3 b | 15.5 b | 17.2 b |
| T3 Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 10 cm debajo de la superficie de suelo | 2.3 c | 7.9 c | 14.8 c | 15.4 c |

Días después del trasplante (ddt)

Tabla 14. Comparación de la acumulación de biomasa (tn/ha) obtenido en los 3 tratamientos

- **Índice de cosecha**

Los índices de cosecha alcanzaron valores de 42 a 40% , teniendo los tratamientos 1 y 2 los mayores índices de cosecha con 42% y el T3 menor valor con 40%.



Gráfica 13. Índice de cosecha. Perú, año 3.

- **Rendimiento de molinería**

La calidad molinera en términos de rendimiento total de molinería fue afectada en todos los tratamientos. El cultivar IR 43 es de buen rendimiento de molinería en condiciones de temperatura nocturnas sobre 20°C. Los rendimientos en grano entero en el tratamiento de inundación fueron más bajos que los tratamientos 2 y 3 por el mayor rendimiento de grano quebrado.

| Treatment | Rdto. total | Grano entero | Grano quebrado |
|-----------|-------------|--------------|----------------|
| T1 | 65.25 | 52.16 | 13.09 |
| T2 | 67.38 | 61.49 | 5.89 |
| T3 | 67.38 | 61.51 | 5.87 |

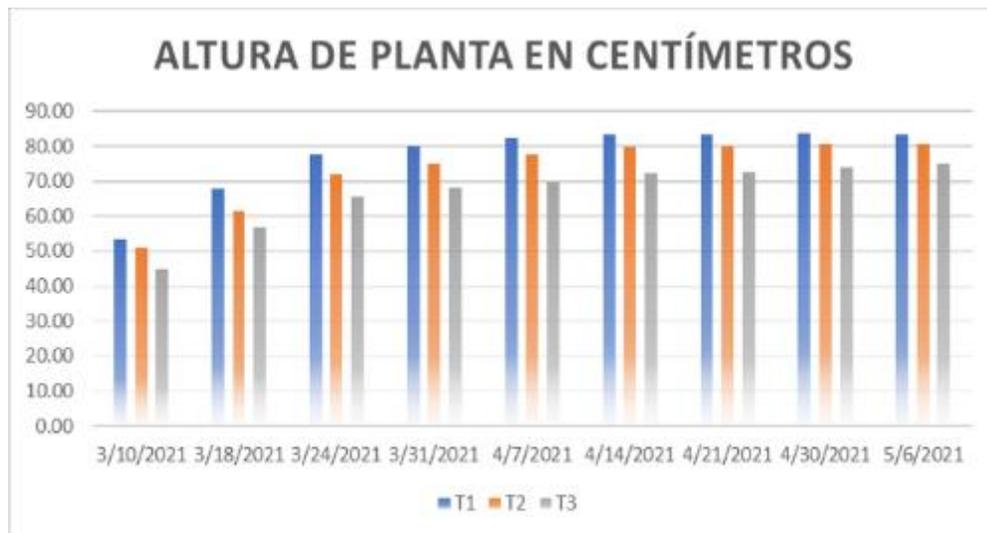
Promedio de dos repeticiones. Muestras de 100 g de arroz cáscara

Tabla 15. Rendimiento de molinería en porcentaje, grano entero y grano quebrado



- **Altura de planta**

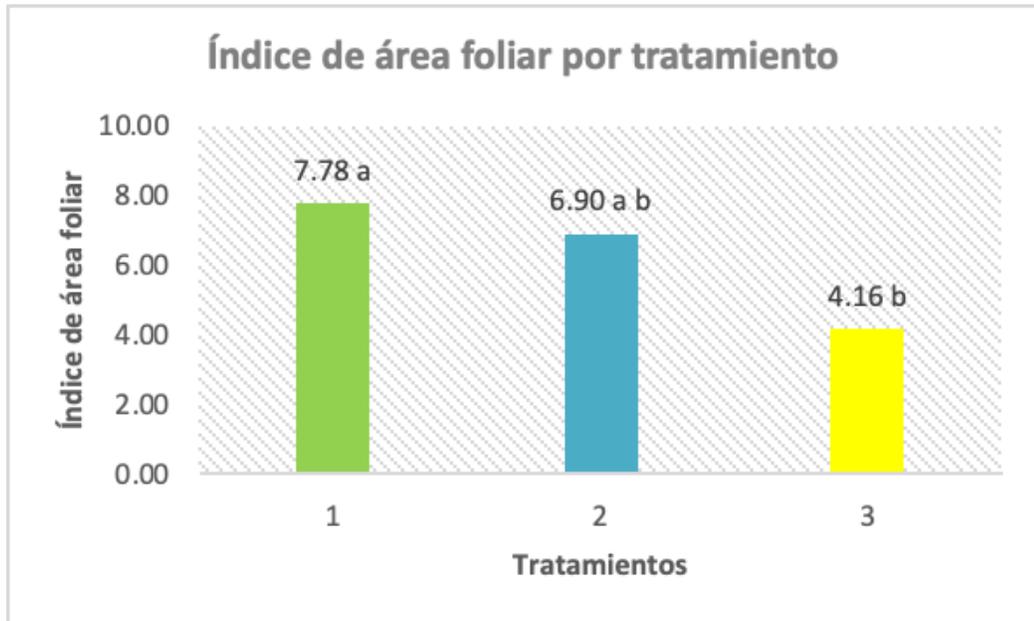
A la maduración la estatura fue más alta en los tratamientos T1 y T2 que no tuvieron diferencias estadísticas. Los comparaciones entre los tratamientos T3 y T2 si mostraron diferencias. Esto indica que los métodos de riego han afectado la estatura de las plantas. (Gráfica 14).



Gráfica 14. Altura de planta de los tratamientos en las diferentes fechas evaluadas.

- **Índice de área foliar**

Los índices de área foliar son adecuados para alcanzar altos rendimientos, sin embargo, por deficiencias del sink, los rendimientos obtenidos han sido relativamente bajos, por la incidencia de las temperaturas nocturnas que afectaron específicamente las fases reproductiva y maduración produciéndose alta esterilidad y granos mal conformados.



Gráfica 15. Índice de área foliar en cada uno de los tratamientos. Perú, año 3

Emisiones de gases de efecto invernadero

Colombia:

El pico más alto de emisiones de metano (CH_4), se presentó en el tratamiento de control (riego convencional - inundado) con un valor de $69 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ cerca a la fecha de cosecha y para las emisiones de óxido nitroso (N_2O) en el tratamiento AWD1 con $13 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, un día antes de la primera fertilización; con diferencias significativas entre tratamientos para ambas emisiones de gases ($p\text{-value} < 0.05$) para el primer ciclo. Para el segundo ciclo las emisiones más altas de metano (CH_4), se evidenciaron en el tratamiento de control (riego convencional - inundado) después de riego para el tratamiento AWD2 con un valor de $135 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, para las emisiones de óxido nitroso a los 35 días de monitoreo para el tratamiento de control con un valor de $42 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ después de la tercera dosis de fertilización con diferencias significativas entre tratamientos para las emisiones de metano y óxido nitroso.

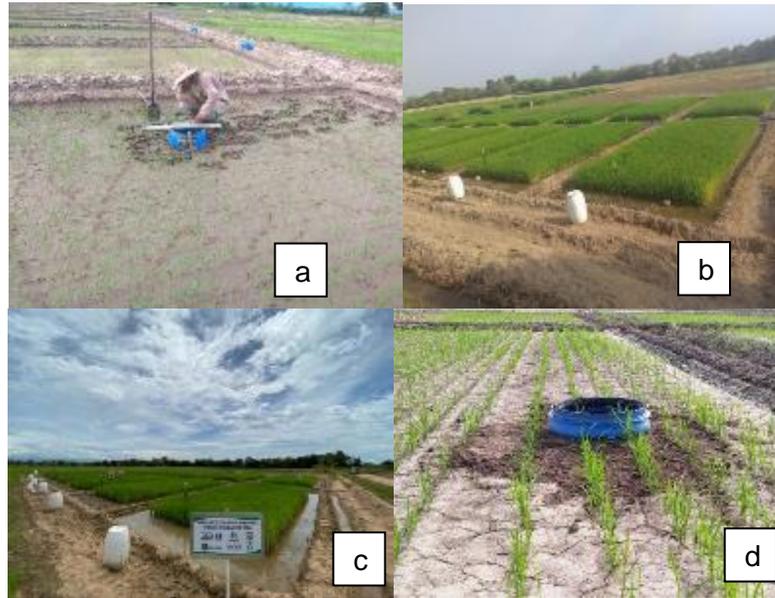


Figura 4. Ensayos de cuatro ciclos de evaluación en condiciones experimentales del proyecto. Centro Experimental Las Lagunas, Saldaña-Colombia. Ciclo 1(a), ciclo 2(b), ciclo 3(c), ciclo 4(d).

En los flujos netos acumulados de metano y óxido nitroso durante el ciclo 1, el tratamiento de control (riego convencional - inundado) presentó los mayores valores en comparación a los tratamientos de riego alterno AWD; se presentó una disminución entre 95 y 98 % de los flujos netos acumulados de CH_4 para los tratamientos AWD1 y AWD2 y del 46 y 52 % de los flujos netos acumulados de N_2O para los tratamientos AWD2 y AWD1, respectivamente (figura 5).

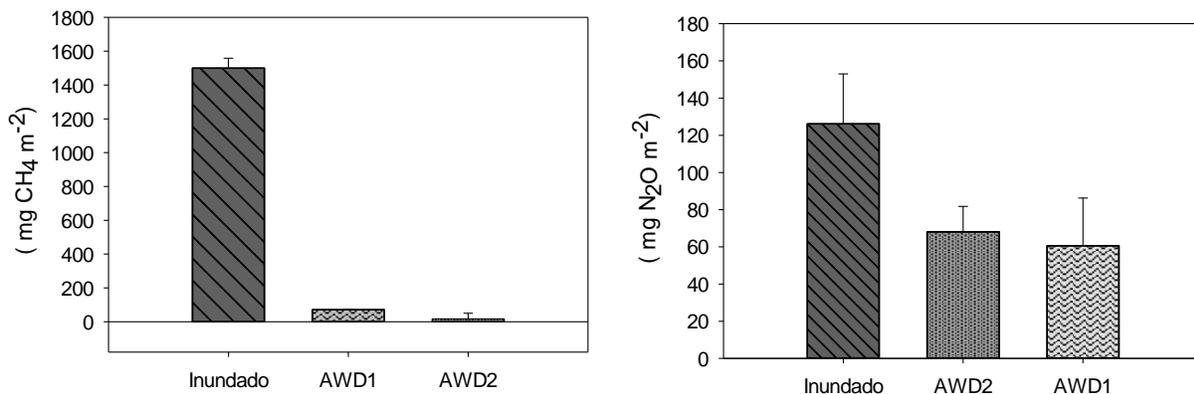


Figura 5. Flujos acumulados de metano (izq.) y óxido nitroso (der.) en tres tratamientos de riego en arroz. Ciclo 1. Saldaña, 2018B.



Para el segundo ciclo, se presenta una disminución de las emisiones de metano del 68 y 100 % para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente. En el caso del óxido nitroso se presenta una reducción respecto al tratamiento de control del 33 y 100% para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente (figura 6).

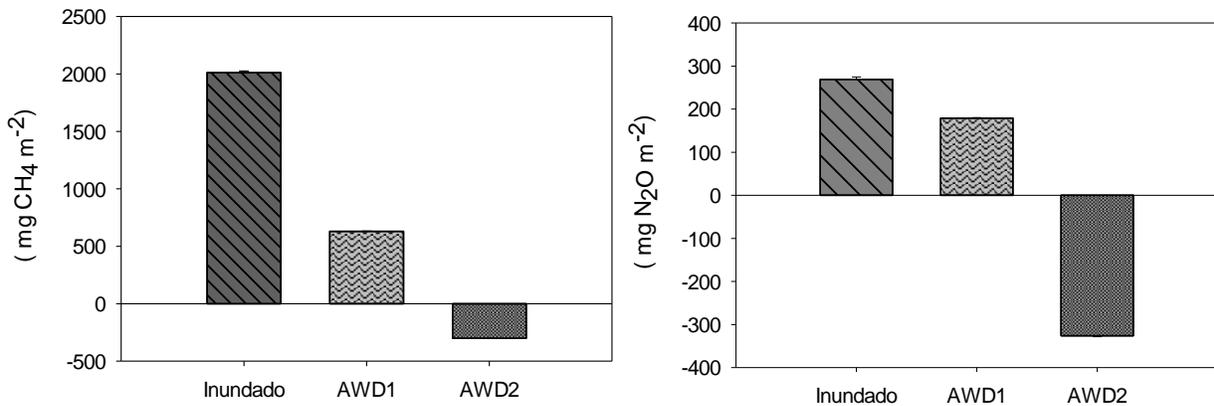


Figura 6. Flujos acumulados de metano (izq.) y óxido nitroso (der.) en tres tratamientos de riego en arroz. Ciclo 2. Saldaña, 2019A.

Para el tercer ciclo se presentó un incremento de las emisiones de metano del 30 y cerca al 100% y un aumento del 71 y cercano al 100% para las emisiones de óxido nitroso para los tratamientos AWD1 y AWD2 (figura 7).

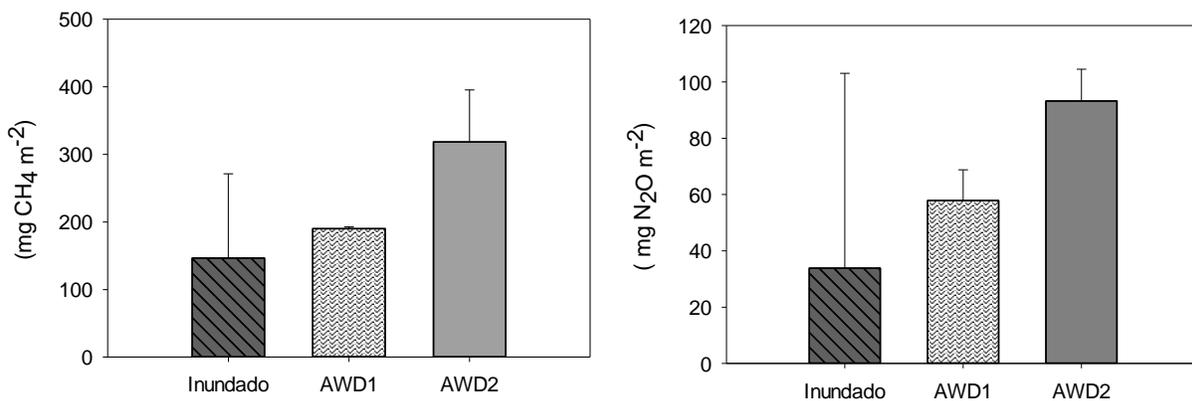


Figura 7. Flujos acumulados de metano (izq.) y óxido nitroso (der.) en tres tratamientos de riego en arroz. Ciclo 3. Saldaña, 2019B.

En el cuarto ciclo de monitoreo, nuevamente se presentó una disminución de las emisiones de



metano del 68 y 100% para los tratamientos AWD1 y AWD2, respectivamente y una reducción del 3 y 27 % de las emisiones de óxido nítrico para los tratamientos AWD1 y AWD2 (figura 8).

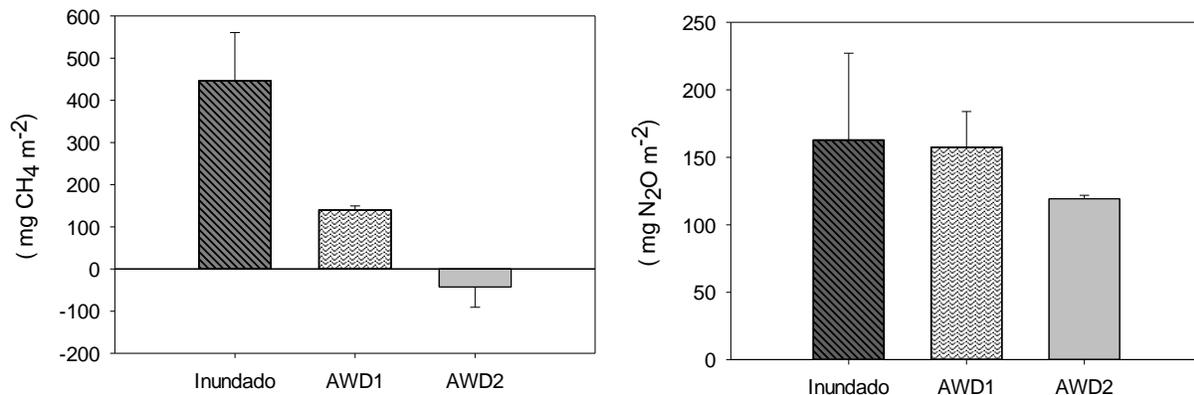
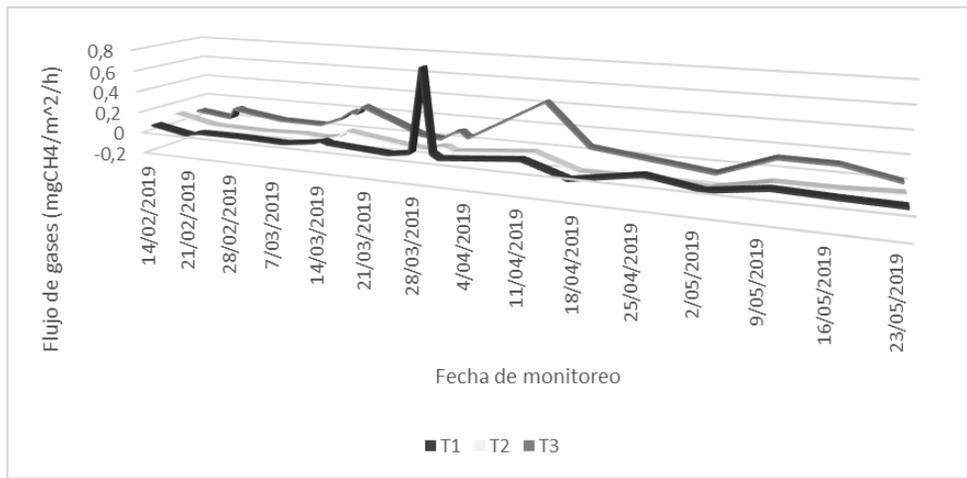


Figura 8. Flujos acumulados de metano (izq.) y óxido nítrico (der.) en tres tratamientos de riego en arroz. Ciclo 4. Saldaña, 2020A.

Perú:

Ciclo 1

El comportamiento del metano, sin considerar los valores extremos como los del día 28 de marzo y 11 de abril, de los Tratamientos 1 y 3, respectivamente, muestra una tendencia correspondiente a lo esperado, aunque leve, pues se observa que el flujo de emisión es mayor en la fase reproductiva y menor en la fase de maduración.



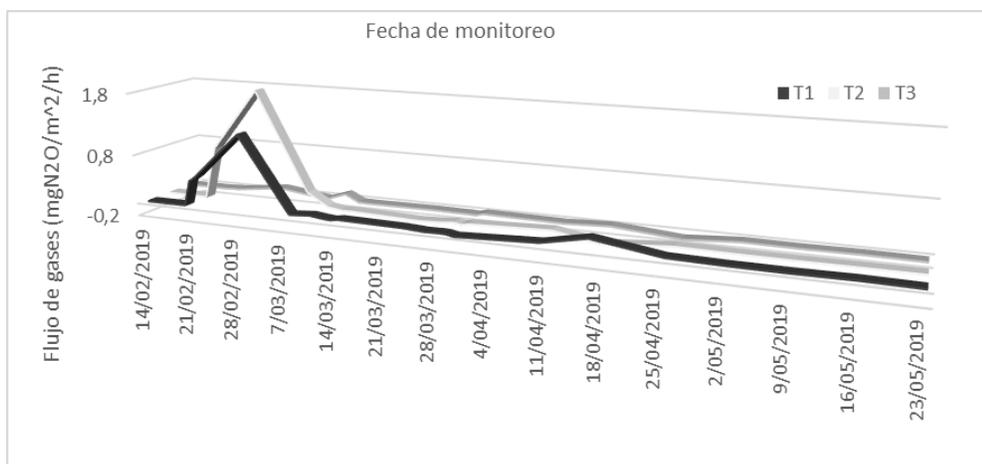
Gráfica 16. Emisiones promedio de CH₄ (mgCH₄/m²*h) en parcelas según tratamiento

El mayor flujo de gases ocurrió en el T3, que es en el que se inunda permanentemente, emitiendo mayor cantidad de kilogramos, alrededor de 0.058 Kg, por campaña, pues las condiciones (anaerobias) son mejores para la emisión del metano. El tratamiento que emite menos es T2, generando 0.0037 Kg por campaña de arroz, tanto el T1 como el T2 tienen flujos bajos, pero el flujo promedio final del T2 resulta menor por los influjos al inicio de la fase de maduración.

| Tratamiento | Flujo (mg CH ₄ /m ² *h) | Emisión por campaña (Kg) |
|-------------|---|--------------------------|
| T1 | 0,05928109 | 0,03738977 |
| T2 | 0,00588724 | 0,0037132 |
| T3 | 0,09270439 | 0,05847052 |

Tabla 16. Flujo promedio y emisiones por campaña de metano para cada tratamiento

El comportamiento del N₂O, sin considerar los valores extremos como los de los días de febrero, de los Tratamientos 1 y 2, muestra emisiones cercanas a cero; sin embargo, se observan picos, como en las vistas el 28/02, donde se nota la correspondencia de los tratamientos con la emisión de N₂O, donde el T2 emite más gas que el T1 porque tiene más días de secado, mientras que el T3 emite menos gas porque siempre está inundado; otros picos parecidos, pero más bajos, se observan a lo largo de la campaña, pero el más notorio es el de febrero.



Gráfica 17. Emisiones promedio de N₂O (mg N₂O/m²*h) en parcelas según tratamiento

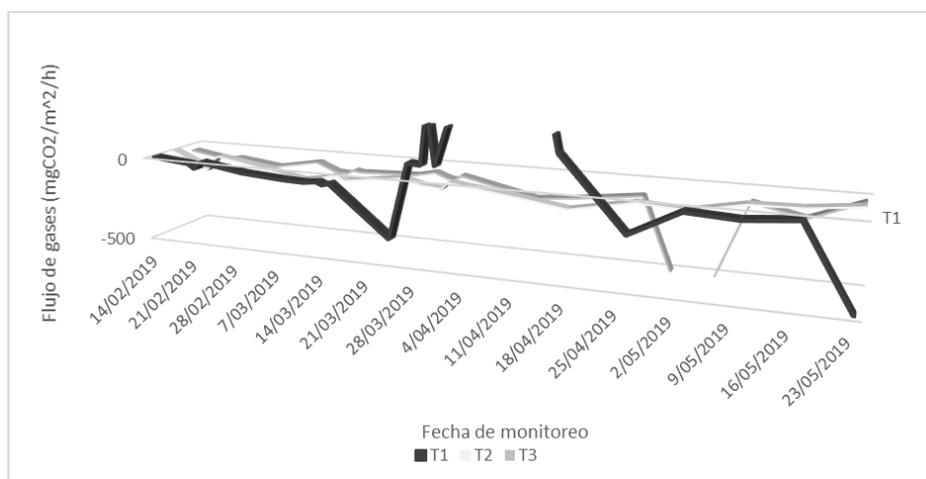
El mayor flujo de gases ocurrió en el T2, emitiendo mayor cantidad de kilogramos, alrededor de 0.1 Kg, por campaña frente a los demás tratamientos. El tratamiento que emite menos es T3, generando 0.007 Kg por campaña de arroz.

| Tratamiento | Flujo (mg N ₂ O m ² *h) | Emisión por campaña (Kg) |
|-------------|---|--------------------------|
| T1 | 0,11795448 | 0,07439625 |
| T2 | 0,15859759 | 0,10003067 |
| T3 | 0,01267112 | 0,00799193 |

Tabla 17. Flujo promedio y emisiones por campaña de óxido nitroso para cada tratamiento

El comportamiento del CO₂ muestra emisiones negativas, es decir, influjos; las emisiones más notorias y erráticas son las producidas por el T1, puesto que un día puede llegar a generar 1427 mg de GEI, mientras que al día siguiente puede variar y bajar hasta 200 mg. Respecto a los otros tratamientos, se observa una absorción del CO₂, esto necesita ser corroborado junto con las ocurrencias durante la campaña.

El mayor flujo de gases ocurrió en el T1, emitiendo mayor cantidad de kilogramos, alrededor de 13.73 Kg, frente a los demás tratamientos. El tratamiento que emite menos es el T3, que tiene un influjo de 111.9 mg/m²*h, absorbiendo 70 Kg por campaña de arroz.



Gráfica 18. Emisiones diarias promedio de CO₂ (mgCO₂/m²*h) en parcelas según tratamiento

| Tratamiento | Flujo (mg N ₂ O m ² *h) | Emisión por campaña (Kg) |
|-------------|--|-----------------------------|
| T1 | 21,7764895 | 13,7384675 |
| T2 | -69,1281677 | -43,6005179 |
| T3 | -111,947041 | -70,6072377 |

Tabla 18. Flujo promedio y emisiones por campaña de dióxido de carbono para cada tratamiento

Finalmente, la siguiente tabla muestra las emisiones de los gases de efecto invernadero en total durante la campaña estudiada para cada tratamiento, de manera que se puede reconocer cuál es la emisión más baja en cada caso.

| Tratamientos | Emisión GEI por campaña Kg | | |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| | Metano Kg CH ₄ | Óxido nitroso Kg N ₂ O | Dióxido de carbono Kg CO ₂ |
| T1 | 0,03738977 | 0,074396625 | 13,7348675 |
| T2 | 0,00377132* | 0,10003067 | 43,6005179 |
| T3 | 0,05847052 | 0,00799193* | 70,6072377* |

*Emisión más baja

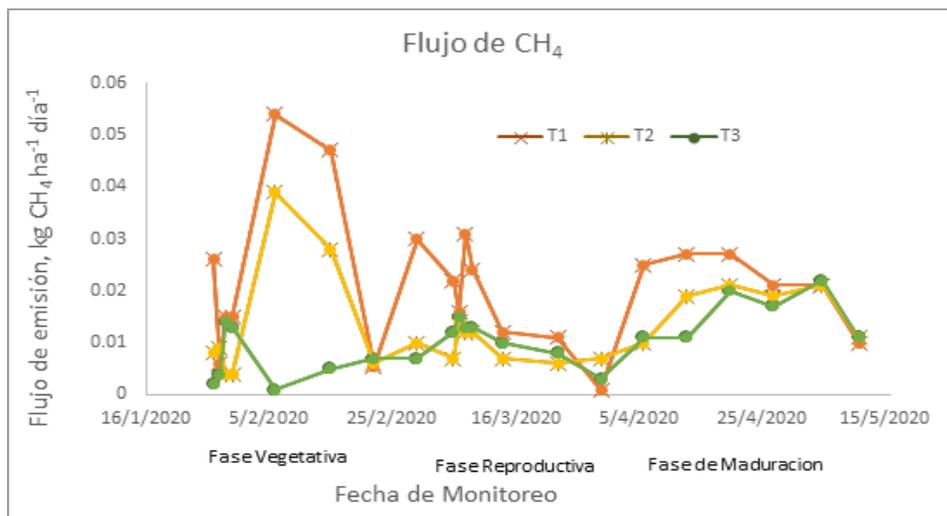


Tabla 19. Emisiones de GEI por campaña en kilogramos, para cada tratamiento

Ciclo 2

Es conocido que el metano se genera en condiciones anaeróbica, por lo tanto, una lámina constante de agua podría favorecer estas condiciones, emitiendo más gas cuando esto ocurra. En la Figura 1 se observa en los tres tratamientos una amplia variación de emisiones. Los valores de emisión máxima de 0,054; 0,028 kg ha⁻¹d⁻¹, para T1 y T2 respectivamente se observan en la fase vegetativa, para el caso de T3 este valor es 0,022 kg ha⁻¹d⁻¹ en la fase de maduración.

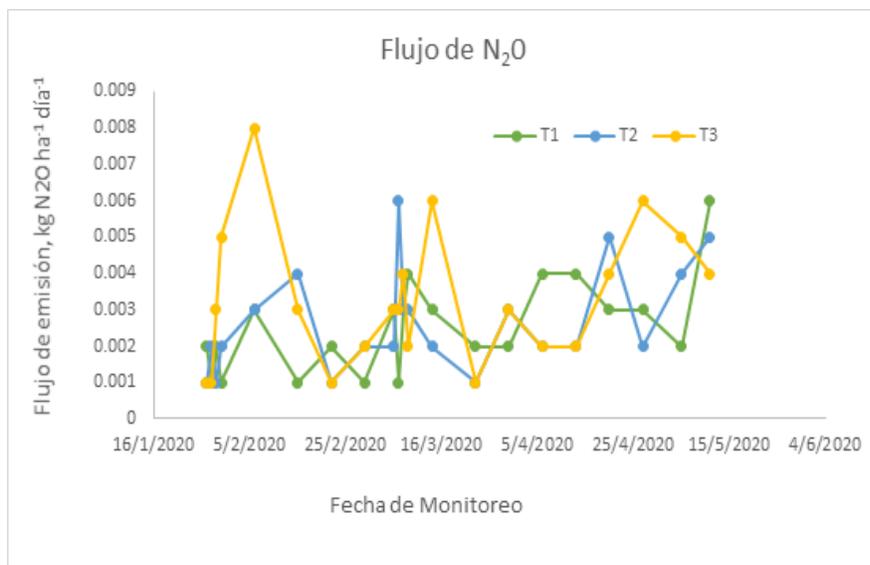
A inicios de la etapa de maduración se observa para los tres tratamientos una disminución del flujo promedio, esto probablemente se debe a la baja tasa de fotosíntesis por el inicio del desarrollo del grano y disminución del carbono orgánico disponible en el suelo que no es liberado por las raíces.



Gráfica 19. Emisiones promedio de CH₄ (kg CH₄ ha⁻¹h⁻¹) en parcelas según tratamiento

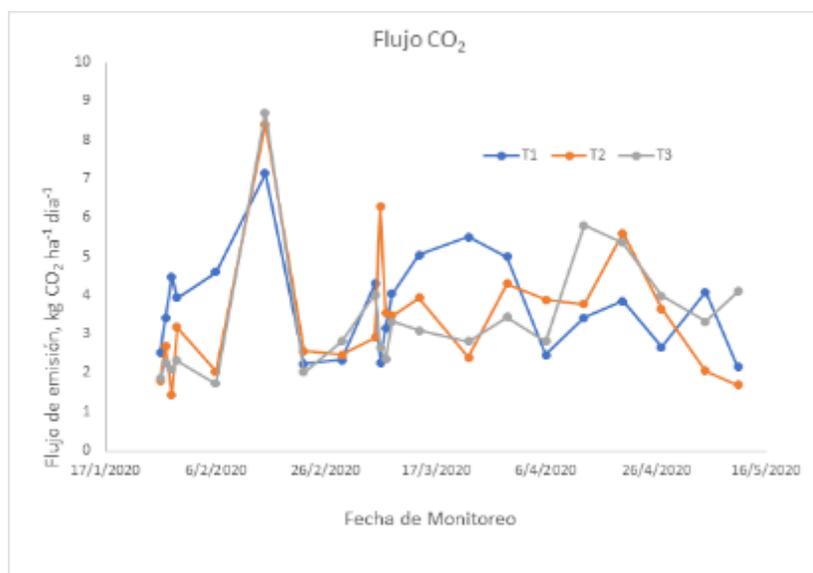
En la Figura 28 se observa en los tres tratamientos una amplia variación de emisiones. Los valores de emisión máxima de 0,006; 0,006 y 0.008 kg ha⁻¹d⁻¹, para T1, T2 y T3 respectivamente. Así mismo, estos valores corresponden a las fases de maduración, reproductiva y vegetative, respectivamente.

Las emisiones de N₂O en los tres tratamientos sin considerar los valores máximos varían entre 0,001-0,004; 0,001-0,005 y 0,001-0,006 para T1, T2 y T3 respectivamente, por lo que se podría concluir que las emisiones de N₂O son muy bajas.

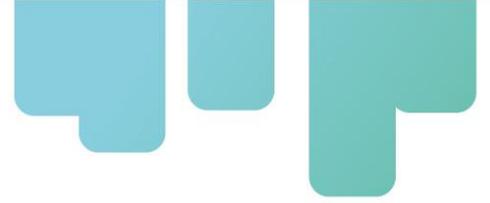


Gráfica 20. Emisiones promedio de N₂O (mg N₂O/m²*h) en parcelas según tratamiento

En la Figura 29, se observa en los tres tratamientos una amplia variación de emisiones. Los valores de emisión máxima de 7,148; 8,405 y 8.702 kg ha⁻¹d⁻¹, para T1, T2 y T3 respectivamente. Así mismo, estos valores corresponden a la fase vegetativa.



Gráfica 21. Emisiones diarias promedio de CO₂ (mgCO₂/m²*h) en parcelas según tratamiento



Chile:

Los resultados preliminares demuestran una disminución en la emisión de gases en el caso de tratamiento AWD 2 en el caso de metano, para el caso de óxido nitroso la relación no es definitiva con el tratamiento evaluado. Se espera verificar los resultados con los análisis del siguiente ciclo.

| Ensayo de Pregerminado | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---|-------------|---|-----------|
| Tipo de siembra | Tratamiento* | CO₂ eq N₂O (kg/ha) | ee** | CO₂ eq CH₄ (kg/ha) | ee |
| Pregerminado | Control | 35.862 | 10.120 | 180.640 | 68.662 |
| Pregerminado | AWD1 | 38.612 | 4.663 | 182.081 | 70.610 |
| Pregerminado | AWD2 | 61.307 | 2.460 | 117.309 | 49.518 |

* Control, inundación permanente; AWD1 (5cm bajo la superficie); AWD2 (10 cm bajo la superficie).
** error estándar

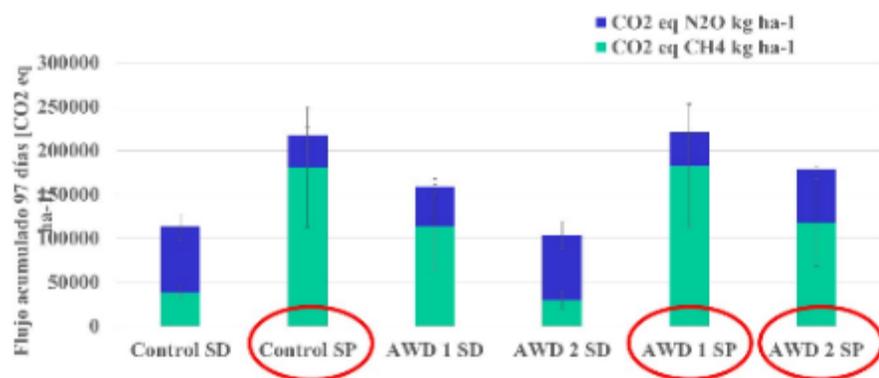
Tabla 20. Emisiones de GEI metano y óxido nitroso en kilogramos/ha bajo el sistema de siembra Pregerminado

| Ensayo Siembra Directa | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---|-------------|---|-----------|
| Tipo de siembra | Tratamiento* | CO₂ eq N₂O (kg/ha) | ee** | CO₂ eq CH₄ (kg/ha) | ee |
| Siembra Directa | Control | 75.341 | 14.393 | 37.468 | 6.973 |
| Siembra Directa | AWD1 | 46.119 | 8.535 | 112.790 | 48.729 |
| Siembra Directa | AWD2 | 74.756 | 15.922 | 28.986 | 9.983 |

* Control, inundación permanente; AWD1 (5cm bajo la superficie); AWD2 (10 cm bajo la superficie).
** error estándar

Tabla 21. Emisiones de GEI metano y óxido nitroso en kilogramos/ha bajo el sistema de siembra directa

GEI



Gráfica 22. Flujo acumulado de CO₂ (mgCO₂/m²*h) en parcelas según tratamiento de riego y sistema de siembra

Indicadores Técnicos

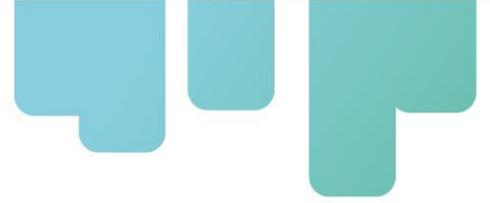
Consumo de agua:

| País | Ciclo | Sistema | Tratamiento | Consumo agua (m ³ /ha/cos) | Reducción (%) |
|----------|-------|----------------|-------------|---|---------------|
| Colombia | 1 | Surcos | Testigo | 9260 | |
| Colombia | 1 | Surcos | AWD1 | 6216 | 18,95 |
| Colombia | 1 | Surcos | AWD2 | 4648 | 28,71 |
| Colombia | 2 | Surcos | Testigo | 12122 | |
| Colombia | 2 | Surcos | AWD1 | 7977 | 29,03 |
| Colombia | 2 | Surcos | AWD2 | 7890 | 29,63 |
| Colombia | 3 | Surcos | Testigo | 11557 | |
| Colombia | 3 | Surcos | AWD1 | 7766 | 29,07 |
| Colombia | 3 | Surcos | AWD2 | 9343 | 16,98 |
| Colombia | 4 | Surcos | Testigo | 16559 | |
| Colombia | 4 | Surcos | AWD1 | 8241 | 37,82 |
| Colombia | 4 | Surcos | AWD2 | 7234 | 42,39 |
| Perú | 1 | Trasplante | Testigo | 9966 | |
| Perú | 1 | Trasplante | AWD1 | 8417 | 15,54 |
| Perú | 1 | Trasplante | AWD2 | 7653 | 23,21 |
| Perú | 2 | Trasplante | Testigo | 17570 | |
| Perú | 2 | Trasplante | AWD1 | 14464 | 17,68 |
| Perú | 2 | Trasplante | AWD2 | 14584 | 16,99 |
| Chile | 1 | S.Directa (I) | Testigo | 13155 | |
| Chile | 1 | | AWD1 | 12698 | 3,47 |
| Chile | 1 | | AWD2 | 11191 | 14,93 |
| Chile | 1 | Pre-G. (I) | Testigo | 19138 | |
| Chile | 1 | | AWD1 | 16753 | 12,46 |
| Chile | 1 | | AWD2 | 14938 | 21,95 |
| Chile | 2 | S.Directa (II) | Testigo | 13833 | |
| Chile | 2 | | AWD1 | 13184 | 4,69 |
| Chile | 2 | | AWD2 | 10368 | 25,05 |
| Chile | 2 | Pre-G. (II) | Testigo | 20987 | |
| Chile | 2 | | AWD1 | 16085 | 23,36 |
| Chile | 2 | | AWD2 | 14924 | 28,89 |



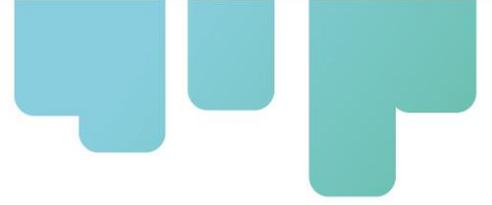
Rendimiento:

| País | Ciclo | Sistema | Tratamiento | Rendimiento (kg/ha) |
|-----------------|--------------|----------------|--------------------|----------------------------|
| Colombia | 1 | Surcos | Testigo | 6229 |
| Colombia | 1 | Surcos | AWD1 | 5932 |
| Colombia | 1 | Surcos | AWD2 | 5162 |
| Colombia | 2 | Surcos | Testigo | 8146 |
| Colombia | 2 | Surcos | AWD1 | 7246 |
| Colombia | 2 | Surcos | AWD2 | 7477 |
| Colombia | 3 | Surcos | Testigo | 6904 |
| Colombia | 3 | Surcos | AWD1 | 5821 |
| Colombia | 3 | Surcos | AWD2 | 6247 |
| Colombia | 4 | Surcos | Testigo | 7610 |
| Colombia | 4 | Surcos | AWD1 | 7514 |
| Colombia | 4 | Surcos | AWD2 | 7428 |
| Perú | 1 | Trasplante | Testigo | 9525 |
| Perú | 1 | Trasplante | AWD1 | 8358 |
| Perú | 1 | Trasplante | AWD2 | 8858 |
| Perú | 2 | Trasplante | Testigo | 10710 |
| Perú | 2 | Trasplante | AWD1 | 9730 |
| Perú | 2 | Trasplante | AWD2 | 8260 |
| Chile | 1 | S.Directa | Testigo | 9600 |
| Chile | 1 | (I) | AWD1 | 11334 |
| Chile | 1 | | AWD2 | 7669 |
| Chile | 1 | Pre-G. (I) | Testigo | 9607 |
| Chile | 1 | | AWD1 | 9856 |
| Chile | 1 | | AWD2 | 8768 |



Emisión de gases de efecto invernadero:

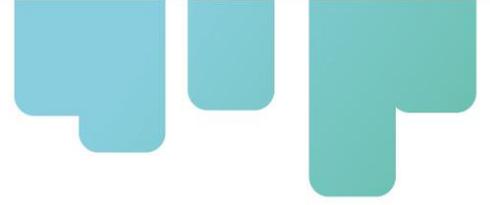
| País | Ciclo | Sistema | Tratamiento | Metano | Ox. nitroso |
|--|-------|-------------|-------------|----------|-------------|
| (Kg ha ⁻¹ día ⁻¹) | | | | | |
| Colombia | 1 | Surcos | Testigo | 0,17000 | |
| Colombia | 1 | Surcos | AWD1 | 0,00780 | |
| Colombia | 1 | Surcos | AWD2 | 0,00180 | |
| Colombia | 2 | Surcos | Testigo | 0,21000 | |
| Colombia | 2 | Surcos | AWD1 | 0,06600 | |
| Colombia | 2 | Surcos | AWD2 | -0,03100 | |
| Colombia | 3 | Surcos | Testigo | 0,02000 | |
| Colombia | 3 | Surcos | AWD1 | 0,02600 | |
| Colombia | 3 | Surcos | AWD2 | 0,04400 | |
| Colombia | 4 | Surcos | Testigo | 0,06700 | |
| Colombia | 4 | Surcos | AWD1 | 0,02100 | |
| Colombia | 4 | Surcos | AWD2 | -0,00600 | |
| Perú | 1 | Trasplante | Testigo | 0,05847 | 0,00799 |
| Perú | 1 | Trasplante | AWD1 | 0,03739 | 0,07440 |
| Perú | 1 | Trasplante | AWD2 | 0,00371 | 0,10003 |
| Perú | 2 | Trasplante | Testigo | | |
| Perú | 2 | Trasplante | AWD1 | | |
| Perú | 2 | Trasplante | AWD2 | | |
| País | Ciclo | Sistema | Tratamiento | Metano | Ox. nitroso |
| (Equiv CO ₂ - kg/ha) | | | | | |
| Chile | 1 | S.Directa | Testigo | 2978 | 1586 |
| Chile | 1 | (I) | AWD1 | 4038 | 1319 |
| Chile | 1 | | AWD2 | 2699 | 1577 |
| Chile | 1 | Pre-G. (I) | Testigo | 4353 | 1280 |
| Chile | 1 | | AWD1 | 4742 | 941 |
| Chile | 1 | | AWD2 | 3620 | 1301 |
| Chile | 2 | S.Directa | Testigo | 2406 | 1875 |
| Chile | 2 | (II) | AWD1 | 1504 | 2484 |
| Chile | 2 | | AWD2 | 1352 | 1724 |
| Chile | 2 | Pre-G. (II) | Testigo | 10873 | 1531 |
| Chile | 2 | | AWD1 | 11882 | 1546 |
| Chile | 2 | | AWD2 | 11248 | 1601 |



Hallazgos Destacados

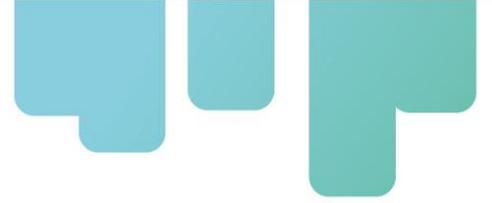
En términos generales, la aplicación del tratamiento de riego AWD1 (reposición del agua cuando se encuentra a 5 cm de profundidad en el perfil del suelo) no representó una reducción significativa de los rendimientos de cultivo. De esta manera, este tratamiento se convierte en una alternativa viable para que los agricultores puedan alcanzar un ahorro importante en el uso del recurso hídrico. Por otro lado, el sistema de siembra directa representa una interesante alternativa para la producción de arroz en Chile, alcanzando reducciones significativas en el consumo de agua sin detrimento del rendimiento.

En cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero, se observó una clara tendencia de reducción en las emisiones de metano con la implementación del sistema de manejo de agua AWD. En algunos casos, la tendencia también se observó para el óxido nitroso. De esta forma, la implementación del sistema AWD alcanza los objetivos de mayor eficiencia en el recurso hídrico, sin detrimento significativo de la productividad y con una importante reducción en la emisión de gases de efecto invernadero en el cultivo del arroz en nuestra región.



Historias en el campo

Para la evaluación de la reducción de emisiones de GEI en los países, aunque se contaba con áreas en estaciones experimentales, fue posible percibir parte de las dificultades que viven los productores de alimentos en Latinoamérica: condiciones extremas de clima (mínimas o excesivas precipitaciones, temperaturas extremas, escasa disponibilidad de agua), baja disponibilidad de equipos y herramientas adecuadas, entre otras, además de las restricciones generadas por la pandemia. Esta situación, permitió a los investigadores reconocer la importancia de tomar en cuenta todos estos elementos que afectan el proceso productivo de los agricultores, de manera que el proceso de transferencia de tecnología pueda ser más eficaz y que permita a los productores contar con soluciones que se adapten a sus necesidades y condiciones socioeconómicas y ambientales. Entre los agricultores se observa una gran expectativa en los procesos de segunda fase de este proyecto que envuelve la extensión de las tecnologías a sus campos arroceros. Existe la conciencia de la importancia de manejar con mayor eficiencia el recurso hídrico y de la responsabilidad que se tiene de desarrollar una actividad arrocera sostenible.



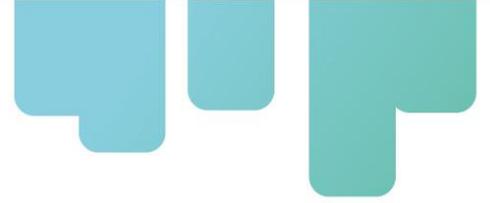
Discusión

El cultivo del arroz tiene características morfofisiologías que le permiten crecer bajo condiciones de hipoxia o anoxia. Sin embargo, no necesariamente esta condición es la mejor para su crecimiento y productividad. Algunos autores plantean el beneficio del riego intermitente a lo largo del ciclo, sobre el crecimiento y la producción del arroz, ya que permite que existan condiciones de aireación en ciertos momentos críticos del cultivo: Yamauchi *et al* (1993) reportan un mejor crecimiento radical y emergencia de hojas bajo condiciones de suelos aireados; Tajima (1995), citado por Lu (2000), reporta un mayor crecimiento radical cuando se manejó el riego intermitente durante la fase vegetativa del arroz y, a partir de allí, condiciones de inundación. Ese mayor crecimiento radical retrasó la senescencia de la hoja durante el llenado de grano. De igual forma, bajo condiciones de inundación también se reporta la producción de ciertos compuestos fenólicos que podrían reducir la disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Unger *et al*, 2010). Se han reportado resultados disímiles en cuanto a productividad comparando el sistema AWD con la inundación permanente, haciendo énfasis en la importancia de las condiciones propias de cada sitio de evaluación (Kumar y Rajitha, 2021) y la intensidad del tratamiento AWD aplicado. Los tratamientos AWD favorecen la condición de aireación de suelo, lo cual tiene impacto positivo en el cultivo. Sin embargo, es importante tener en cuenta la respuesta particular y los requerimientos hídricos de cada genotipo a la condición de humedad de suelo.

Para el proceso de implementación de la tecnología AWD en campos comerciales resulta de gran importancia la evaluación del efecto del riego intermitente sobre la dinámica de las malezas y el arroz rojo, ya que en regiones con alta presión podrían presentarse dificultades para la adopción de esta alternativa de manejo del riego.

El pico más alto de emisiones de metano (CH₄), se presentó en el tratamiento de control (riego convencional - inundado) comparado con los tratamientos de AWD que permiten disminuir la cantidad de agua utilizada en la producción de arroz y las emisiones de metano, esta observación es consecuente con los hallazgos realizados por (Prihasto, et.al. 2018) con amplia reducción del consumo de agua por unidad de área en Indonesia, así mismo (Amnat.,et.al., 2018) encontraron disminuciones hasta del 49% comparando los tratamientos de AWD con el permanente mente inundado en Tailandia.

En el tercer ciclo de evaluación en Colombia, se presentó un incremento en la emisión de metano en tratamientos de AWD, explicada por las condiciones de clima en cuanto a precipitación y temperatura para el periodo de evaluación. Lo anterior es similar a lo observado por (Aung., et.al., 2018), quienes observaron picos de emisión de metano en diferentes estados de desarrollo de la etapa vegetativa del cultivo, que incrementaron los valores de la tasa de emisión de metano durante el ciclo de cultivo en la India.



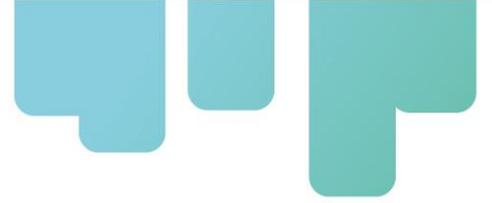
En cuanto a los resultados de emisión de óxido nitroso, la diferencia entre tratamientos se debe a la variabilidad y dispersión de las emisiones. No se evidencia un efecto de los cuatro y cinco fraccionamientos de la fertilización nitrogenada para el primer y segundo ciclo respecto a los flujos diarios de óxido nitroso entre los tratamientos (Datos no mostrados), este comportamiento puede estar asociado (Bouwman, 1991) al porcentaje de macroporos en el área de establecimiento del ensayo el cual está entre 8 y 28% donde el agua, nutrientes, aire y gases pueden circular, además de la textura del suelo, (franco arenoso) predominante en el sitio de estudio. Nuestros resultados son consistentes con los de Zou et al. (2007) y Liu et al. (2010) quienes no encontraron relación entre las emisiones de N₂O y el fertilizante nitrogenado aplicado durante la inundación cultivo de arroz, ni siquiera con cantidades mayores de nitrógeno.

En términos comparativos, se evidencia que las emisiones para los tratamientos AWD se encuentran por debajo del valor reportado en la tercera comunicación nacional de cambio climático de Colombia.

El metano se genera en condiciones anaeróbica, es por esto que una lámina constante de agua ayudaría a generar estas condiciones, emitiendo más gas cuando esto ocurra.

De acuerdo con Peyron, M., et.al. 2016. las emisiones de metano son mayores durante las etapas de inundación, por lo que es concordante una mayor cantidad de emisiones de metano en el tratamiento de inundación permanente; además, cabe señalar que el estudio realizado en Italia muestra los picos más altos de emisiones en el tratamiento continuamente inundado, al igual que en el presente proyecto, donde, en conjunto, los flujos de este tratamiento son más altos que los otros dos tratamientos. También se puede observar (según la Imagen 1 extraída del paper mencionado anteriormente y mostrado en el presente documento) que el nivel de emisión de metano para la continua inundación es menor comparado con estudios realizados en diferentes países, pues tenemos un flujo de 0.04 Mg CO₂eq/ha, mientras que el valor más bajo en otros estudios es de 2.7 Mg CO₂eq/ha, proyecto realizado en Vietnam.

En el anexo 1, las mediciones de metano de acuerdo con diferentes referencias que reafirman los resultados obtenidos en los experimentos en los tres países, A. Mejjide, et al., 2016 también concuerda con que las mayores emisiones de CH₄ ocurren con una mayor cantidad de agua utilizada, es decir, un mejor manejo de agua ayudaría a reducir las emisiones de metano.



Peyron, también muestra en los resultados de su estudio las mayores emisiones de N₂O durante las etapas secas o sin inundación, esto va acorde con el presente proyecto, puesto que las mayores emisiones de N₂O se muestran en el T2, pues presenta más días de secado. Mejide, et.al. indica que condiciones aerobias favorecen la emisión de N₂O, lo cual fue demostrado en su experimento, lo que conlleva a afirmar las mayores emisiones de este gas en días secos.

Es conocido que el metano se genera en condiciones anaeróbica, por lo tanto, una lámina constante de agua podría favorecer estas condiciones, emitiendo más gas cuando esto ocurra. A inicios de la etapa de maduración se observó para los tres tratamientos una disminución del flujo promedio, esto probablemente se debe a la baja tasa de fotosíntesis por el inicio del desarrollo del grano y disminución del carbono orgánico disponible en el suelo que no es liberado por las raíces.

El óxido nitroso depende mucho de las reacciones ocurridas en el suelo: nitrificación y desnitrificación, además de la disponibilidad de este nutriente; usualmente se realizan fertilizaciones en los cultivos de arroz que aumenta la disponibilidad del N₂ para ser aprovechado por la planta, pero en condiciones aerobias, las reacciones ya mencionadas forman N₂O, gas que es emitido hacia la atmósfera y tiene un potencial de calentamiento global equivalente a 296.

Las fluctuaciones de emisiones se podrían explicar por un lado el incremento de las emisiones sería debido a la influencia de fertilizantes nitrógenos en riegos no inundados, debido a una mayor disponibilidad de O₂ para la producción de N₂O y por otro lado la disminución de las emisiones sería debido al consumo de N por el cultivo y pérdidas incluso en los suelos aireados en las últimas etapas fenológicas.

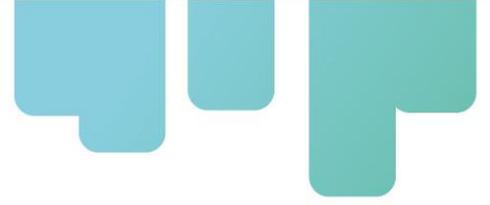
El comportamiento del CO₂ se puede explicar debido a que las emisiones negativas indican la absorción neta de CO₂ que representa el balance de la fotosíntesis y respiración del suelo, y las emisiones positivas representan liberación neta de CO₂ como respiración del ecosistema. La variabilidad de las emisiones probablemente es debido a los procesos de fotosíntesis y respiración se caracterizan por poseer una alta variabilidad espacial, lo que plantea un problema común cuando se trata de cuantificar las emisiones de GEI de los suelos.

Según (Wachinger G., et. al., 2000), el curso temporal de las tasas de producción de CH₄ depende de varios factores como, el nivel freático del horizonte del suelo y del tipo de suelo. Sin embargo, las cantidades absolutas de producción de CH₄ difirieren en gran medida entre las diferentes estructuras de cada tipo de suelo.

Aunque en algunos casos el óxido nitroso disminuyó en su emisión bajo los tratamientos propuestos, es importante considerar que, la formación de N₂O en el suelo se produce principalmente a través de procesos de nitrificación y desnitrificación, que están influenciados por la humedad del suelo, la temperatura, la concentración de oxígeno, la cantidad de carbono

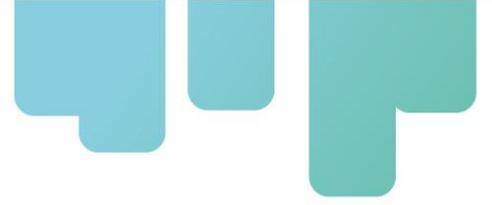


orgánico y nitrógeno disponible y la relación C / N del suelo. Entre estos factores, los relacionados con el suelo podrían ser fácilmente alterados por las prácticas de manejo. Por lo tanto, comprender los procesos de formación de N₂O en los suelos y los factores que influyen en estas emisiones es fundamental para desarrollar estrategias eficientes para reducir las emisiones de N₂O en los suelos agrícolas (Signor., et.al. 2013). Estos autores también sugieren que fraccionar la dosis de fertilizante nitrogenado recomendada para el cultivo y aplicar fertilizantes asegurando que se distribuyan al interior de las capas del suelo puede reducir las emisiones de N₂O; como factores de manejo adicionales para este fin.



Conclusiones

- La aplicación de los tratamientos AWD permitieron una reducción en el consumo de agua para la producción de arroz, que osciló entre el 3,5% y el 42.4% en las condiciones de evaluación de los tres países, en comparación con el manejo que tradicionalmente emplean los cultivadores del cereal.
- Las prácticas asociadas a la tecnología AWD en el manejo del recurso hídrico, no presentaron reducción significativa del rendimiento en la mayoría de los ensayos del proyecto. En términos generales, AWD1 presentó mejores resultados que AWD2.
- Se encontraron reducciones significativas de metano en la mayoría de los ensayos del proyecto, gracias a la aplicación de los tratamientos AWD. Los resultados de óxido nitroso presentaron una mayor variabilidad, de manera que en algunos ensayos se registraron reducciones en la emisión y en otros ensayos se presentaron incrementos, en los tratamientos AWD con respecto al testigo inundado.

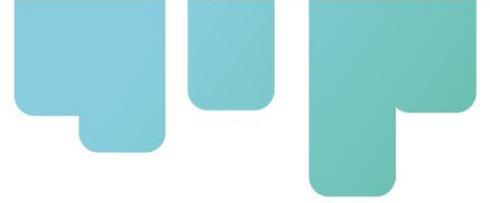


Recomendaciones

AWD demuestra ser una tecnología de manejo del riego que ahorra agua de manera muy eficaz en la producción de arroz en Latinoamérica. Sin embargo es muy importante contar con la voluntad de los diferentes sectores relacionados con el manejo y uso del recurso hídrico en los países, para la implementación de la tecnología entre la variable diversidad de los agricultores arroceros en la región; no solo compartiendo experiencias y generando conciencia, si no tal vez más importante, ayudando a los agricultores y administradores del recurso a modificar la gestión y la gobernanza en la distribución del recurso, en lo técnico, económico y social.

Es de vital importancia, diseminar los resultados de trabajos como este y similares, en generar cambios en la conciencia productiva de los agricultores y todos los actores relacionados con la producción de arroz en Latinoamérica, mediante herramientas que demuestren la bondad de la implementación de prácticas diferentes en la producción. Así como las consecuencias presentes y futuras de no implementar cambios que, aunque pequeños suman para beneficio de todas las comunidades.

Aumentar la participación de los agricultores en la investigación de AWD, mediante el uso de métodos participativos e interdisciplinarios, podría mejorar la adopción de estas técnicas u otras similares de ahorro de agua.



Referencias Bibliográficas

Bayer, C.; Costa, F.S.; Pedroso, G.M.; Zschornack, T.; Camargo, E. S., Lima, M. A.; Frigheto, R. T. S.; Gomes, J.; Marcolin, E.; Macedo, V. R. M. 2014. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. *Field Crop Res.* 162, 60-69.

Bouwman, A. F. (1991). "Agronomic aspects of wetland rice cultivation and associated methane emissions". *Biogeochemistry*. Volumen (15) pp. 65, 88. 2025. SN - 1573-515X

Bouwman, B. A. M and Tuong, T.P., 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manage* 49,11–30.

Boateng, K.K.; Obeng, G.Y.; Mensah, E., 2017. Rice cultivation and greenhouse gas emissions: A review and conceptual framework with reference to Ghana. *Agriculture* /7. Doi:10.3390/agriculture7010007.

Cadena, D., 2016. Determinación de las áreas agroclimáticas idóneas para la aplicación del sistema de humedecimiento y secado alternativo en arroz en Colombia (Tesis de Pregrado). Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Carrijo, D.R., Lundy, M. E, Linqvist, B.A., 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *Field Crops Res.* 203,173–180.

FAO (2016) FAOSTAT Emissions Database, Agriculture, Rice Cultivation. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GR>.

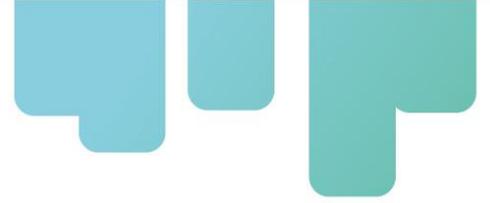
González, M., Saldarriaga, G., & Jaramillo, O., 2010. Estimación de la demanda de agua. IDEAM, Estudio nacional de agua (pp. 170-228). Bogotá: IDEAM.

GRiSP (Global Rice Science Partnership). 2013. Rice almanac, 4th edition. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 283 p.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA. 2016. Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, -DNP, CANCELLEÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

IPCC, 1996: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Trianton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs, and B.A. Callander (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Meteorological Office, Bracknell, United Kingdom

Kumar, A., Rajitha, G. 2019. Alternate Wetting and Drying (AWD) Irrigation - A Smart Water Saving



Technology for Rice: A Review. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 8 (3): 2561-2571

Liu, S.; Qin, Y.; Zou, J.; Liu, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N₂O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in a southeast China. *Sci Total Environ.* 2010, 408, 906-13.

Lu, J., Ookawa, T., Hirasawa, T. 2000. The effects of irrigation regimes on the water use, dry matter production and physiological responses of paddy rice. *Plant and Soil*, 223: 207–216.

Meijide, A., *et al.* 2016. Water management reduces greenhouse gas emissions in a Mediterranean rice paddy field, *Agric. Ecosyst. Environ.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.017>

Peyron, M., *et.al.* 2016. Greenhouse gas emissions as affected by different water management practices in temperate rice paddies. *Italia.*

Unger, I., Muzika, R., Motavalli, P. 2010. The effect of flooding and residue incorporation on soil chemistry, germination and seedling growth. *Environmental and Experimental Botany* 69 (2010) 113–120

Signor D., *et.al.* 2013. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Review Article - Pesqui. Agropecu. Trop.* 43 (3) - Sept 2013 - <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>.

Wachinger, G., *et.al.*, 2000. Variability of soil methane production on the micro-scale: spatial association with hot spots of organic material and Archaeal populations AU. *Soil Biology and Biochemistry* vol. 32 - IS - 8 SP - 1121 -DA - 2000/08/01/SN - 0038-0717 [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00024-9)

Yamauchi, M., Aguilar, A. M., Vaughan, D. A., Seshu, D. V. 1993. Rice (*Oryza sativa* L.) germplasm suitable for direct sowing under flooded soil surface. *Euphytica*, 67: 177–184.

Zou, J.; Huang, Y.; Zheng, X.; Wang, Y. Quantifying direct N₂O emissions in paddy fields during rice growing season in mainland China: dependence on water regime. *Atmos Environ.* 2007, 41, 8030-42.

Zschornack, T., da Rosa, C. M., Pedroso, G. M., Marcolin, E., da Silva, P. R. F., Bayer, C., 2016 Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions in subtropical paddy rice under alternative irrigation systems. *Nutr Cycl Agroecosys* 105, 61–73.

Anexos

Anexo 1. Mediciones de metano de acuerdo con diferentes referencias, Meijide, A., *et al.* 2016.

Table 6
Reference studies providing methane field emission measurements from different environments. In all studies, CH₄ emissions were measured using the closed chamber method.

| Study | Location | WFL | DFL | DIR |
|-------------------------|------------|---|-----|-----|
| | | CH ₄ (Mg CO ₂ eq ha ⁻¹) | | |
| Pandey et al. (2014) | Vietnam | 2.7 | - | 0.8 |
| Zhang et al. (2012) | China | 4.6 | - | 1.4 |
| Yang et al. (2012) | China | 4.1 | - | 0.6 |
| Ko et al. (2002) | Korea | 9.3 | 6.0 | - |
| Setyanto et al. (2000) | Indonesia | 6.4 | - | - |
| Brodth et al. (2014) | California | 6.5 | - | - |
| Pittelkow et al. (2014) | California | 8.4 | 4.4 | - |
| Meijide et al. (2011) | Italy | 10.0 | - | - |
| This study | Italy | 9.6 | 3.9 | 0.0 |

Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org
Correo electrónico: fontagro@fontagro.org