

CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO Y ÓXIDO NITROSO EN EL CULTIVO DE ARROZ

G. Cantou^{1/}, M. C. Capurro^{1/}, A. Roel^{1/}, P. Irisarri^{2/}, S. Tarlera^{3/}, A. Fernández^{3/}

El cultivo de arroz bajo riego es considerado una de las principales fuentes mundiales de emisión de metano (CH₄) derivadas de la actividad humana y una importante fuente de óxido nitroso (N₂O); ambos gases contribuyentes al efecto invernadero. Se estima que ambos gases son responsables de un 25% del aumento del calentamiento global (Jacobson, 2005; Mosier, 1998, citados por Pereyra, 2009). Los gases de efecto invernadero (GEI) tienen diferente capacidad de calentamiento, basado en su impacto radiativo y su duración en la atmósfera y el gas de referencia tomado como unidad es el dióxido de carbono (CO₂). El CH₄ y el N₂O tiene un potencial de calentamiento 25 y 298 veces mayor que el CO₂ respectivamente, para una escala de tiempo de 100 años (IPCC, 2007).

En Uruguay se estima que el 90% del total de CH₄ emitido proviene del sector agropecuario, del cual el 84% proviene de la fermentación ruminal del ganado, un 2% al manejo del estiércol y un 4% corresponde al generado por cultivos como el arroz (DINAMA, 2006).

El CH₄ se produce en ambientes anóxicos (carentes de oxígeno), como humedales y arrozales, por organismos metanogénicos (archaea) durante la degradación anaeróbica de la materia orgánica (Itoh et al., 2011). Su emisión es el resultado de una serie de procesos complejos, que involucra la interacción plantas-microorganismos y su liberación hacia la atmósfera está determinada por las tasas de metanogénesis y de oxidación de metano (Mishra et al., 1997). Por otro lado, la agricultura es la principal fuente de la mayoría de las emisiones de N₂O. Este es producido a partir de procesos que se dan en el suelo, como producto intermedio de la nitrificación y desnitrificación microbiana (Vibol and Towprayoon, 2010).

Existe poca información nacional acerca de los niveles de emisión de GEI en el cultivo de arroz. Las primeras determinaciones fueron realizadas en el marco del Proyecto "Emisiones de metano y óxido nitroso en la rotación arroz-pastura en el este uruguayo", financiado por el Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria de INIA (FPTA N° 238, 2007-2010). Este fue ejecutado por Facultad de Química, como una primera aproximación al impacto de algunas prácticas de manejo del cultivo (fertilización nitrogenada y coberturas invernales), sobre la emisión de estos gases en la rotación arroz-pasturas. En este trabajo se estimó una emisión total del cultivo de arroz de entre 129 y 482 kg de C- CH₄.ha⁻¹.año⁻¹ y se constató que el manejo del agua determinó, en gran medida, la dinámica de las emisiones de CH₄ y N₂O.

Por otro lado, la fertilización nitrogenada y la presencia de la cobertura invernal (raigrás) influyó positivamente en la emisión de dichos gases (Pereyra, 2009).

A nivel internacional, varios autores afirman que el manejo del agua es uno de los principales factores que afecta directamente las emisiones de CH₄ y N₂O en el cultivo de arroz. Estos sugieren modificar las técnicas de gestión del agua como una opción viable para mitigar las emisiones de CH₄, manejando las condiciones de reducción en el cultivo. Se ha demostrado que las emisiones de CH₄ son mayores en cultivos con inundación continua respecto a un cultivo manejado con riego intermitente, promoviendo a este último sistema como una estrategia potencialmente eficaz para mitigar las emisiones (Sass et al., 1992; Chen et al., 1993; Cai et al., 1994 citados por Itoh et al., 2011; Yagi et al., 1996; Minamikawa y Sakai, 2006; Shiratori et al., 2007, Towprayoon et al., 2005). Por el contrario, las emisiones de N₂O son despreciables en cultivos de arroz bajo inundación continua (Denmead et al., 1979; Freney et al., 1981; Smith et al., 1982; Zou et al., 2005 citados por Liu et al., 2009).

La cuantificación de las emisiones de CH₄ y N₂O bajo condiciones estándares es fundamental a la hora de computar la Huella de Carbono (H de C) del sector arrocero. Esta consiste en calcular y adicionar las emisiones de GEI a lo largo de toda la cadena arrocera (transporte de insumos - producción de insumos - fase primaria - fase industrial-transporte a destino, etc). Estos valores son reportados generalmente en términos de CO₂ equivalente/kg arroz elaborado. La bibliografía internacional indica que dentro de los componentes de mayor peso en la H de C del arroz está el CH₄ producido en la fase productiva (Yoshikawa 2010). Por lo tanto es muy importante poder generar datos de emisiones locales a los efectos de los cálculos de la H de C.

El presente experimento tiene dos objetivos principales: 1) cuantificar las emisiones de CH₄ y N₂O para la variedad El Paso 144, bajo prácticas de manejo estándares para el cultivo de arroz en Uruguay y 2) evaluar la interacción entre dichas emisiones y el manejo del agua, comparando dos sistemas de riego contrastantes. Para este último, la hipótesis de trabajo es que el cultivo de arroz bajo un sistema de riego con déficit controlado implementado en la fase vegetativa, permitiría disminuir las emisiones de CH₄ aunque aumentaría las de N₂O respecto a un sistema de inundación continua, por lo que sería una herramienta eficaz para mitigar las emisiones de GEI (expresada en CO₂ equivalente).

MATERIALES Y MÉTODOS

En la zafra agrícola 2011/2012, se instaló un ensayo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (UEPL/INIA),

^{1/} INIA Treinta y Tres

^{2/} Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República (UDELAR).

^{3/} Cátedra de Microbiología, Departamento de Biociencias, Facultad de Química, UDELAR.

sobre un Brunosol Subéutrico Lúvico, con las siguientes características: pH (H₂O) = 5.5, MO = 1.9 %, P Bray I = 5 ppm, P Ac. Cítrico = 5 ppm, K int. = 0,18 meq/100g.

Se evaluaron dos sistemas de riego: inundación continua (IC₃₀) vs. riego con déficit controlado (RR). Se utilizaron parcelas de 66 m². El manejo del cultivo se detalla en el cuadro 1.

Cuadro 1. Manejo del cultivo.

Actividad	Fecha	Detalle
Siembra y fertilización basal	22/10/11	Variedad: 146 kg/ha de semilla de El Paso 144
Aplicación de herbicida	30/10/11	Fertilización: 184 kg/ha de 9-40-13 (N ₁₇ P ₇₄ K ₂₄) Clomazone 0.8 l/ha
Emergencia	09/11/11	
Aplicación de herbicida	22/11/11	Quinclorac 1.5 l/ha + Propanil 3 l/ha + Cyperof 50 g/ha
Fertilización	09/12/11	Macollaje: 60 kg/ha de urea*
	Variable según tratamiento	Primordio: 60 kg/ha de urea** : 06/01/12 para IC ₃₀ y 20/01/12 para RR
Inundación permanente	09/12/11	Tratamiento IC ₃₀
	20/01/12	Tratamiento RR

IC₃₀: tratamiento de inundación continua; RR: riego con déficit controlado.

*previo a la inundación de IC₃₀ y previo al primer riego de RR (en seco).

**previo a la inundación (en seco) para el tratamiento de riego con déficit controlado.

Para el tratamiento IC₃₀, la inundación permanente se estableció a los 30 días después de la emergencia (DDE). En el caso de RR, el tratamiento se inició en ese mismo momento y se llevó a cabo hasta el inicio de la fase reproductiva (diferenciación del primordio floral), momento a partir del cual se estableció la inundación continua (Figura 1). El criterio de suministro de agua durante la fase vegetativa para este último tratamiento

fue el siguiente: se inicia en condiciones de suelo saturado y cuando se consume (evapotranspira) el 50% del agua disponible en el suelo (25 mm para un perfil de 30 cm de este suelo), se suministra agua de manera que este quede nuevamente saturado. Por lo tanto, durante este periodo (30 a 72 DDE) se alternaron periodos de suelo húmedo y seco.



Figura 1. Representación del ciclo del cultivo para los tratamientos de inundación continua (IC₃₀) y riego con déficit controlado (RR).

Una vez establecida la inundación permanente, el criterio de riego utilizado fue el mismo para ambos tratamientos y consistió en mantener una lámina de agua continua de 10 cm de profundidad. Se dejó de suministrar agua a los 15 días después del haber alcanzado el 50% de floración.

Para cuantificar la magnitud del flujo de CH₄ y N₂O emitidos, se utilizó el "método de cámaras cerradas" (IAEA, 1992). Este método consiste en utilizar cilindros de acrílico transparentes (de 60 cm de altura), diseñados en el marco del FPTA N° 238, que permiten incluir la planta de arroz hasta su máximo desarrollo,

considerando que el transporte de CH₄ hacia la atmósfera se da mayoritariamente a través de la planta, a pesar de producirse en el suelo (Nouchi y col., 1990; Irisarri et al., 2010). Al momento de tomar las muestras de aire, dichas cámaras eran colocadas sobre una base de acero inoxidable de 20 cm de alto, la cual permaneció enterrada en el suelo durante todo el transcurso del experimento. La unión de ambas partes se aseguró mediante un cierre de agua para evitar el escape de los gases. Las cámaras contaron además con un ventilador a batería para asegurar la homogeneidad de la atmósfera interior y un "tubo de ventilación" que atraviesa su sección superior,

conectado en su extremo a un globo de goma, con el fin de mantener el equilibrio entre las presiones externa e interna de la cámara. Algunas cámaras contaban también con un termómetro interno para la detección y el seguimiento de la temperatura dentro de la misma.

Para las mediciones se tomaron los criterios que se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios para la toma de muestras de CH₄ y N₂O.

	Momento de muestreo	Intervalos de medición por muestreo*
N ₂ O	- Desde emergencia hasta dos semanas después de establecida la inundación permanente (una vez por semana). - Luego de cosecha (una medición).	3 medidas a intervalos de 15 minutos (tiempos 0-15'-30').
CH ₄	Desde emergencia hasta 15 días después de cosecha (una vez por semana).	3 medidas a intervalos de 30 minutos (tiempos 0-30'-60').

*En el momento del muestreo se tomaron 3 muestras de aire en tubos al vacío en dichos intervalos. A su vez, cada muestra contaba con su duplicado, el cual se utilizaba como control de calidad.

Los flujos de CH₄ y N₂O en los arrozales presentan patrones diurnos distintivos: las tasas de emisión suelen aumentar rápidamente después del amanecer, se da un pico de emisión temprano en la tarde y luego cae rápidamente, estabilizándose por la noche (Schutz et al., 1989; Yagi y Minami, 1993, citados por Neue, 1997). En este experimento todos los muestreos se iniciaron a las 13 pm, por lo que, considerando que la temperatura máxima diaria de la atmósfera ocurre luego del mediodía y teniendo en cuenta la correlación positiva entre la temperatura atmosférica y las emisiones de GEI (Yamane y Sato, 1967; Yang y Chang, 1998; Devevre y Horwath, 2000, citados por Minamikawa et al., 2006), resulta importante aclarar que los valores determinados en dichos muestreos para ambos gases corresponderían a las emisiones máximas diarias.

El análisis de las concentraciones de CH₄ y N₂O en las muestras de aire se realizó mediante cromatografía gaseosa en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Química. Se utilizó los cromatógrafos de gases Shimadzu ECD-2014 y Shimadzu GC-2014 para determinar la concentración de N₂O y CH₄, respectivamente. Los cromatogramas de N₂O y CH₄ obtenidos fueron analizados mediante el Software GC Solution y el Software PeakSimple, respectivamente. La tasa de emisión de ambos gases se calculó según Watanabe et al. (2000): $F = \rho \cdot h \cdot (dC/dt)$, donde F corresponde a la tasa de emisión de N-N₂O o C-CH₄ en

$g \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$; ρ es la densidad de N-N₂O o C-CH₄ corregida por la temperatura existente en el interior de la cámara de muestreo; h es la altura de la cámara desde el suelo o el nivel de agua y dC/dt es el incremento de la concentración de N₂O o CH₄ dentro de la campana con el tiempo. La tasa de emisión obtenida para las réplicas de cada tratamiento fue promediada para determinar el valor final de emisión por tratamiento.

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas en bloques al azar, con seis repeticiones (tres bloques y dos campanas por parcela).

RESULTADOS

En ambos manejos del agua se observó que la tasa de emisión de CH₄ tuvo un incremento progresivo hasta llegar a un valor máximo, luego descendió con el tiempo y se volvió a registrar un segundo pico de emisión (Figura 2). El nivel máximo alcanzado en IC₃₀ fue 84% mayor al detectado en el tratamiento RR (9,2 vs. 5,0 kg CH₄·ha⁻¹·d⁻¹, respectivamente), los cuales fueron registrados a los 75 y 54 días luego de haberse establecido la inundación permanente (DDI) para IC₃₀ y RR, respectivamente. Cabe resaltar que en ambos tratamientos se detectaron emisiones de CH₄ desde las primeras muestras de aire recolectadas a los 2 y 37 días después de emergencia (DDE) para IC₃₀ y RR, respectivamente.

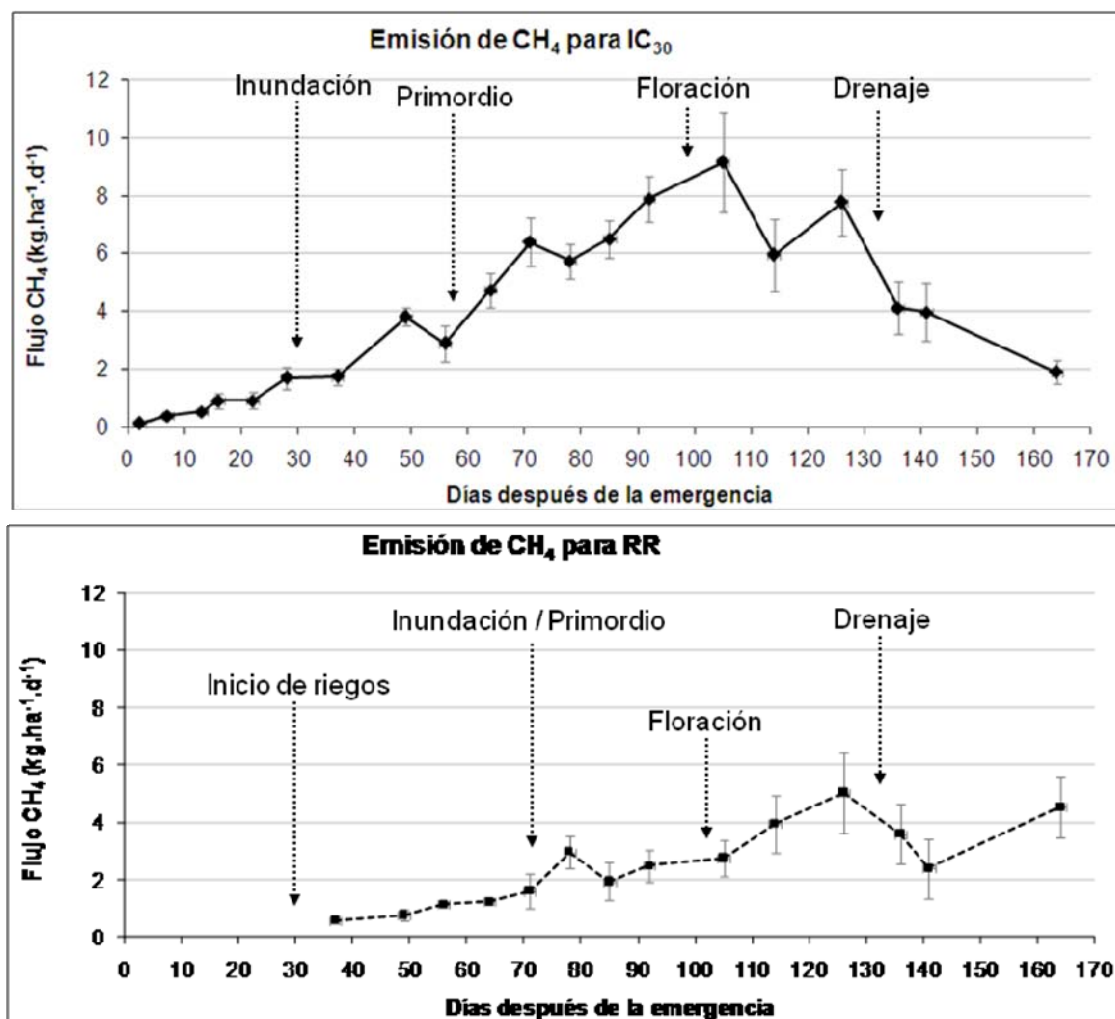


Figura 2. Emisiones de metano por tratamiento de riego desde emergencia (día 0) hasta 164 días después de la misma.

La baja tasa de emisión de CH₄ observada durante la etapa vegetativa en el tratamiento IC₃₀ puede ser resultado de la baja capacidad de transporte (desde el suelo a la atmósfera) que posee la planta debido al poco desarrollo que presentan las raíces y los macollos. Existe una alta correlación entre la biomasa de la planta (tanto de la parte aérea como de la subterránea), con el flujo de emisión del CH₄. Una mayor biomasa radical proporcionaría una mayor superficie para la difusión del CH₄ desde el suelo reducido a las raíces, mientras que una mayor biomasa aérea facilitaría el transporte del gas a través de la planta (Baruah et al., 2010).

Algunos estudios reportan que la población y la estructura de la comunidad metanogénica se mantiene constante en los diferentes períodos de crecimiento del cultivo de arroz, aún en condiciones de drenaje (Asakawa and Hayano, 1995; Watanabe et al., 2004, 2006, citados por Li et al., 2011), aunque su actividad comienza a aumentar poco después de la inundación y la magnitud con la que lo hace (la presencia de un pico de emisión temprano en la etapa vegetativa) dependería de la fermentación de la materia orgánica fácilmente degradable y de las condiciones de reducción del suelo por inundación (Li et al., 2011).

En el tratamiento IC₃₀, el primer pico se generó iniciando la etapa de llenado de granos (8 días después de que el cultivo alcance el 50% de floración) y el segundo a los 29 días después de 50% de floración. En RR, la aplicación de riegos intermitentes durante el período vegetativo (desde 30 a 72 DDE) afectó el patrón de emisión de CH₄, así como los valores diarios obtenidos luego de establecida la inundación. Para este tratamiento, el primer pico se manifestó en la etapa de llenado de granos (23 días después de alcanzado el 50% de floración) y ocurrió en la misma fecha que el segundo pico de IC₃₀ (14 de marzo de 2012). El hecho de que las mayores emisiones de este gas se den en etapas avanzadas del cultivo es producto de las fuertes condiciones de anaerobiosis y la presencia de abundantes nutrientes en dicho momento, que proporcionan un ambiente favorable para la actividad metanogénica (Aulakh et al., 2001, citado por Baruah et al., 2010).

La emisión de CH₄ previo a la inundación del cultivo fue baja para ambos tratamientos, dado que la humedad del suelo (el potencial redox del mismo) no fue lo suficientemente apropiada para la producción de este gas. En promedio se registró una emisión diaria de 0,60 kg CH₄.ha⁻¹.d⁻¹ en el período de 0 a 30 DDE para IC₃₀ y de 0,23 kg CH₄.ha⁻¹.d⁻¹ desde 30 a 72 DDE para RR.

Cuando el cultivo de arroz se drena para la cosecha, a medida que los macroporos se van aireando, se va liberando la mayor parte del CH_4 que estaba "atrapado" por el suelo. Este proceso culmina una vez que el suelo se airea totalmente (Neue et al., 1994, citado por Neue, 1997) y las emisiones de CH_4 disminuyen a valores de cero (Peng et al., 2011). Las condiciones de aerobiosis que se dan luego del drenaje también promueven la oxidación del CH_4 producido durante la inundación. En el presente experimento se detectaron flujos de CH_4 incluso en la última medición realizada a los 164 DDE (1,9 y 4,5 $\text{kg CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ para IC_{30} y RR respectivamente), 32 días después de haber efectuado el retiro de agua de las parcelas de arroz para ambos tratamientos.

En la figura 3 se presenta la temperatura media atmosférica y las precipitaciones ocurridas en el período en que se realizaron los muestreos. La temperatura tiene efectos sobre la emisión de GEI, no solo porque afecta a los microorganismos responsables de llevar a cabo los procesos de producción y consumo de CH_4 presentes en el suelo sino que también afecta la conductancia a través de la planta de arroz para el transporte del CH_4 producido en el suelo y el sustrato suministrado por los tejidos de la planta (Nouchi et al., 1994; Minoda y Kimura, 1994; Yang y Chang, 1998 citados por Minamikawa et al., 2006). En esta zafra en particular, en promedio se registró una temperatura media diaria de 2,8 °C por encima de la serie histórica desde el 30 de diciembre al 22 de febrero de 2012 (82 a 105 DDE).

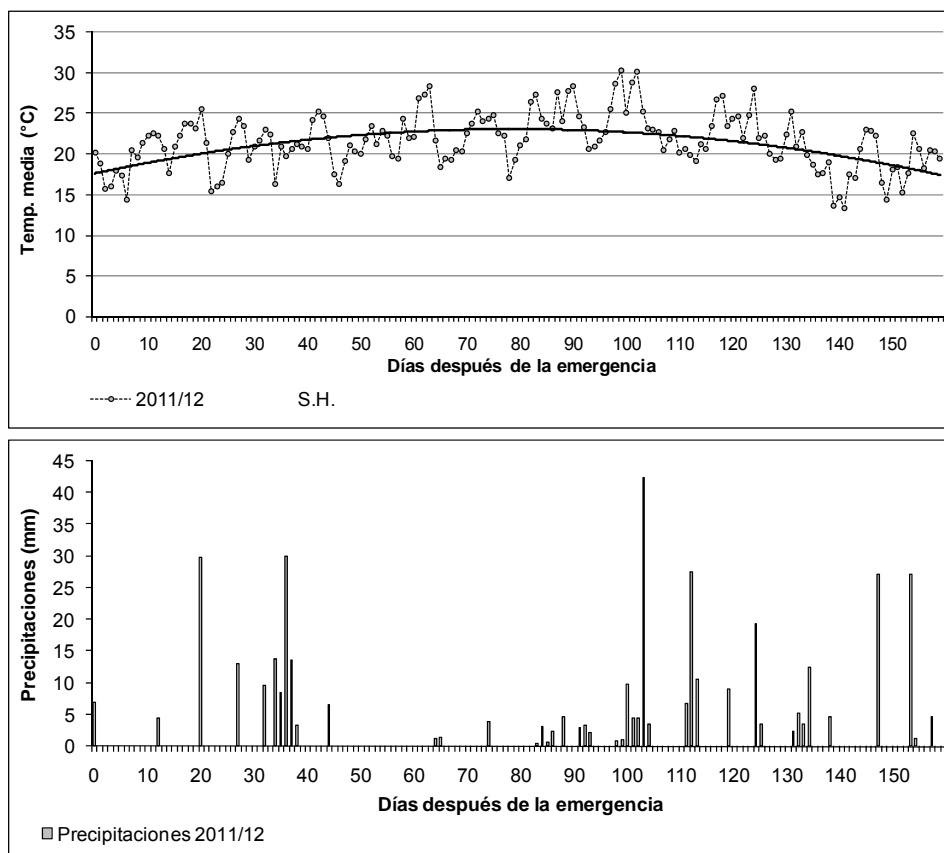


Figura 3. Temperatura media (°C) y precipitaciones desde el 9 de noviembre 2011 al 16 de abril 2012. Datos de la Estación Meteorológica de la UEPL/INIA, Treinta y Tres, Uruguay. S.H: Serie Histórica (1973-2012).

En el presente trabajo se determinó una emisión de 343 y 191 $\text{kg CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$ durante todo el ciclo del cultivo (0 a 164 DDE) para IC_{30} y RR, respectivamente. Es importante resaltar que para dicho cálculo se corrigieron los valores de emisiones considerando las temperaturas medias del día para tener el dato de emisión media diaria de los gases (como ya se mencionó anteriormente, los muestreos se realizaron en horas donde se dan las temperaturas máximas diarias de la atmósfera). En el caso de RR se consideró que emitió la misma cantidad de gas que IC_{30} para el periodo previo a 30 DDE, ya que no se habían iniciado los tratamientos y hasta esa fecha ambos cultivos se encontraban en las mismas condiciones de producción.

En general, las emisiones de N_2O mostraron un comportamiento opuesto respecto a CH_4 en el transcurso del ciclo del cultivo, registrando un pico de emisión previo a la inundación del cultivo (Figura 4). Para el tratamiento IC_{30} , las emisiones estuvieron más asociadas al régimen de agua (a la alternancia de episodios de anaerobiosis/aerobiosis generados por riegos o lluvias). La emisión de N_2O en el cultivo de arroz es causada por nitrificación en suelos oxidados y desnitrificación en suelos semi-reducidos, por lo que luego de una lluvia o de un riego es esperable que los flujos de este gas se incrementen.

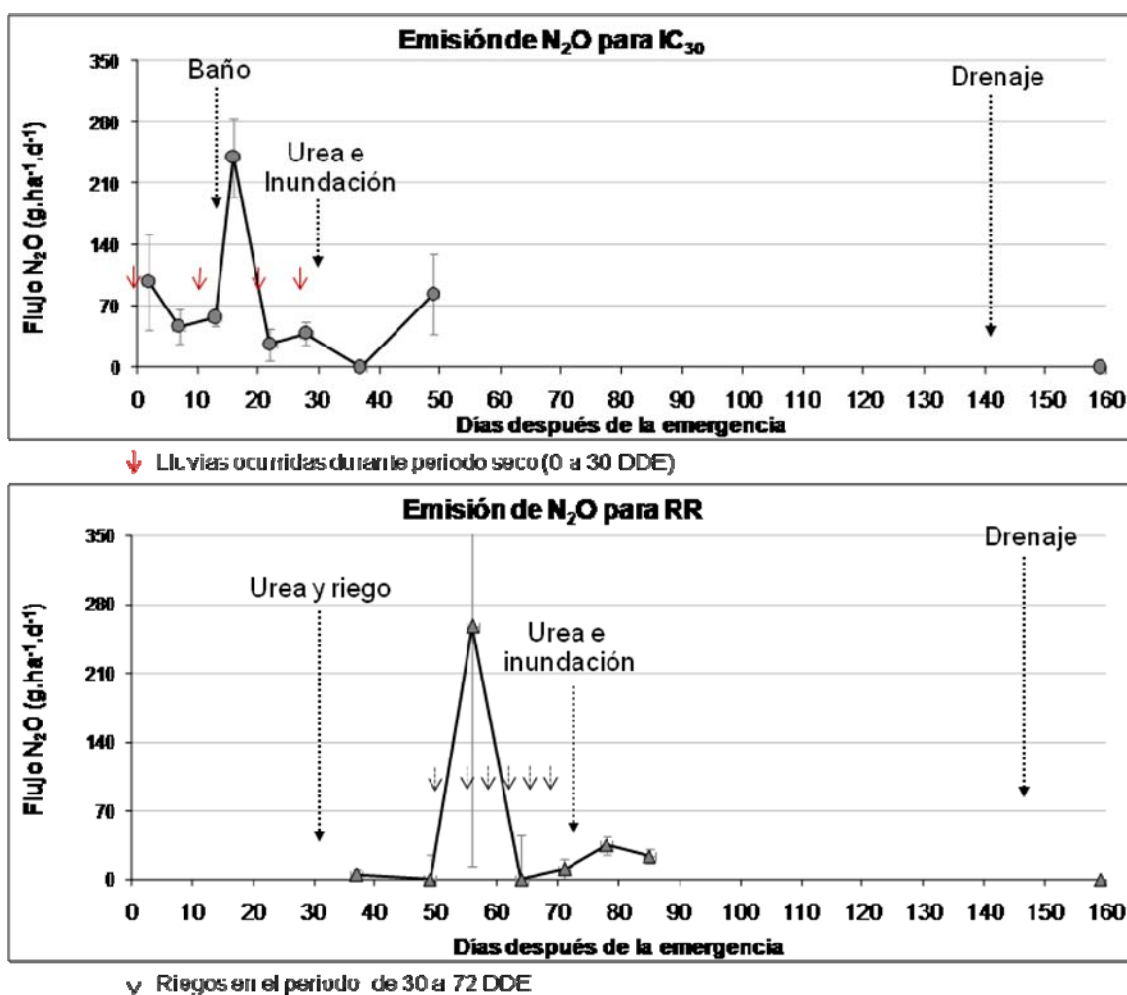


Figura 4. Emisiones de óxido nítrico por tratamiento de riego (g.ha⁻¹.d⁻¹).

En IC₃₀, el máximo de emisión detectado ocurrió luego del primer baño realizado 14 DDE y alcanzó un valor de 240 g N₂O.ha⁻¹.d⁻¹. En RR, si bien se aplicaron riegos intermitentes durante el período de muestreo de 37 a 85

DDE (Cuadro 3), a los 49 y 64 DDE no se detectaron valores de emisión para N₂O. El valor máximo (257 g N₂O.ha⁻¹.d⁻¹) se dio a los 56 DDE, aunque con un alto desvío estándar (487 g N₂O.ha⁻¹.d⁻¹).

Cuadro 3. Fechas de riego y volumen aplicado a los tratamientos.

Trat.	Baños		Riegos intermitentes	
	Fecha	Volumen (mm)	Fecha	Volumen (mm)
IC ₃₀	23 Nov (14 DDE)	79	----	----
RR	23 Nov (14 DDE)	92	9 Dic. (30 DDE)	74
			30 Dic. (51 DDE)	58
			3 Ener (55 DDE)	17
			5 Ener (57 DDE)	20
			9 Ener (61 DDE)	24
			13 Ener (65 DDE)	23
			17 Ener (69 DDE)	22

IC₃₀: tratamiento de inundación continua; RR: riego con déficit controlado.
* Baños efectuados previo al establecimiento de la inundación permanente.

Una vez inundado el cultivo y en condiciones favorables para la desnitrificación, se restringe la formación de N₂O y su emisión (Towprayoon et al., 2005). En este trabajo se hallaron emisiones de 84 y 24 g N₂O.ha⁻¹.d⁻¹, a los 18 y 13 DDI para IC₃₀ y RR, respectivamente. Luego del retiro de agua y posteriormente a cosecha, no se detectó emisiones de N₂O en ambos tratamientos.

En el presente trabajo se determinó una emisión total de 1536 y 2372 g N₂O.ha⁻¹, para IC₃₀ y RR, respectivamente (para estos cálculos se hizo la misma consideración que la descripta para CH₄).

Para el cálculo de las emisiones de GEI, es necesario que todos los gases se conviertan en una métrica común, la cual suele expresarse en términos de equivalente de carbono o CO₂ equivalente. El Potencial de Calentamiento Global (GWP - *Global Warming Potential*) se utiliza para comparar las capacidades de diferentes GEI en atrapar el calor en la atmósfera. El GWP es la relación entre el calentamiento global (o forzamiento radiativo) de 1 kg de GEI con 1 kg de CO₂,

en un período de tiempo determinado (el IPCC proporciona valores de GWP a 20, 100 y 500 años para cada uno de los principales GEI). Por lo tanto, el GWP es una métrica estándar para la conversión de las emisiones de varios gases en una medida común (IPCC, 2007). En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos para ambos tratamientos en términos de GWP.

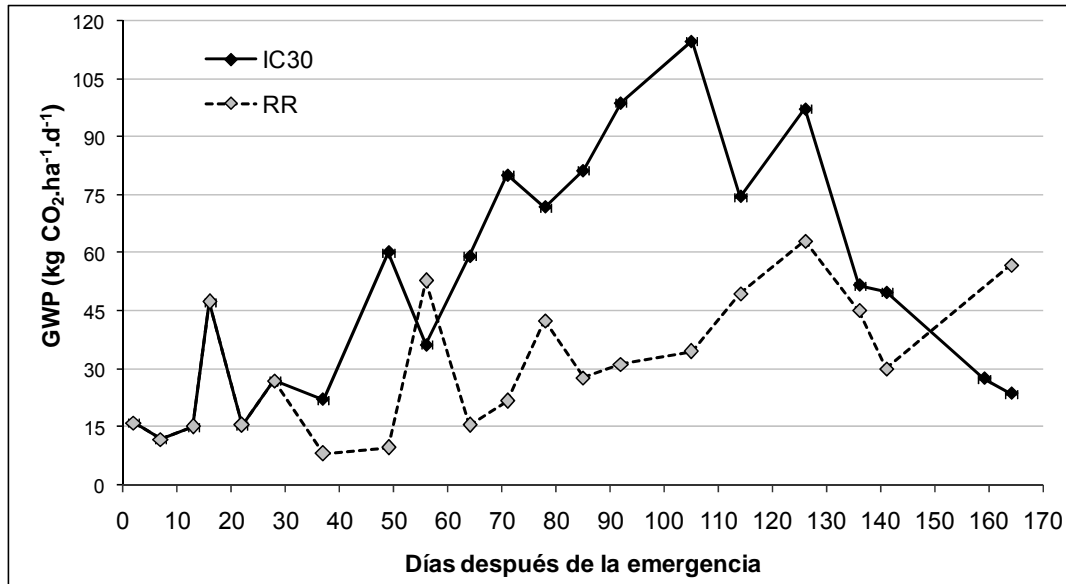


Figura 5. Potencial de Calentamiento Global (GWP) por tratamiento de riego (kg CO₂.ha⁻¹.d⁻¹), desde la siembra del cultivo hasta 32 días después del drenaje del mismo.

Considerando desde emergencia hasta la cosecha del cultivo (142 y 152 DDE para IC₃₀ y RR respectivamente), IC₃₀ registró un GWP 88% mayor al cuantificado por RR (8469 vs 4496 kg CO₂.ha⁻¹, respectivamente). En base a estos resultados se puede afirmar que la aplicación de un sistema de riego con déficit controlado (RR) permitiría reducir el potencial de calentamiento global en aproximadamente un 47% respecto a un sistema de inundación continua (IC₃₀), por lo que sería una buena opción para mitigar las emisiones de GEI.

Como se puede observa en el cuadro 4, el GWP de las emisiones de N₂O es considerablemente pequeño respecto de las de CH₄ en ambos manejos del agua. La bibliografía internacional también reporta bajas contribuciones del gas N₂O al GWP, por ejemplo, Itoh et al. (2011) determinaron que las emisiones de N₂O contribuyen en un 3,6% y 1,5% al GWP para distintas estrategias de manejo del agua.

Cuadro 4. Contribución por gas al GWP desde emergencia hasta cosecha del cultivo (kg CO₂ equivalente.ha⁻¹).

Gas	IC ₃₀		RR	
	kg CO ₂ .ha ⁻¹	%	kg CO ₂ .ha ⁻¹	%
CH ₄	8046	95	3777	84
N ₂ O	423	5	719	16
Total	8469		4496	

IC₃₀: tratamiento de inundación continua; RR: riego con déficit controlado.

Si analizamos los resultados en términos de emisión de los gases por kg de arroz producido (expresado en CO₂ equivalente), vemos que el tratamiento RR emite 37% menos de CH₄ + N₂O por unidad de producto respecto al IC₃₀ (Cuadro 5). Se resalta el hecho de que ambos tratamientos obtuvieron una muy buena eficiencia, si los comparamos con los que aparecen en la bibliografía: 1,42 kg CO₂ eq/kg de arroz cáscara en China.

La emisión de CH₄ por kg de arroz cáscara fue de 0,77 y 0,43 para IC₃₀ y RR, respectivamente. Se reportan promedios de emisión para este gas de 0,50 y 0,55 kg CO₂ eq/kg para USA y Tailandia, respectivamente (Carlsson-Kanyama, 2007); 0,64 kg CO₂ eq/kg en India (Garg et al., 2006 citado por Carlsson-Kanyama, 2007) y 0,59 kg CO₂ eq/kg en Japón (Breiling et al., 2005, citado por Carlsson-Kanyama, 2007).

Cuadro 5. Rendimiento y emisión de GEI por unidad de producto (desde emergencia hasta cosecha del cultivo).

Trat.	Rendimiento (kg/ha)	Emisión CH ₄ + N ₂ O (kg C ₂ O eq/kg arroz)	Emisión CH ₄ (kg C ₂ O eq/kg arroz)
IC ₃₀	10387	0.82	0.77
RR	8700	0.52	0.43
Media	10090	0.67	0.60

IC₃₀: tratamiento de inundación continua; RR: riego con déficit controlado.

CONCLUSIONES

- Para la variedad El Paso 144 -bajo prácticas de manejo estándares para el cultivo en Uruguay- las emisiones fueron de 329 kg CH₄.ha⁻¹ y 1536 g N₂O.ha⁻¹ (cuantificado desde emergencia hasta cosecha del cultivo). Cabe resaltar que el factor de emisión de CH₄ determinado es superior al tomado como referencia por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (190 kg CH₄.ha⁻¹.año⁻¹, MVOTMA, 2004). Por lo tanto, resulta importante continuar evaluando los procesos que controlan los flujos de emisión en los campos arroceros, aplicando tecnologías que mantengan la productividad del arroz, en pos del desarrollo sustentable, para identificar las prácticas de manejo más adecuadas para reducir dichas emisiones.

- Las emisiones de CH₄ y N₂O mostraron un comportamiento opuesto durante el transcurso del ciclo del cultivo: la emisión de N₂O fue máxima previo a la inundación del cultivo, mientras que la mayor concentración de CH₄ se alcanzó en la etapa inicial de llenado de grano.

- La emisión de N₂O durante el ciclo del cultivo fue baja y por lo tanto el principal GEI emitido por el arroz fue el CH₄. Su contribución al GWP fue de tan solo 5% en el cultivo manejado bajo condiciones estándares (IC₃₀).

- El manejo del agua afectó la tasa de emisión de los gases evaluados. La aplicación del sistema de riego con déficit controlado implementado en la fase vegetativa (tratamiento RR), introdujo fluctuaciones en la humedad del suelo (anaerobiosis-aerobiosis) que influyó en las emisiones de ambos gases. En el periodo evaluado, RR emitió 44% menos de CH₄ y 54% más de N₂O que el tratamiento IC₃₀. El GWP (CH₄ + N₂O) fue reducido en un 41% en RR respecto a IC₃₀.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baruah, K.K., Gogoi, B., Gogoi, P. 2010. Plant physiological and soil characteristics associated with methane and nitrous oxide emission from rice paddy. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 16, N° 1, p. 79-91.

Carlsson-Kanyama, A., González, A.D. 2007. Non-CO₂ greenhouse gas emissions associated with food production: methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Disponible en: <

http://www.ima.kth.se/eng/respublic/emissions_report_17_set_ACK.pdf> Acceso en: 7 de agosto, 2012.

IAEA (International Atomic Energy Agency). 1992. Methane and nitrous oxide flux measurements from soil and plant systems. In *Manual of measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture*.

IAEA-TECDOC-674. Internacional Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. Vienna, Austria, p. 45-89.

Irisarri, P.; Tarlera, S.; Fernández, A.; Pereira, V.; Urraburu, M.; Terra, J. 2010. Arroz y gases de efecto invernadero. *Revista Arroz* N° 62. Disponible en: <<http://www.aca.com.uy>> Acceso en: 7 de agosto, 2012.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Itoh, M.; Sudo, S.; Mori, S.; Saito, H.; Yoshida, T.; Shiratori, Y.; Suga, S.; Yoshikawa, N.; Suzue, Y.; Mizukami, H.; Mochida, T.; Yagi, K. 2011. Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage. *Agriculture, Ecosystems and environment*, v. 141, p. 359-372.

Li, D., Liu, M., Cheng, Y., Wang, D., Qin, J., Jiao, J., Li, H., Hua, F. 2011. Methane emissions from double-rice cropping system under conventional and no tillage in southeast China. *Soil & Tillage Research*, v. 113, p. 77-81.

Minamikawa, K., Sakai, N., 2006. The practical use of water management based on soil redox potential for decreasing methane emissions from a paddy field in Japan. In *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 116, p. 181-188.

Mishra, S; Rath, A.K.; Adhya, T.K.; Rao, V.R.; Sethunathan, N. 1997. Effect of continuous and alternate water regimes on methane efflux from rice under greenhouse conditions. *Biology and Fertility of Soils*, v. 24, N° 4, p. 399-405.

Neue, H.U. 1997. Fluxes of methane from rice fields and potential for mitigation. *Soil Use and Management*, v. 13, p. 258-267.

Nouchi, I.; Mariko, S.; Auki, K. 1990. Mechanism of methane transport from the rhizosphere to atmosphere through rice plants. In *Plant Physiology*, v. 94 (1), p. 59-66.

Peng, S.Z., Yang, S.H., Xu, J.Z., Gao, H.Z. 2011. Field experiments on greenhouse gas emissions and nitrogen and phosphorus losses from rice paddy with efficient irrigation and drainage management. *Science China Technological Sciences*, v. 54, N°6, p. 1581-1587.

Pereyra; V. 2009. Emisiones de metano y óxido nitroso en arrozales de la zona este del Uruguay: el manejo de cultivo como factor determinante. Pasantía de grado de la Licenciatura en Ciencias Biológicas. Profundización en Biotecnología. Facultad de Química-Facultad de Ciencias. UDELAR. 40 p.

Liu, S., Qin, Y., Zou J, Liu Q. 2009. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N₂O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. In Science of the Total Environment, v. 408 (4), p. 906-913.

Shiratori, Y., Watanabe, H., Furukawa, Y., Tsuruta, H., Inubushi, K. 2007. Effectiveness of a subsurface drainage system in poorly drained paddy fields on

reduction of methane emissions. In Soil Science and Plant Nutrition, v. 53, N° 4, p. 387-400.

Towprayoon, S., Smakgahn, K., Poonkaew, S. 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. In Chemosphere, v. 59, p. 1547-1556.

Vibol, S. and Towprayoom, S. 2010. Estimation of methane and nitrous oxide emissions from rice field with rice straw management in Cambodia. In Environmental monitoring and assessment, v. 161, p. 301-313.

Yagi, K., Tsuruta, H., Kanda, K., Minami, K., 1996. Effect of water management on methane emission from a Japanese paddy field: automated methane monitoring. In Global Biogeochemical Cycles, v. 10, N° 2, p. 255-267.

DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL ASOCIADOS A DISTINTOS USOS Y MANEJOS EN ARROZ QUE ORIENTEN BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

Proyecto Innovagro PE_FSA_2009_1_1630

INSTITUCIONES:

Asociación de Cultivadores de Arroz
Gremial de Molinos Arroceros
Facultad de Agronomía
Facultad de Química
Facultad de Ciencias
Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca
Laboratorio Tecnológico del Uruguay
Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Objetivo Específico del proyecto en el que se enmarca el siguiente Trabajo: Determinar bajo condiciones controladas las curvas de disipación de los principales productos fitosanitarios empleados en la producción de arroz.

Dentro del marco del Objetivo específico se definió comenzar por: Convalidar la no presencia en grano de los fungicidas de mayor uso utilizando las dosis y momentos recomendados

Equipo Técnico Asociado a este Objetivo:

Carlos Batello – ACA
Natalia Queheille –ACA
Daniel Gonnet – GMA
Raúl Uruga – GMA
Gonzalo Pinedo– GMA
Susana Franchi – MGAP/DGSA
Guillermina Cantou – INIA
Ma. Cristina Capurro – INIA
Alvaro Roel – INIA

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño: Bloques al Azar: 3 productos X 2 momentos X 3 repeticiones (n=18)

Moléculas/Productos Evaluados

- 1) Kresoxim metil (Producto Comercial: Conzerto (1l /ha) + Grun Ol (500cc/ha))
- 2) Triciclazol (Producto Comercial: Bim (400 g /ha) + Uptake (500cc/ha))
- 3) Azoxistrobin (Producto Comercial: Azobin (250 g /ha)+ Spray Oil (500 cc/ha))
- 4)

Momentos de Aplicación:

- 1) Inicio de Floración (10%)
- 2) 100 % Floración

Ubicación: Unidad Experimental de Paso de la Laguna

Variedad: El Paso 144

Siembra: 20 de octubre.

Emergencia: 12 de noviembre

Para la aplicación de los productos se utilizó una aplicadora de gas carbónico con barra lateral de 9 picos planos de 4.02 m de ancho de aplicación.

Las muestras fueron cosechadas e inmediatamente secadas a 13%. Las mismas fueron descascaradas y puestas en freezer a -20°C. Posteriormente fueron enviadas al laboratorio de la DGSA/MGAP manteniendo las condiciones de frío para su correspondiente análisis.

RESULTADOS

Cuadro 1. Fechas de aplicaciones y cosecha de grano

	10 % Floración	100 % Floración	Cosecha Grano
Kresoxim metil	13 de febrero	22 de febrero	28 de marzo
Triciclazol	13 de febrero	22 de febrero	28 de marzo
Azoxistrobin	13 de febrero	22 de febrero	28 de marzo

Cuadro 2. Porcentaje de Verde a Cosecha

	% Verde
Kresoxim metil	11.4
Triciclazol	11.8
Azoxistrobin	12.3
Media	11.9

Cuadro 3. Rendimiento y Humedad en grano a cosecha

Muestra	Rendimiento (kg/ha)	% Humedad
6	10241	21,2
9	9971	22,8
11	10818	18,3
15	9717	21,0
17	9957	21,1
Media	10141	20,9

Cuadro 4. Resultados de los Análisis¹

Muestra	Molécula	Resultados (ppm)	Momento de Aplicación
5	Azoxistrobin	0,007	100% floración
12	Azoxistrobin	0,018	100% floración
14	Azoxistrobin	0,003	100% floración
2	Triciclazol	0,068	100% floración
7	Triciclazol	0,051	100% floración
15	Triciclazol	N.C	100% floración
1	Kresoxim metil	N.C	100% floración
9	Kresoxim metil	N.C	100% floración
17	Kresoxim metil	N.C	100% floración
3	Azoxistrobin	N.C	Inicio floración
8	Azoxistrobin	N.C	Inicio floración
18	Azoxistrobin	N.C	Inicio floración
6	Triciclazol	0,006	Inicio floración
11	Triciclazol	0,006	Inicio floración
16	Triciclazol	N.C	Inicio floración
4	Kresoxim metil	N.C	Inicio floración
13	Kresoxim metil	N.C	Inicio floración
10	Kresoxim metil	N.C	Inicio floración

¹ TÉCNICA: (1) LUKE ET.AL., PESTICIDES MULTIRESIDUE METHOD FOR NON FATTY FOODS; PESTICIDE ANALYTICAL MANUAL, VOL I, SECTION 302-1. NC.: NO CONTIENE POR ENCIMA DEL LÍMITE DE DETERMINACIÓN (Concentración mínima en la cual se puede determinar el plaguicida analizado en la muestra). ppm: partes por millón.

Cuadro 5. Límites de determinación*

Molécula	Límite de determinación* (ppm)
Azoxistrobin	0,003
Triciclazol	0,005
Kresoxim metil	0,004

*Límite de determinación: Concentración mínima en la cual se puede determinar el plaguicida analizado en la muestra). ppm: partes por millón.

forma se detectaron concentraciones de productos por encima de los niveles de detección en 7 de las 18 muestras analizadas.

Los resultados muestran que cuando los productos son aplicados en los momentos y dosis recomendadas, no se encuentra presencia de residuos a nivel de grano o su presencia se encuentra por debajo de los LMR permitidos (Límites máximos de residuos de plaguicidas).

CONSIDERACIONES FINALES

El límite de determinación fue disminuido respecto al utilizado para el análisis en la zafra anterior. De esta