



Maciel, Susana Noemí

La producción arrocerá en la provincia de Corrientes y el cambio climático. Estudio ambiental sobre la emisión estacional



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Maciel, S. (2022). *La producción arrocerá en la provincia de Corrientes y el cambio climático. Estudio ambiental sobre la emisión estacional de CH₄*. (Trabajo final integrador). Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/3589>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

La producción arrocerá en la Provincia de Corrientes y el cambio climático. Estudio ambiental sobre la emisión estacional de CH₄

Trabajo final integrador

Susana Noemí Maciel

maciel.susana@inta.gob.ar

Resumen

Este trabajo pretende encontrar el factor de emisión estacional de CH₄ proveniente del cultivo de arroz y a la vez destacar la importancia del mismo para las economías regionales donde se produce; se hará un diagnóstico de los beneficios ecosistémicos que proporciona dado que es considerado un humedal antrópico.

La información obtenida del trabajo de campo, implementando prácticas de manejo sustentable, nos permitirá ampliar las perspectivas para una adaptación efectiva y los desafíos de mitigación a largo plazo, contribuyendo para que el desarrollo sostenible sea resiliente al clima y de esta manera contribuir a la disminución de los riesgos climáticos a lo largo del siglo XXI (Guía de Buenas Prácticas Agrícolas, 2016).

ESPECIALIZACION EN AMBIENTE Y
DESARROLLO SUSTENTABLE

Plan del Trabajo Integrador Final

*“La producción arrocerá en la Provincia de Corrientes y el
cambio climático. Estudio ambiental sobre la emisión estacional
de CH₄”.*

Lic. Cs. Qcas. Susana Noemí Maciel

Directora:

Dra. Cristina Carballo

Co- directora:

Dra. Silvana Ferrari Usandizaga

Modalidad del TFI: trabajo de campo y diagnóstico

BERNAL, mayo 2021.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto que da origen al proyecto	1
2. OBJETIVOS	3
2. 1. Objetivo general.....	3
2. 2. Objetivos particulares.....	3
3. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	3
3.1. El efecto invernadero.....	3
3.2. Fuentes de emisión de GEI.....	7
3.3. El arroz como humedal antrópico.....	13
3.4. Cuerpos de agua en Corrientes.....	15
3.5. Producción arroceras y su impacto ambiental: emisión de GEI	17
3.6. Situación arroceras en el Litoral Argentino	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1. Ubicación geográfica del sitio de muestreo.....	26
4.2. Tipo de suelo, manejo y material vegetal.....	27
4.3. Análisis de suelo.....	29
4.4. Técnica de cámara cerrada o estática	29
4.5. Toma de muestras	31
4.6. Datos meteorológicos.....	34

4.7. Análisis estadísticos	35
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
5.1. Análisis de fertilidad global	35
5.2. Cuantificación del flujo de CH ₄	36
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
7. TRABAJO FUTURO HACIA LOS OBJETIVOS SOSTENIBLES.....	41
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto que da origen al proyecto

La concentración de metano (CH_4) en la atmósfera en los últimos dos siglos ha aumentado en más de 140%. Entre las actividades antropogénicas, consideradas fuentes de emisión de gas CH_4 , se encuentran, la fermentación entérica, manejo de estiércol, quema a campo de residuos agrícolas y la producción de arroz.

En un contexto mundial de creciente preocupación por el impacto ambiental de las diversas actividades productivas sobre los recursos naturales, son necesarias acciones efectivas de monitoreo, revisión y seguimiento para conocer la repercusión sobre el ambiente de aquellos procesos productivos que generan emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Este monitoreo a lo largo del tiempo se encuentra como uno de los objetivos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para promover el desarrollo sostenible. En este sentido el estudio de las emisiones de CH_4 en el cultivo de arroz, que propone el TFI, nos proveerá información empírica para colaborar con una forma metodología que sirva para estimar su incidencia en el cambio climático, y con esto aportar al desafío ambiental del siglo XXI.

Dentro de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), los países en desarrollo tienen la obligación de presentar cada dos años los Reportes Bienales de Actualización (BUR) que contienen los inventarios nacionales de GEI.

Argentina ha elaborado su Segundo BUR, en el año 2017, para dar cumplimiento a sus compromisos internacionales.

No podemos mejorar lo que no conocemos o medimos. No es suficiente contar con datos teóricos provenientes de modelos matemáticos, también es necesaria la información empírica proveniente de estudios a campo.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), como organismo de investigación estatal está invirtiendo en trabajos de investigación dentro de la temática ambiental, como es el caso del estudio del factor de emisión de CH_4 proveniente del cultivo de arroz, evaluando las distintas alternativas de producción en pos de mitigar las emisiones que irreversiblemente se producen. En este caso de articulación entre la formación y las demandas locales, el trabajo se orienta a la identificación y posibles

soluciones de problemáticas ambientales para luego plantear prácticas ambientales sustentables en el marco de los objetivos propuestos por la carrera de Especialización en Ambiente y Desarrollo Sustentable.

La obtención de datos actualizada nos permitirá ver el estado de situación, adoptar medidas para la sustentabilidad de los recursos utilizados en el proceso productivo y planificar opciones de mitigación que permitan mantener el rendimiento obtenido en cada campaña arrocerá, a fin de contribuir e incentivar el esfuerzo global para lograr contener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 grados, con el fin último de evitar un aumento superior a 1,5 grados.

Los parámetros que inciden en las emisiones de CH₄ varían considerablemente en el tiempo. Los datos recogidos para el mismo sitio en condiciones similares de producción a lo largo de varios años pueden revelar diferencias considerables en los niveles estacionales de las emisiones, por lo cual el factor de emisión que se obtenga será el correspondiente a las mediciones y situación climática del periodo en que fue estudiado. Por este motivo el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, conocido por sus siglas en inglés como IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), adopta como factor de emisión un rango de valores.

Este trabajo pretende encontrar el factor de emisión estacional de CH₄ proveniente del cultivo de arroz y a la vez destacar la importancia del mismo para las economías regionales donde se produce; se hará un diagnóstico de los beneficios ecosistémicos que proporciona dado que es considerado un humedal antrópico.

La información obtenida del trabajo de campo, implementando prácticas de manejo sustentable, nos permitirá ampliar las perspectivas para una adaptación efectiva y los desafíos de mitigación a largo plazo, contribuyendo para que el desarrollo sostenible sea resiliente al clima y de esta manera contribuir a la disminución de los riesgos climáticos a lo largo del siglo XXI (Guía de Buenas Prácticas Agrícolas, 2016).

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Valorar el factor de emisión estacional del cultivo de arroz estacionalmente anegado durante una campaña arrocerá y comparar con el factor de emisión propuesto por el IPCC.

2.2. Objetivos particulares

- 2.2.1.** Diseñar instrumentos que permitan realizar una correcta toma de muestras para cuantificar el flujo de gas CH₄ utilizando el método de las cámaras cerradas o estáticas.
- 2.2.2.** Determinar las variables del suelo relacionadas con el flujo de CH₄
- 2.2.3.** Ajustar una fórmula de cálculo que permita el cálculo del flujo de CH₄ siguiendo la guía del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).
- 2.2.4.** Seleccionar las áreas para la toma de muestras y aplicar los instrumentos para la medición del factor en la producción arrocerá.
- 2.2.5.** Proponer una sistematización gráfica de los resultados y compararlos con la emisión propuesta por el IPCC.

3. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

3.1. El efecto invernadero

La radiación solar que llega a la Tierra es onda corta. Es absorbida parcialmente por la superficie terrestre y el resto se refleja de nuevo a la atmósfera como radiación de onda larga, en el infrarrojo. Los GEI son gases que componen las capas más bajas de la atmósfera, en su mayoría de origen natural y algunos antropogénicos, cuyo espectro de absorción se solapa en la región del infrarrojo con el espectro de emisión de la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. La radiación infrarroja se transforma en energía calórica, por lo que la absorción de los GEI conserva la energía solar evitando que una importante fracción del calor se disipe (Seinfeld y Pandis, 1998; Houweling, 1999). La temperatura media de la Tierra es de unos 15°C, pero sin la presencia de los GEI sería de unos -18°C, que tornaría imposible la existencia de vida tal y como la conocemos (Mackenzie, 1999).

En la Figura 1 se recoge todo este proceso de forma gráfica.

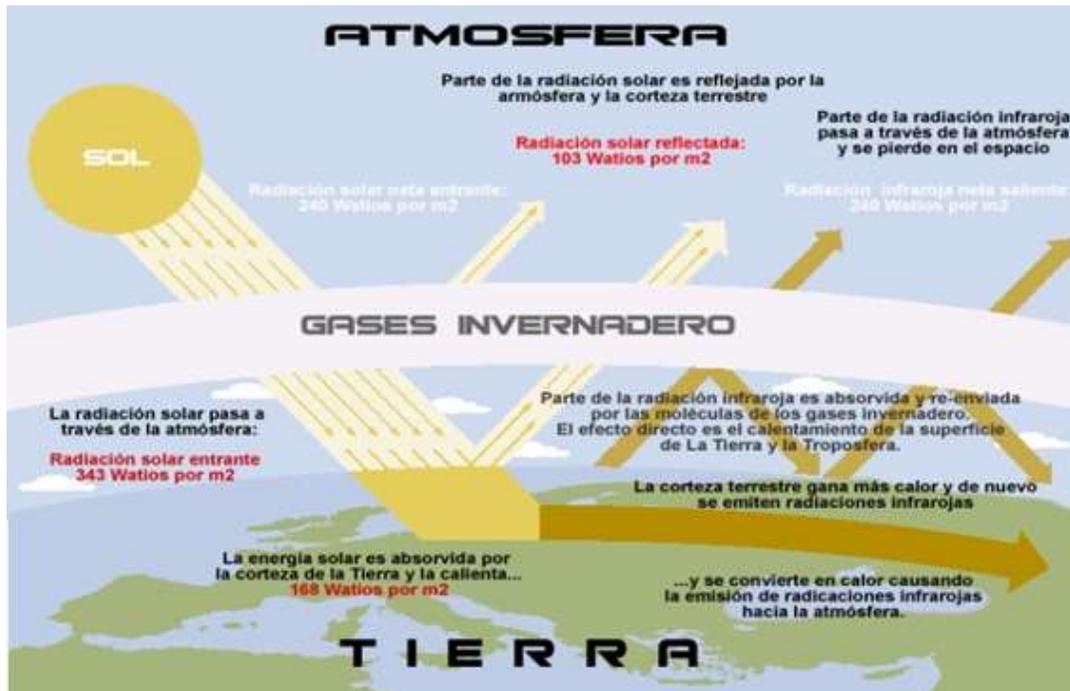


Figura 1: Esquema general del efecto invernadero. Fuente: UNEP-GRID-Arendal

Desde el inicio de la era industrial, con el aumento del uso de combustibles fósiles, la destrucción de selvas y las emisiones antropogénicas; se han incrementado las concentraciones atmosféricas de GEI y con ello la temperatura media de la Tierra. Este fenómeno es el que conocemos como *calentamiento global*.

Según datos publicados en el Cuarto Informe de Síntesis del Grupo Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007a) y en el Quinto Informe del Grupo de Trabajo I de IPCC (2013), la temperatura media de la Tierra ha aumentado entre 0,56 y 0,92 °C desde el año 1906, alcanzando las temperaturas más elevadas de los últimos 1300 años. Además, el nivel del mar ha aumentado anualmente 3,2 mm desde el año 1993 y la superficie de suelo estacionalmente congelado se ha reducido desde el año 1990 un 7% en el hemisferio norte, con disminuciones de hasta un 15% durante la primavera.

El IPCC creado por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, presentó en 1990 un Primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos; en él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real, y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo. Este primer informe del IPCC

alentó a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), firmada por las distintas partes el 9 de mayo de 1992 en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos.

Desde su entrada en vigor en 1994, la CMNUCC ha contribuido de forma decisiva a abordar el cambio climático y la necesidad de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El objetivo último de la Convención, a la que se han adherido prácticamente todos los países, fue estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que impida peligrosas injerencias humanas en el sistema climático en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Desde su entrada en vigor en 1994, la CMNUCC ha contribuido de forma decisiva a abordar el cambio climático y la necesidad de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El objetivo último de la Convención, a la que se han adherido prácticamente todos los países, fue estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que impida peligrosas injerencias humanas en el sistema climático en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Una de las primeras adiciones al documento macro de la CMNUCC fue el Protocolo de Kioto, aprobado en 1997. Basándose en los principios de la Convención, este Protocolo se considera el primer paso importante hacia un régimen verdaderamente mundial de reducción y estabilización de las emisiones de GEI. El Protocolo ha movido a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos, a las empresas a tener el medio ambiente en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones, y además ha propiciado la creación del mercado del carbono.

El Protocolo de Kioto es el organismo responsable de regular y establecer los límites a las emisiones de GEI de los países industrializados. Los países integrantes de la CMNUCC acordaron el compromiso de reducir sus emisiones totales en al menos un 5%

por debajo de los niveles de 1990, entre el período 2008-2012. Los seis GEI considerados en el Protocolo son:

- dióxido de carbono (CO_2),
- óxido nitroso (N_2O),
- metano (CH_4)
- hexafluoruro de azufre (SF_6),
- hidrofluorocarbonos (HFC) y
- perfluorocarbonos (PFC)

Los tres primeros compuestos son los más importantes, siendo la contribución relativa de los mismos al proceso global del cambio climático en torno a un 60% para el CO_2 , sobre el 20% para el CH_4 y alrededor del 6% para el N_2O (Figura 2). Mientras que los tres últimos compuestos, generados íntegramente por el ser humano, contienen cloro, bromo o flúor y carbono, actúan como potentes GEI y también son una de las causas del agotamiento de la capa de O_3 en la atmósfera.

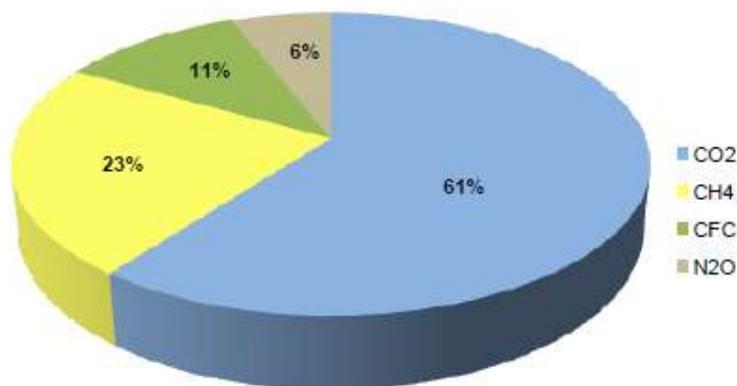


Figura 2: Contribución parcial (%) de los diferentes gases de efecto invernadero.
Fuente: Lelieveld; *et al.* 1998.

Dado que las consecuencias del calentamiento global impactan, entre tantas otras, en la destrucción de los ecosistemas terrestres y acuáticos, es que debemos contribuir al estudio de sus causas para promover acciones de mitigación.

3.2. Fuentes de emisión de GEI

De estos gases responsables del efecto invernadero, se considera al CO_2 el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global. Hoy las concentraciones de CH_4 son inferiores a las de CO_2 (gráfico 1).

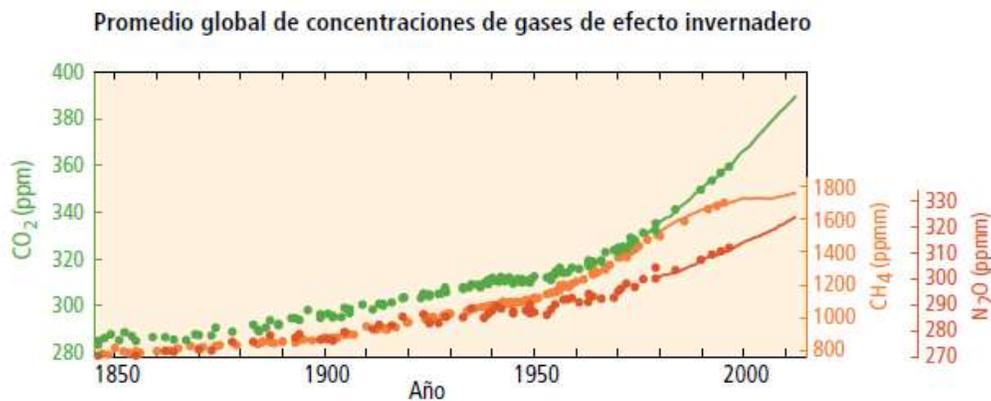


Gráfico 1: Evolución de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero desde mediados del siglo XIX: CO_2 verde, CH_4 naranja y N_2O rojo; determinados a partir de muestras de hielo (puntos) y de mediciones atmosféricas directas (líneas). Fuente: Quinto Informe del IPCC, 2014.

Tanto la agricultura como la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de CH_4 , CO_2 y N_2O a la atmósfera. El CH_4 posee un potencial de calentamiento global 21-30 veces, por lo que es más contaminante que el CO_2 (Tabla 1), además se considera que a futuro el CH_4 puede llegar a ser el GEI predominante, una de las razones para profundizar en el estudio de sus emisiones.

Tabla N° 1: Potenciales de calentamiento global (PCG) de las GEI. Fuente: Segundo informe de evaluación del IPCC (SAR, 1995).

GEI	PCG (horizonte temporal de 100 años)
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
CF ₄	6.500
C ₂ F ₆	9.200
HFC23	11.700
SF ₆	23.900

Las concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppm) en 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 250 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. Es muy probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de CH₄ ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropogénicas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El aumento de la concentración de N₂O procede principalmente de la agricultura (uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos).

Las emisiones mundiales de GEI causadas por actividades humanas han aumentado desde la era preindustrial en un 70% entre 1970 y 2004 (gráfico 2).

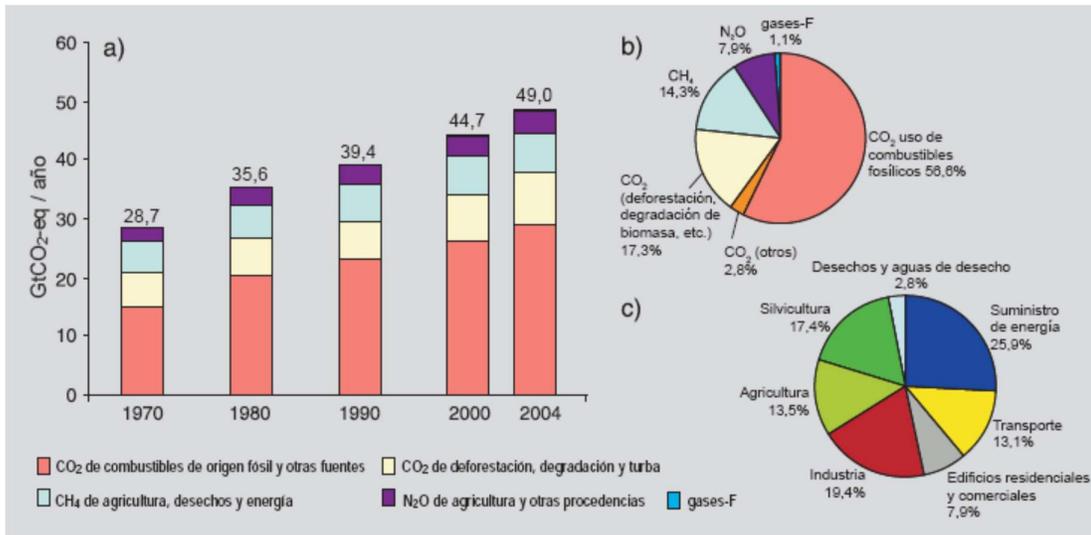


Gráfico 2: Emisiones mundiales de GEI antropogénicos. Fuente: Informe de síntesis (IPCC, 2007).

- Emisiones mundiales anuales de GEI entre 1970 y 2004.
- Parte proporcional de diferentes GEI antropogénicos en las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente.
- Parte proporcional de diversos sectores en las emisiones totales de GEI antropogénico en 2004 en términos de CO₂ equivalente (en Silvicultura se incluye la deforestación)

La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina presentó en junio de 2015, la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. El nuevo inventario reveló que la Argentina genera el 0,88% de las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el mundo, colocándose en el puesto número 21 en relación con el resto de los países. De dicho porcentaje, el 53,1% de las emisiones de gases de efecto invernadero corresponden a la energía, incluyendo la industria de la energía, construcción, transporte, otros sectores y el petróleo y gas natural; un 6% corresponde a los procesos industriales; el 4,2% a los residuos y el 37,2% al sector agrícola-ganadero y usos del suelo, donde la mayor contribución a este porcentaje corresponde a la ganadería bovina. El cambio en el uso del suelo y silvicultura es uno de los elementos a considerar porque incluye la problemática ambiental de la deforestación (Figura 3).

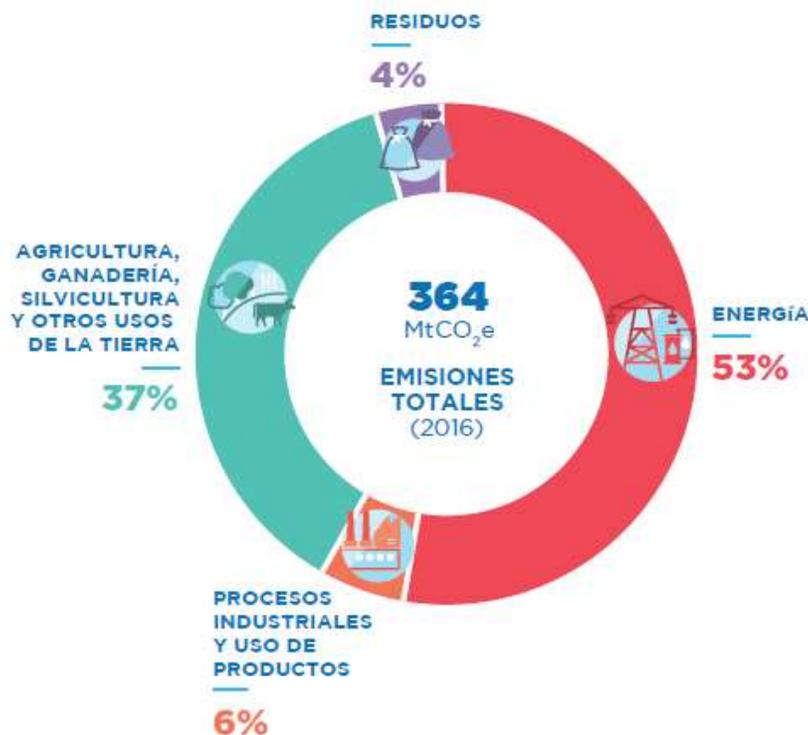


Figura 3. Distribución de emisiones de GEI entre los diferentes sectores productivos en Argentina. Fuente: IPCC.2006.

Dentro del sector agrícola, las principales fuentes de emisiones de GEI (sin considerar el CO₂) y sin incluir cambios de uso del suelo se representan en la Figura 6, las cuales son: producción de N₂O de los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis y/o abonos orgánicos (38%); el CH₄ generado en el proceso digestivo de los rumiantes (32%), el producido durante la descomposición de la materia orgánica en campos de arroz de riego continuo (12%), la quema de biomasa (bosques y matorral, rastrojos, campos de caña de azúcar) que emite CH₄ y N₂O en cantidades importantes (11%), y el estiércol y purines que derivan de la ganadería y también emiten cantidades significativas de CH₄ y N₂O (7%), (Smith *et al.*, 2007).

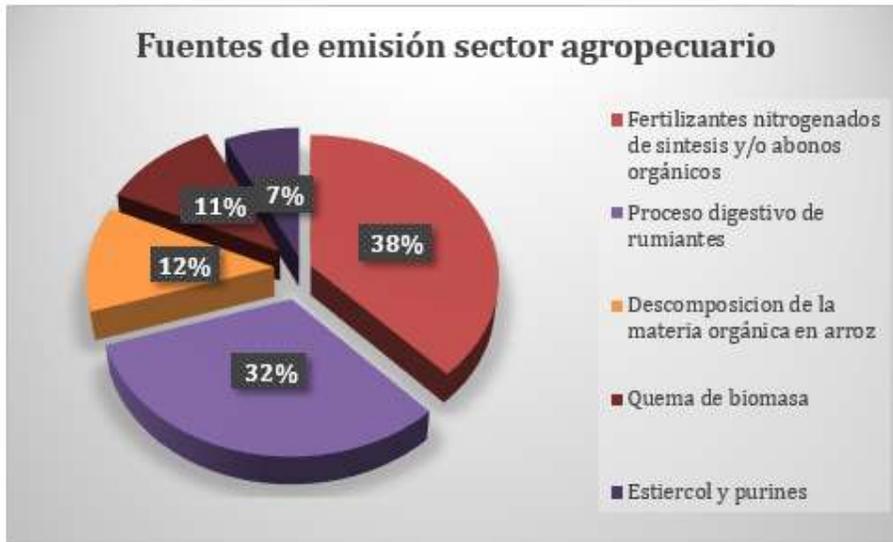


Figura 4. Principales fuentes de emisión del sector agropecuario, no se consideran las emisiones de CO₂ ni las provenientes de los cambios de uso del suelo. Fuente: Smith *et al.* 2007

A nivel mundial, el cultivo del arroz libera anualmente en torno a 60-100 millones de toneladas de CH₄, contribuyendo sustancialmente al calentamiento global de la atmósfera. Esto supone que alrededor del 5-19% de las emisiones antropogénicas de CH₄ son debidas al cultivo de arroz (Aulakh *et al.*, 2000; IPCC, 2006; Yusuf *et al.*, 2012).

En el gráfico 3 se observa una distribución de las emisiones antropogénicas de CH₄ según la fuente para el año 2010 (Yusuf *et al.*, 2012).

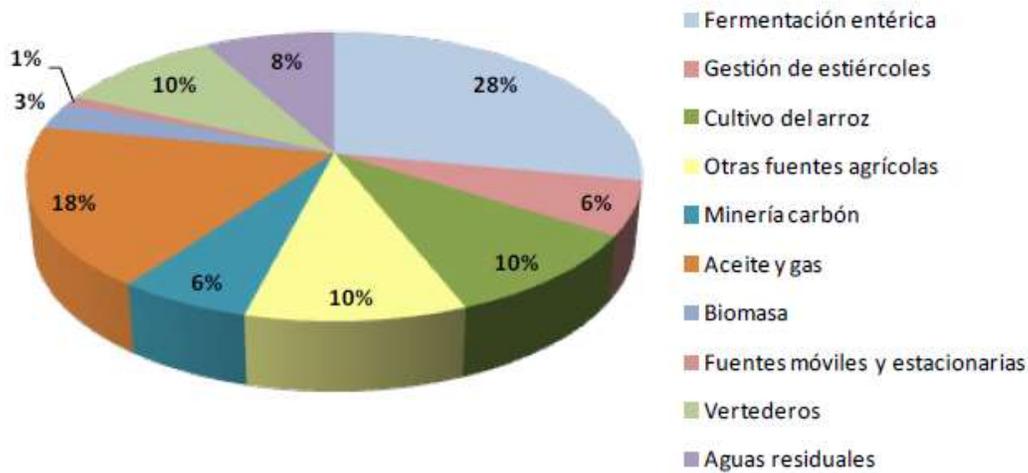


Gráfico 3: Fuentes de CH₄ antropogénico año 2010. Fuente: Yusuf *et al.* 2012.

En el país se está trabajando en monitorear las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) de las distintas actividades productivas.

Si bien no es posible lograr que la producción agropecuaria se realice completamente libre de emisiones, se están desarrollando nuevas tecnologías concebidas no solo para aumentar la eficiencia productiva sino también con un menor nivel de emisiones de GEI respecto de las prácticas convencionales. De esta manera, la actividad agropecuaria, ha experimentado un marcado crecimiento durante las últimas décadas, con un aumento de la superficie cultivada y un uso más intenso de la misma, pero a su vez la mayor producción no ha significado mayores niveles de emisiones.

Las emisiones de GEI relacionadas con la actividad agrícola se presentan en la Figura 5.

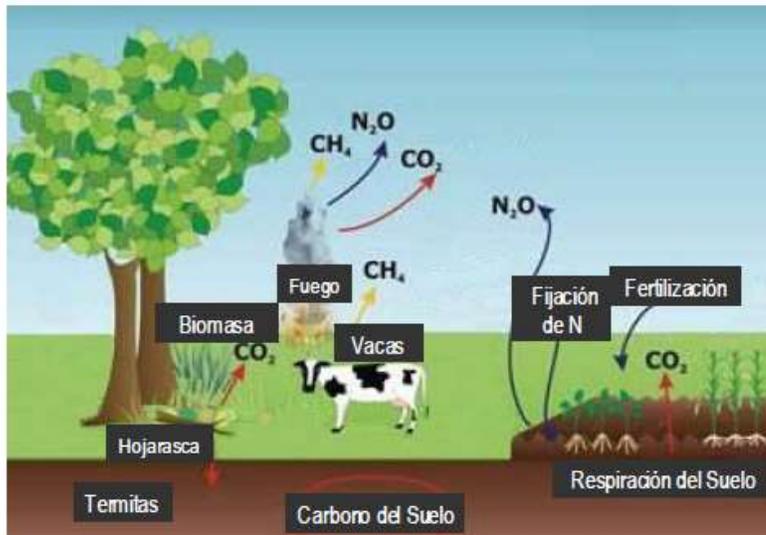


Figura 5. Principales fuentes de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O provenientes de la agricultura (Modificado de IPCC, 2006).

3.3. El arroz como humedal antrópico

El cultivo de arroz es considerado un humedal de origen antrópico, de acuerdo al concepto propuesto por el Convenio de Ramsar: "Un humedal es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan".

Los humedales son considerados uno de los ecosistemas más diversos que proporcionan servicios esenciales y toda el agua potable que utilizamos los seres humanos. Proveen el ambiente adecuado para ciertas actividades productivas, recreativas y culturales. Entre los servicios podemos destacar: reposición de aguas subterráneas, retención y exportación de sedimentos y nutrientes, depuración de aguas, reservorios de biodiversidad y mitigación del cambio climático y adaptación a él, entre otros. No todos los humedales proveen todos los servicios; los mismos brindan una gama de servicios diferentes en función de su clase, tamaño y ubicación, pero al mismo tiempo, este tipo de ecosistemas, dada su condición particular de sitios anegados, permanente o estacionalmente, son emisores de GEI, principalmente gas CH₄ y por lo tanto impactarían el aumento del efecto invernadero y el subsiguiente calentamiento global.

La aplicación de prácticas agrícolas sustentables para el manejo de los arrozales (Guía de buenas prácticas agrícolas. INTA. RR. NN) contribuyen al desarrollo productivo de

pequeños y grandes productores arroceros, lo cual incide directamente en el desarrollo económico y social de la provincia, promoviendo las economías regionales y minimizando los efectos negativos sobre el medioambiente. Se considera que, bajo condiciones adecuadas de manejo y conservación de los humedales, es posible atenuar o disminuir las tasas de emisión de GEI al medio ambiente.

Maciel *et al.*, 2010, encontraron, luego de 2 años de estudio en Corrientes, menores tasas de emisión de CH₄ en aquellos tratamientos cuyo manejo consistió en la incorporación del rastrojo al suelo durante la preparación del mismo antes de la siembra o bien la oxidación del mismo por medio de la quema. El mayor valor de emisión se observó dejando el rastrojo en pie, el cual, al no presentar ningún tipo de laboreo agrícola, deja disponible la materia orgánica a la acción natural de los agentes microbianos para su degradación a nivel de superficie. Al realizar las mediciones sobre un humedal semi-natural se encontró que presentaba una tasa de emisión mayor al manejo dejando el rastrojo en pie, por lo cual su contribución a las emisiones de CH₄ atmosférico serán por tanto mayor a la que pueda tener un sistema arrocero, que tiene un ciclo, bajo anegamiento, de 90 a 130 días, dependiendo del ciclo del cultivo, contrariamente a un ambiente natural como lo es el humedal, que permanece anegado la mayor parte del año, en nuestra región.

Originariamente el arroz crecía en suelos inundados de forma natural, la emisión de CH₄ asociada podría considerarse una fuente de emisión natural. Sin embargo, el aumento de la producción, la intensificación del cultivo y el riego artificial han propiciado que estas emisiones sean consideradas como fuente antropogénica, y como tal, debe ser recogida en los Inventarios Nacionales de Emisiones. Sin embargo, el esfuerzo en medir las emisiones de las actividades productivas que se desarrollan en los humedales no es tan marcado como el que se pone en medir las actividades de secano. En ese sentido, son escasas las técnicas disponibles específicas para este tipo de ambiente y es necesario evaluarlas en las condiciones climáticas y productivas de cada región particular en que se realizan.

Es importante destacar que no todos los humedales emiten al ambiente GEI; aquellos considerados depósitos de GEI, son los que poseen características tales como:

- poca o escasa escorrentía,
- baja pendiente

- desarrollo en la interfase agua suelo de condiciones anóxicas
- gran cantidad de materia orgánica acumulada en sus fondos

Sobre la base de las características señaladas, se consideran humedales a los siguientes ambientes:

- pastizales húmedos, anegados estacionalmente dependiendo de las precipitaciones,
- los arrozales,
- pantanos

El área de humedales en el planeta se ha estimado entre 700-102 millones de hectáreas, lo cual representa entre el 4-6% de la superficie de la tierra (Mitsch y Gosselink, 2000). Sin embargo, la importancia de los humedales en el ciclo del C, el balance de agua, la biodiversidad de vida silvestre y la producción de alimentos es más grande que su superficie proporcional en la tierra.

3.4. Cuerpos de agua en Corrientes

La provincia de Corrientes presenta una importante riqueza del recurso hídrico y una gran biodiversidad en esos ambientes. Posee un 26% de la superficie total provincial ocupada por cuerpos de agua como lagunas y esteros (Figura 6). En la tabla 2 se presentan la cantidad existente de los diferentes cuerpos permanentes de agua, la superficie total que ocupan y los porcentajes que representan respecto a la superficie total de cuerpos de agua de la provincia. Los esteros con un 56% del total computado son predominantes en porcentaje de superficie ocupada (Kurtz *et al.*, 2001).

Tabla N° 2: Distribución porcentual de cuerpos de agua de la provincia de Corrientes.
Fuente: Kurtz *et al.*, 2001

Humedales	Número	Superficie (ha)	% provincial
Lagunas	5171	147.767	6,3
Esteros	117	1.317.171	56,3
Bañados	244	317.037	13,5
Cañadas	110	121.456	5,2
Carrizales	5	183.497	7,8
Valles aluviales	31	254.550	10,9
Totales		2.341.478	100

Es importante tener en cuenta también a los cuerpos de agua que surgen estacionalmente debido al anegamiento del suelo, sin drenaje (como el cultivo de arroz), que suministran una fuente de captura de carbono favoreciendo las condiciones anaerobias para la producción de CH₄.

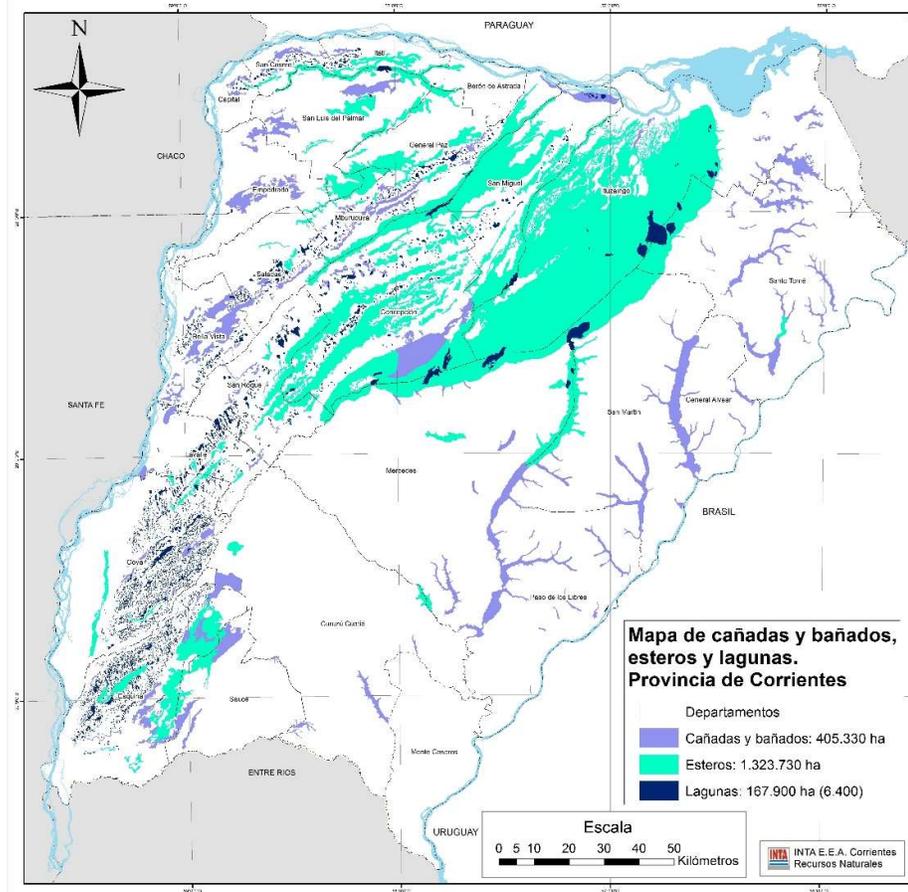


Figura 6. Cuerpos de agua de la Provincia de Corrientes. Fuente: Kurtz *et al.*, 2001

Según el segundo informe de evaluación del IPCC, los cambios climáticos redundarán en una intensificación del ciclo hidrológico mundial y podrían tener importantes impactos en los recursos hídricos regionales. Es también posible que el cambio se traduzca en variaciones en la distribución regional de los humedales (IPCC, 2014).

3.5. Producción arrocerá y su impacto ambiental: emisión de GEI

El cultivo de arroz está representado principalmente por dos especies: *Oryza sativa* (arroz asiático), y *Oryza glaberrima* (arroz africano). Se puede decir que el arroz es el cereal más importante en la dieta humana actual. Guerra *et al.* (1998) indicaron que el arroz

proporciona entre el 35 y el 60% de las calorías consumidas en la dieta de alrededor de 3.000 millones de personas, esto es una quinta parte del consumo mundial. Según las proyecciones realizadas por el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI, 2002), la demanda de arroz en el año 2025 aumentará un 60% respecto a la producción actual con el fin de satisfacer las necesidades de la población mundial.

Los tres productores más importantes son: China (31% de la producción mundial), India (20%), e Indonesia (9%). Los actores en el mercado mundial son diferentes respecto a los países productores, ya que solo el 6 % del arroz se comercializa internacionalmente. Los tres principales países exportadores son Tailandia (26%), Vietnam (15%), y EE. UU. (11%), y los tres importadores más importantes son Indonesia (14%), Bangladesh (4%), y Brasil (3%).

Según estadísticas mundiales (FAOSTAT, 2013) la superficie cosechada de arroz en el año

2011 fue de más de 164 millones de ha, suponiendo una producción de 722,8 millones de toneladas de arroz a nivel mundial. El arroz es el tercer cultivo más producido en el mundo, detrás de la caña de azúcar (1,900 millones de toneladas) y del maíz (1,000 millones de toneladas).

Actualmente nuestro país dedica a este cultivo 235 mil hectáreas con un rendimiento por aproximado de 6,7 toneladas por hectárea. Esto es 1,6 millones de toneladas anuales. En los últimos 10 años la producción se incrementó un 121%, acompañada por un alza del 16% en los rendimientos

Dentro del sector agrícola, la producción arroceras es una de las principales fuentes de emisión de GEI. A diferencia de los cultivos de secano cuyo principal GEI emitido es CO₂, el arroz se emite principalmente CH₄ durante su ciclo de cultivo y por lo tanto, la mayoría de los enfoques destinados a aumentar los rendimientos del arroz también aumentarán las emisiones de este gas. Tanto los países productores de arroz como otros países interesados deberán aplicar recursos humanos, técnicos y financieros para implementar programas de investigación enfocados a generar tecnologías de atenuación y la aplicación de las mismas.

A nivel mundial, el cultivo del arroz libera anualmente en torno a 60-100 millones de toneladas de CH₄, esto es un 5-19% de las emisiones antropogénicas de CH₄ lo que lo convierte en la principal fuente antropogénica de emisión del gas y un sustancial

contribuyente al calentamiento global de la atmósfera (Aulakh *et al.*, 2000; IPCC, 2006; Yusuf *et al.*, 2012).

En los suelos inundados, como en el caso de la producción arroceras en la provincia de Corrientes, el CH₄ es el producto de la degradación de la materia orgánica por la flora metanogénica en condiciones anaeróbicas. La mayor parte de esta materia orgánica proviene de la planta, tanto de la exudación de compuestos orgánicos como de la descomposición de las raíces (Van Bordegom *et al.*, 2001).

Entre los factores importantes que tienen una gran relación con las emisiones de CH₄ tenemos la textura del suelo, siendo las texturas más gruesas las que tienen mayores tasas de captación de CH₄, en relación a los suelos con texturas más finas (Boeckx *et al.*, 1997) y el contenido de agua del suelo, los mismos influyen en la variabilidad de los flujos (Conrad, 1995, Hulshoff Pol *et al.*, 1998). Además de estos factores, aparentemente las vías de oxidación de CH₄ y amonio (NH₄⁺) en suelo están relacionadas de tal modo que las actividades agrícolas que impactan en el ciclo del nitrógeno disminuyen, en algunos casos, la oxidación de CH₄. Esto significa que contribuyen al aumento de la concentración del metano atmosférico (Boeckx *et al.*, 1997).

El arroz es una monocotiledónea perteneciente a la familia *Poaceae* (gramíneas). Las raíces son delgadas, fibrosas y fasciculadas. Posee dos tipos de raíces: las seminales que se originan de la radícula, y las raíces adventicias secundarias de libre ramificación. Los cultivos que crecen en suelos anegados como el arroz poseen tejido aerénquimatoso en diferentes órganos, especialmente en las raíces que frecuentemente se encuentran sumergidas. Las estructuras de los aerénquimas permiten el intercambio de gases entre las raíces y las partes no sumergidas de la planta. Mediante estas estructuras se realiza el escape de gases desde el suelo a la atmósfera que parece ser la vía mayoritaria de escape del CH₄ (Le Mer & Roger, 2001) y la difusión del oxígeno que llega a las raíces hasta el suelo, generando un micro ambiente aerobio a su alrededor y permitiendo el desarrollo de la flora aerobia, como lo son las bacterias metanotrofas.

En los suelos de humedales solo existe una pequeña capa aerobia de tan sólo unos cuantos milímetros en la superficie o interfase con la columna de agua (Hammer, 1992); luego en los espacios intersticiales de estos suelos el oxígeno se reemplaza por agua y se genera anaerobiosis. En estas condiciones se favorecen los procesos biogeoquímicos que resultan en la acumulación de materia orgánica y la oxido/reducción de la misma.

La base de la cadena alimenticia en los humedales son plantas hidrófitas, algunas de las cuales son extremadamente productivas. A diferencia de lo que sucede en los sistemas terrestres donde la mayor parte de la materia orgánica producida es consumida por herbívoros, en los humedales ésta es convertida a detritus para entrar en la cadena alimenticia. La vegetación influye fuertemente la química del agua, ya que las plantas pueden actuar como fuente o como sumideros de nutrientes y también bombean los nutrientes de la columna del agua al sedimento (Martin y Quigley, 2003).

La planta de arroz, al igual que las plantas acuáticas, posee un tejido aerenquimal que le permite el transporte de oxígeno de las partes aéreas a las raíces, influyendo en el potencial redox del sedimento. La materia orgánica disponible estimula la metanogénesis al constituir un sustrato para la producción de acetato e hidrógeno, debido a que los microorganismos consumidores de oxígeno generan un efecto reductor del suelo (Sass *et al.*, 1991).

La producción de CH₄ se obtiene bajo condiciones extremadamente reducidas (-224 mV), por diversos géneros de bacterias, que producen metano a partir de diferentes sustratos:

A partir de acetato



A partir de dióxido de carbono e hidrógeno



A partir de compuestos metilados como metanol y metilaminas



El consumo natural de CH₄ se produce por oxidación bacteriana. Las bacterias que lo llevan a cabo (bacterias metanotróficas) pueden ser aeróbicas (presentes en la interface entre sedimento y agua, con presencia moderada de oxígeno) y del CH₄ producido por las bacterias metanogénicas) o anaeróbicas (que abundan en la columna de agua y en la zona de la rizósfera donde hay CH₄ producto de la metanogénesis, pero no hay suficiente concentración de oxígeno) (Watanabe *et al.*, 1997).

Según el tipo de bacterias la oxidación ocurre en presencia moderada de oxígeno (oxidación aerobia) se da a través de la siguiente reacción:



o en ausencia de oxígeno (oxidación anaerobia) por una vía que involucra al anión sulfato (SO_4^{2-}):



La tasa de emisión de metano de suelos inundados, no sólo depende de su producción (metanogénesis), sino también de su consumo u oxidación y de su transporte del sedimento a la atmósfera (Macalady *et al.*, 2002; Christensen *et al.*, 2003; Tauchnitz *et al.*, 2007; Zhu *et al.*, 2007). Una vez finalizada la generación y consumo de CH_4 , la concentración neta resultante se transporta a la atmósfera. El transporte a la atmosfera del remanente de CH_4 ocurre mediante 3 mecanismos (Figura 7): difusión pasiva a través de las plantas (conocido como ventilación), difusión a través del agua y ebullición o formación de burbujas (Laing *et al.*, 2008).

La difusión del CH_4 a través del agua es muy lenta debida a su baja solubilidad (Laing *et al.*, 2008). La ebullición se refiere al paso de burbujas de CH_4 por la columna de agua sin disolverse en ella. Se ha observado que este último fenómeno es un importante mecanismo de transporte del CH_4 a la atmósfera

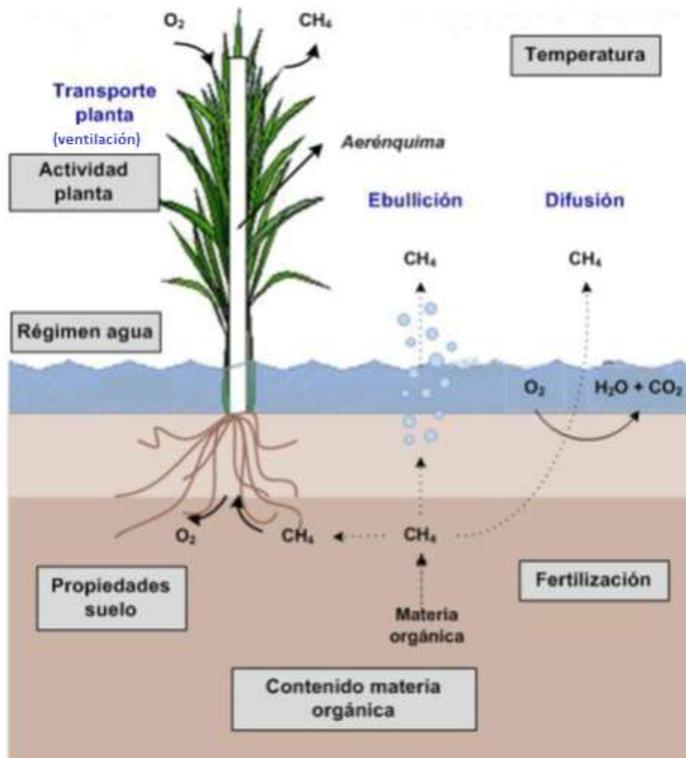


Figura 7. Vías de liberación del CH_4 desde el suelo a la atmósfera.

Se ha observado que la oxidación del CH_4 es influenciada más por la especie de plantas presentes en los humedales que por la cantidad de las mismas. A su vez, parece existir una correlación entre la biomasa radicular de la variedad de arroz y la emisión de metano. Esto puede significar diferentes tasas de emisión de acuerdo a la variedad de arroz sembrada, por lo que la selección de la variedad podría ser una estrategia para mitigar emisiones (Kerdchoechuen, 2005).

3.6. Situación arrocerá en el Litoral Argentino

La dinámica hidrológica tiene una fuerte influencia sobre la producción de metano en humedales, ya que para generar condiciones reducidas es necesario que los suelos permanezcan inundados por largos períodos. Inubushi *et al.* (2005), compararon las emisiones de CH_4 en humedales de zonas tropicales (Indonesia) inundadas intermitentemente y de zonas templadas (Japón) inundadas permanentemente. Sus resultados indicaron que en el segundo caso las emisiones superaron los niveles emitidos en las condiciones del primero. El cultivo de arroz en nuestra región permanece inundado por períodos de 80 - 120 días a diferencia de los humedales naturales que permanecen

anegados la mayor parte del año, por lo que se espera que las emisiones del cultivo de arroz contribuyan en menor grado respecto las emisiones naturales.

El sector arrocerero en Argentina se caracteriza por contar con una buena infraestructura para la industrialización. Representada por los molinos, la industria también se sitúa en el litoral, particularmente en la Mesopotamia argentina, la provincia de Buenos Aires no cultiva arroz, pero cuenta con establecimientos que procesan el producto.

Entre Ríos industrializa el 60% del arroz cáscara, seguida por Corrientes que ha ido incrementando su participación en el total.

En los últimos años se ha registrado un aumento en las exportaciones de arroz blanco en detrimento del arroz cáscara, con el consiguiente impacto favorable en el procesamiento interno en la demanda de mano de obra, y un mayor valor agregado en las exportaciones.

El consumo aparente de arroz en Argentina totaliza alrededor de 900 mil toneladas anuales, cifra reducida si se la compara con los grandes consumidores a nivel mundial.

Nuestro País, exporta alrededor de 640 mil toneladas de arroz, que representan ingresos por US\$ FOB 301 millones. El 55% de los envíos se concentra en el arroz semiblanqueado, cerca del 30% en arroz descascarillado, un 12% en arroz partido y el resto en arroz con cáscara y arroz para la siembra.

Las exportaciones arroceras muestran una dinámica sumamente positiva en el tiempo. Si bien se registran fluctuaciones, el sector ha ido evolucionando tanto en términos de volúmenes como en valor comercializado: las ventas externas pasaron de 192 mil toneladas en 2003 a 640 mil toneladas en 2012 (+233%).

Históricamente nuestras exportaciones dependieron del mercado brasilero. Entre 1999 y 2002 se debilitó el comercio en tanto Argentina enfrentaba un Real devaluado y un Peso sobrevaluado, sumado al impulso que recibió el sector productor en Brasil vía políticas de ayuda interna, lo que reforzó el autoabastecimiento del país.

Con la devaluación del peso argentino de principios del milenio, y el incremento de los rendimientos, nuestra producción se recuperó, impulsando las exportaciones no sólo con destino a Brasil sino hacia mercados nuevos como Chile, Irán, España, Haití, Cuba y Senegal.

La zona arrocerera de la Argentina está concentrada en las provincias de Formosa, Chaco, Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe, donde Corrientes es la mayor productora de arroz.

Para la campaña 2019/2020 (SISA, 2020), Corrientes fue la provincia donde se informó mayor superficie sembrada para arroz, representando un 46,79% del total nacional, en segundo y tercer lugar, están las provincias de Entre Ríos y Santa Fe con 28,91% y 12,41%, respectivamente. Las tres provincias representan el 88,11% de la superficie sembrada total (tabla 3).

Tabla N° 3: Total de superficie sembrada a nivel nacional. Fuente: Sistema de información simplificada agrícola (SISA)

PROVINCIA	CANTIDAD PRODUCTORES*	SUPERFICIE SEMBRADA	% SUPERFICIE	% ACUMULADO
CORRIENTES	54	69.981	46,79%	46,79%
ENTRE RÍOS	175	43.236	28,91%	75,70%
SANTA FE	11	18.559	12,41%	88,11%
FORMOSA	3	12.997	8,69%	96,80%
CHACO	2	4.792	3,20%	100,00%
Total	245	149.565	100,00%	

* el total de productores es mayor al registrado pues hay productores que producen en más de una provincia.

En general, todas las provincias del Litoral arrocero experimentaron un crecimiento en superficie cosechada. Se considera que esto se debe a un cambio en el uso de la tierra de la ganadería al cultivo de arroz. En la Figura 8 se presenta la distribución de la superficie sembrada a nivel provincial.

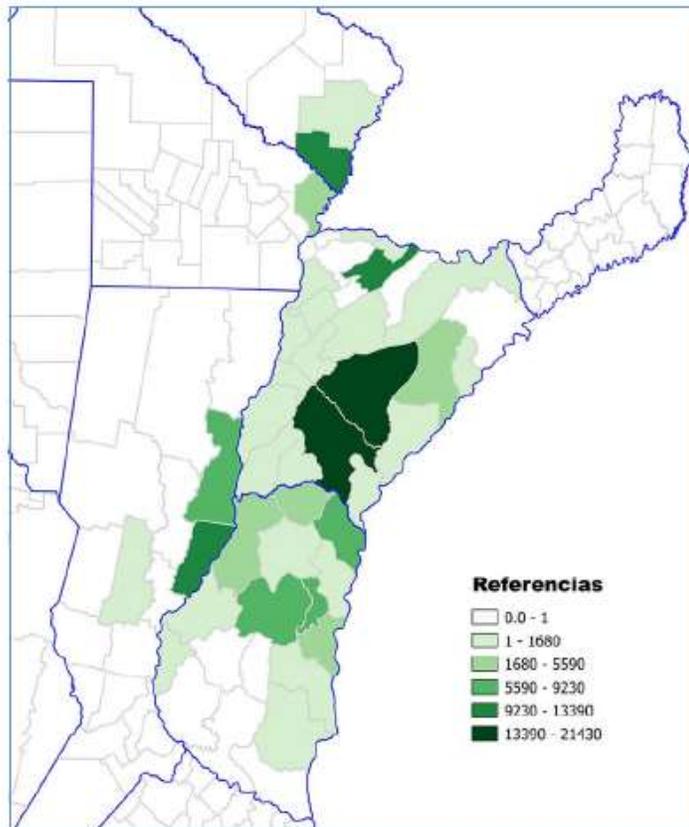


Figura 8. Distribución geográfica de las superficies sembradas por provincia. Fuente SISA.

El arroz a nivel regional se produce bajo riego continuo sin desecamiento. Actualmente se considera como nivel de referencia el factor de emisión de gas CH₄ el proporcionado por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2019) que establece para el cultivo de arroz una media de emisión de CH₄ de 1,48 kg ha⁻¹día⁻¹, un valor que es estimado a partir de datos teóricos (Tabla 4).

Tabla 4. Factor de emisión de CH₄ del cultivo de arroz bajo riego continuo (IPCC, 2019).

TABLE 5.14c (NEW)
CALCULATION FOR TOTAL METHANE EMISSIONS FROM RICE CULTIVATION

Rice Ecosystem	Harvested Area (ha yr ⁻¹) [from Table 5.17]	Adjusted Daily Emission Factor (EFi) [kg CH ₄ ha ⁻¹ d ⁻¹] [from Table 5.18]	Cultivation Period (days)	Methane Emissions (Gg CH ₄ yr ⁻¹)
	D	I	J	K= [(D x I x J)/10 ⁶]
Irrigated				
- Irrigated, continuously flooded	1,500,000	1.48	102	226.44
- Irrigated, with multiple drainage periods	1,500,000	0.81	102	123.93
Rainfed	900,000	0.59	102	54.16
Upland	450,000	0.00	102	-
Deepwater	150,000	0.18	220	5.94
Total	4,500,000			410.47

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación geográfica del sitio de muestreo

El trabajo de campo se realizó dentro de la E.E.A. Corrientes, ubicada en la localidad de El Sombrero, a los 27° 40' 25" latitud norte y 58° 45' 30" longitud oeste; dentro del departamento de Empedrado de la provincia de Corrientes (figura 9). El estudio conforma una de las actividades dentro del Programa Nacional de Cereales y Oleaginosas del INTA y del Proyecto Estructural “Mejoramiento Genético de Arroz” que busca, entre otros objetivos, evaluar el impacto ambiental de la producción arrocerca.



Figura 9. Parcelas experimentales de cultivo de arroz. E. E. A. El Sombrero. INTA. Corrientes

4.2. Tipo de suelo, manejo y material vegetal

Se trabajó sobre parcelas experimentales de 1,8 m x 4,5 m (figura 10) sobre un suelo del tipo Argiudol ácuico, franco fino, mixto, correspondiente a la serie Treviño (Escobar et al., 1996). Presenta un epipedón mólico de 40 cm. de profundidad, que incluye un BA; franco arenoso, color pardo grisáceo muy oscuro y reacción débilmente ácida. El horizonte argílico (Bt), franco arcillo arenoso, fuertemente estructurado, tiene color negro y reacción neutra. Los moteados y concreciones de hierro-manganeso comienzan a los 17 cm. y la profundidad efectiva llega hasta 65 cm. Son suelos moderadamente fértiles, con valores intermedios en bases de cambio, especialmente en el Bt y de materia orgánica en el epipedón; muy pobres en fósforo. Poseen aptitud agrícola, aunque con limitaciones por susceptibilidad a la erosión hídrica y encharcamientos, que restringen la elección de cultivos, y/o requieren prácticas especiales de conservación. Pueden ser usados para cultivos comunes, lotes de árboles, pastoreo extensivo o vida silvestre. El uso actual es agrícola, forestal, ganadero extensivo y en menor proporción arroz. Los suelos de esta clase pueden ser utilizados para cultivos labrados, pasturas, como campos naturales de pastoreo, forestación y para la conservación de la fauna silvestre. Las condiciones de inundación y las bajas exigencias del arroz determinan que su cultivo sea posible en suelos considerados no aptos para otros cereales



Figura 10. Lote experimental de cultivo de arroz para medir emisiones de CH₄. E. E. A. El Sombrero. Corrientes.

Se sembró una línea promisoría de arroz, la CR1138, (línea de arroz más avanzada y próxima a inscribirse en el Instituto Nacional de Semillas -INASE) correspondiente al programa de mejoramiento de la E.E.A. INTA Concepción del Uruguay. La densidad de siembra fue de 80 kg ha⁻¹ con lo que se obtiene unas 150 a 250 plantas por m² y una distribución uniforme de las mismas.

La fertilización de base fue de 250 kg ha⁻¹ de un formulado de nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K) con las siguientes proporciones: 4-18-40 aplicado al voleo a la siembra. La urea se aplicó sobre suelo seco con un arroz de 4 hojas (130 kg urea ha⁻¹) y fue inundado al día siguiente. No se realizó desecamiento.

Se mantuvo una lámina de agua de no más de 5 cm para no superar el nivel que afecta el macollaje, lo que trae como consecuencia un menor número de panojas y por ende menores rendimientos

Se realizó la labranza anticipada del lote, el verano anterior a la siembra. Se utilizaron rastras pesadas de doble acción, el peso promedio de los discos utilizados fue 120-140 kg/disco. Se realizó una sola pasada de rastra y se completó con 1-2 pasadas de landplane para emparejar y nivelar el microrrelieve y facilitar el posterior riego del manto del cultivo. El tratamiento se organizó en un diseño completamente al azar, con tres unidades de observación.

4.3. Análisis de suelo

Una vez preparado el suelo y antes de la siembra se realizó un análisis de fertilidad global del suelo de 0-20cm.

4.4. Técnica de cámara cerrada o estática

Los intercambios suelo-atmósfera de CH_4 , generalmente se determinan directamente midiendo la acumulación a corto plazo de la concentración del gas en un recinto sellado colocado sobre la superficie de la tierra. El cambio de la concentración de los gases a través del tiempo dentro de la cámara se cuantifica, y se traduce en una tasa, que representa el flujo que sale o entra al suelo. El método para medir el flujo gaseoso que difunde a la atmósfera se denomina "método de la cámara cerrada".

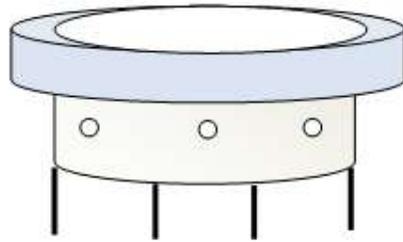
La cuantificación de las emisiones se realizó según la técnica propuesta por IAEA (1992). Se utilizaron cámaras de policloruro de vinilo (PVC) opaco, apoyadas sobre bases de hierro acanaladas (esquema 1). Éstas funcionan con un sistema de cierre hidráulico que se activa al inundarse el terreno, evitando el escape del gas colectado (figura 11).

Esta técnica es la de uso común en estimación del flujo de gases y permite comparar los resultados obtenidos por metodologías diferentes

Se colocaron las cámaras en posiciones al azar sobre las parcelas, cubriendo 2-3 plantas de arroz



Figura 11. Cámara estática para toma de muestras de gas metano. E. E. A. El Sombrero. INTA. Corrientes.



Cilindro interior (gris claro)

Alto: 15 cm

Diámetro: 35 cm

Cilindro exterior (celeste)

Alto: 7 cm

Diámetro: 45 cm

Patas de apoyo: 15 cm aprox.

Esquema 1: base de hierro para asentar la cámara estática

La instalación de las bases se realiza sobre el suelo sin agua, luego de la emergencia de las dos primeras hojas de la plántula de arroz (figura 12).

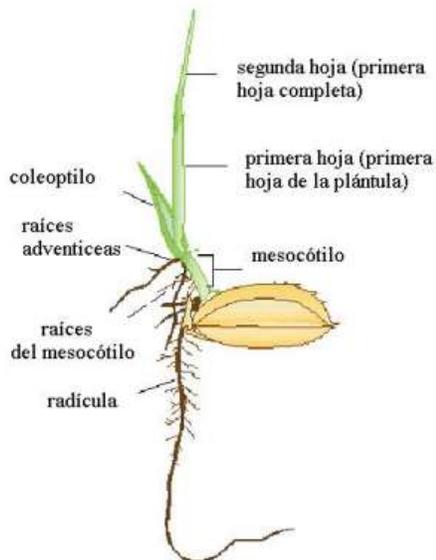


Figura 12: Plántula de arroz

4.5. Toma de muestras

Luego del riego, que se realiza cuando el arroz tiene 4 a 5 hojas, (figura 13), esto generalmente se da entre 14 a 17 días después de la emergencia o nacimiento, se deja equilibrar el sistema agua-suelo un día aproximadamente y se da inicio a la toma de muestras de gases. El diseño experimental aplicado en este estudio es de una toma de muestras semanal hasta desecamiento del lote para la cosecha de los granos.

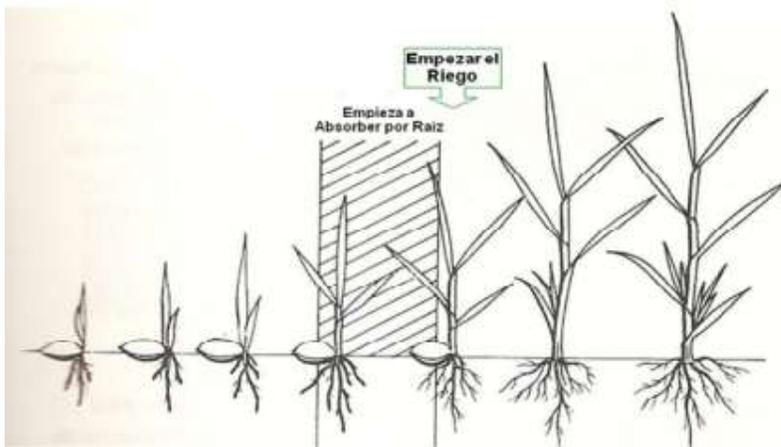


Figura 13: Momento del riego. Plántula de arroz de cuatro hojas

Para la toma de muestras se utilizaron jeringas hipodérmicas de 20 ml, agujas hipodérmicas 21G X 1", de 0,80 x 25 mm y vacuteiners al vacío de 10 ml (figura 14). Se toma un volumen de 20 ml de gas para coleccionar a presión dentro del vacuteiner. Se disponen dentro de una conservadora con hielo hasta su traslado al laboratorio.



Figura 14: insumos para toma de muestras.

Las muestras se tomaron cada 30 minutos desde las 9:00 h hasta las 10:30 h. De acuerdo a los estudios realizados por De Souza Costa et al. (2008), la cuantificación de la emisión media diaria de CH₄ en suelos cultivados con arroz se puede realizar desde entre las 9:00 y las 12:00 h.

Las muestras fueron analizadas por cromatografía Gaseosa en un GC 7890 A equipado con un muestreador automático 7697 A, ambos Agilent Technologies®, con las siguientes condiciones de corrida:

Agilent 7697 A

Autsampler: 108 viales (10 ml)

Temperatura del Loop y Transfer: 75 ° C

Fill Pressure: 5 psi

Agilent 7890 A

Horno: 60 ° C isotérmico

Columnas: empacadas, G3591-81004 6Ft 1/8 2mm HayeSep Q 80/100 UM y G3591-81121 12Ft 1/8 2mm HayeSep Q 80/100 UM.

Detectores: FID 250 °C

Metanizador 375 °C

μECD 300 °C

Gas CARRIER: Nitrógeno 2 mL/min

Gas MAKE UP (μECD): Argón Metano 5%

Tiempos de Retención:

Metano 3.108 min

Para la calibración se utilizó un patrón ternario en balance Nitrógeno (Metano 5, 10.5 y 15 ppm) (gráfico 4)

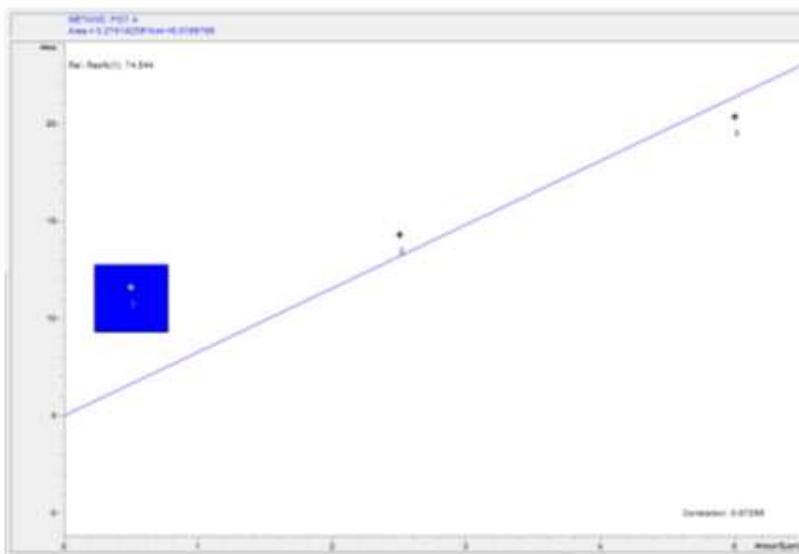


Gráfico 4: Curva de calibración patrones de metano.

Los resultados son expresados en ppm (mg/l).

La tasa de emisión de CH₄ se obtiene mediante la relación que existe entre el volumen de la cámara de flujo, la superficie de medición bajo la cámara y la tasa de incremento de la concentración en el interior de la cámara (UK Environment Agency, 2004). La tasa de incremento es la pendiente grafica que se obtiene cuando se representan las concentraciones de CH₄ medidas en partes por millón (ppm) versus el intervalo de tiempo entre cada toma de muestra. La ecuación simplificada para el cálculo del factor de emisión es:

$$\text{Tasa de emisión} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha. día}} \right] = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{P.V}{R.T} \times PM \text{ CH}_4$$

Los flujos o tasa de emisión se expresan en kg.ha⁻¹.día⁻¹.

4.6. Datos meteorológicos

Los datos de temperaturas (gráfico 5) máximas, mínimas y promedio durante todo el ciclo del cultivo fueron tomados de la Estación meteorológica de la E.E.A. El Sombrerito. Corrientes. Tipo: Nimbus THP. Identificador: A872916.

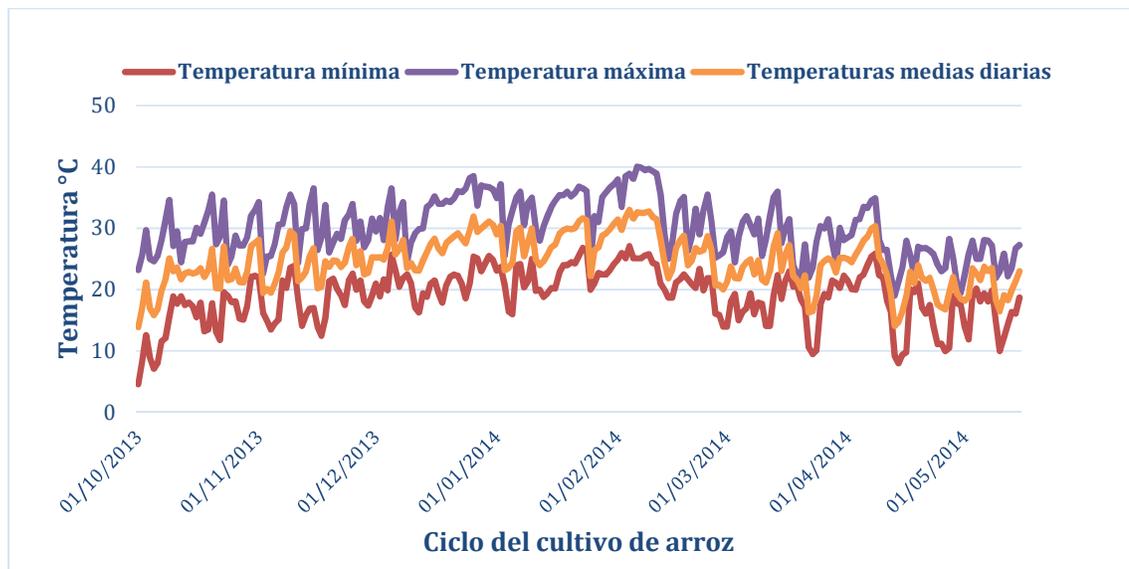


Gráfico 5: Temperaturas máximas, mínimas y medias durante el ciclo del cultivo de arroz.

4.7. Análisis estadístico

Se utilizó el programa InfoStat® para todos los análisis. Los flujos de carbono a lo largo del periodo de evaluación se compararon por análisis de la varianza (ANAVA), utilizando el test de Tukey en las comparaciones y un nivel de confianza de 0,05 (*p*-valor). Se estudiaron las correlaciones según Pearson entre flujo y temperatura, también con un *p*-valor de 0,05.

5. Análisis de resultados

5.1. Análisis de fertilidad global

Para obtener una alta productividad es importante una buena nutrición del suelo para que la planta pueda absorber los nutrientes necesarios. Se requiere de una nutrición balanceada y en cantidad suficiente de manera de obtener el máximo potencial que el suelo puede brindar. Por lo tanto, es fundamental contar con el análisis de suelo. Los nutrientes que la planta de arroz demanda en mayor cantidad son: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). El N es el elemento más limitante y que debe ser aplicado de manera generalizada para alcanzar altos rendimientos.

En la tabla 5 se presenta los requerimientos de nutrición para lograr un alto rendimiento.

Tabla 5. Contenido de nutrientes para una alta productividad. Fuente: Asociación correntina de plantadores de arroz (ACPA, 2009).

Elemento / nutriente	Absorbido kg/ha	Removido %
Nitrógeno (N)	200-250	70,00
Fósforo (P)	30-40	73,00
Potasio (K)	180-220	20,00
Azufre (S)	23-30	30,00

Los resultados obtenidos del análisis de fertilidad pueden verse en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis de fertilidad global pre-siembra.

Profundidad muestra	pH	MO %	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	Na cmol/kg	Mn cmol/kg	Cu cmol/kg	Fe cmol/kg	Zn cmol/kg
0-20 cm	5,6	1,98	39,6	26	220	3,4	0,6	0,34	117,8	0,8	64	1

Podemos observar que el suelo presentó buen contenido de Materia Orgánica (MO), Fosforo (P) y Potasio (K), con deficiencias importantes de Nitrógeno para alcanzar altos rendimiento, por lo que fue necesaria la aplicación de 250 kg/ha de un formulado N-P-K y una dosis de urea de 130 kg/ha.

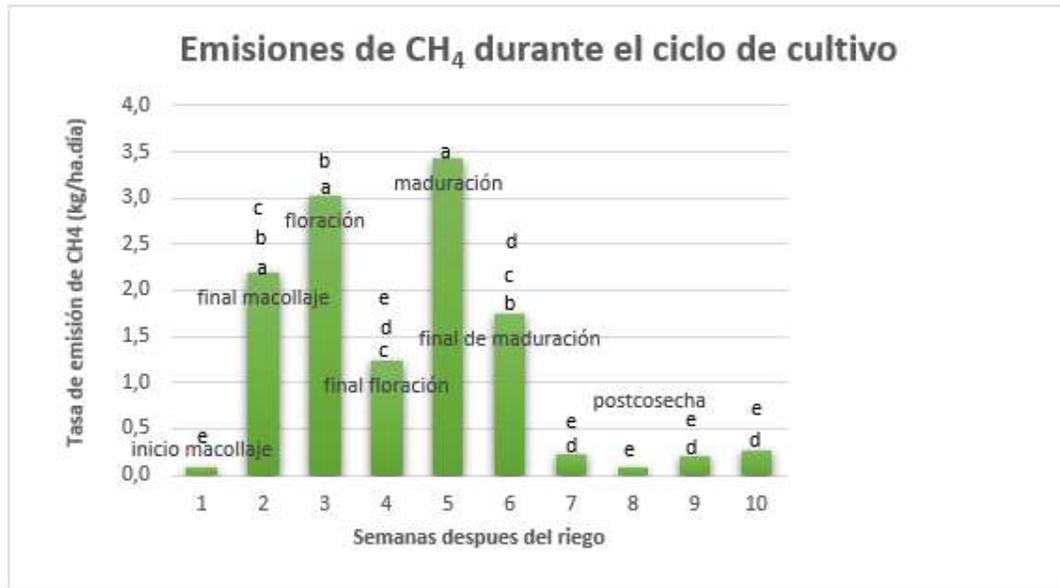
5.2. Cuantificación del flujo de CH₄

La tabla 7 muestra los flujos de CH₄ y las temperaturas medias obtenidos durante las semanas de muestreo

Tabla 7. Tasa de emisión de CH₄

Semanas de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tasa de emisión kg CH ₄ .ha ⁻¹ .dia ⁻¹	0,08	2,19	3,02	1,25	3,43	1,75	0,22	0,08	0,20	0,26
Temperatura media °C	30,8	32,0	30,6	30,8	28,8	31,8	27,0	28,0	31,5	19,7

De los valores obtenidos para la tasa de emisión se observan dos máximos que coinciden con las etapas de floración y maduración del cultivo como se observa en el gráfico 6.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Gráfico 6: Variaciones del flujo de CH₄ durante las etapas fenológicas del cultivo de arroz.

Podemos observar que los flujos o tasa de emisión del CH₄ fluctúan a lo largo del ciclo del cultivo, presentando 2 picos bien marcados durante las etapas de floración y de maduración respectivamente. Este incremento en la tasa de emisión está relacionado con el aumento de la actividad metabólica en las plantas de arroz en la etapa de diferenciación de panículas (De Souza Costa et al., 2008). Según Watanabe et al. (1999), en esta fase se produce la liberación de compuestos productos orgánicos que pueden servir de sustrato para microorganismos metanogénicos. Cuando las plantas se encuentran en la etapa de maduración, que corresponde a la etapa de llenado de granos también son liberados compuestos orgánicos al suelo y de ahí su incremento en la emisión.

Se estudiaron las diferencias entre la tasa de emisión y las semanas del cultivo por ANAVA utilizando el test de Tukey (tabla 8).

Tabla 8: Test de Tukey para flujo.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,57793

Error: 1,0578 gl: 80

Semanas	Medias	n	E.E.					
5,00	3,43	9	0,34	A				
3,00	3,02	9	0,34	A	B			
2,00	2,19	9	0,34	A	B	C		
6,00	1,75	9	0,34		B	C	D	
4,00	1,25	9	0,34			C	D	E
10,00	0,26	9	0,34				D	E
7,00	0,22	9	0,34				D	E
9,00	0,18	9	0,34				D	E
8,00	0,08	9	0,34					E
1,00	0,08	9	0,34					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Las diferencias entre flujos se deben a que las emisiones tienen relación directa con el estadio fenológico del arroz.

El factor de emisión estacional de CH_4 para el cultivo de arroz fue de $1,25 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Como se puede observar en el gráfico 7, este valor se encuentra por debajo de la tasa de emisión promedio propuesta por el IPCC para cultivos de arroz bajo riego continuo que es de $1,48 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Gráfico comparativo entre factores de emisión de CH_4 (kg/ha.día)

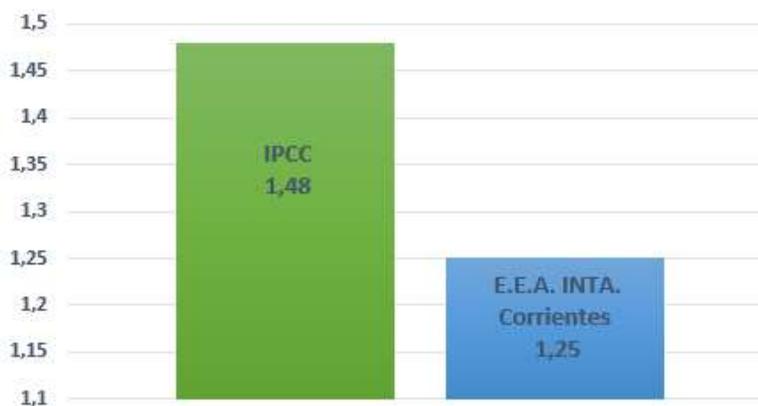


Gráfico 7: Comparación entre factores de emisión.

Mediante el análisis de correlación de Pearson se observa que existe una asociación muy directa entre las variables (tabla 7), a mayor temperatura mayor flujo en las semanas 1, 3 y 5 y 9. Contrariamente en las semanas 6 y 8 esta correlación es inversa, y puede deberse

al estadio en el cual se encuentra el cultivo ya que, a finales de maduración, a partir de la semana 6, hay una disminución en la emisión del flujo.

Tabla 7: Coeficiente de correlación de Pearson entre flujo y temperatura

Semanas	Variable 1	Variable 2	Pearson	p-valor
1	Flujo	Temperatura	0,99	<0,0001
2	Flujo	Temperatura	-0,14	<0,7185
3	Flujo	Temperatura	0,74	<0,0220
4	Flujo	Temperatura	-0,06	<0,8847
5	Flujo	Temperatura	0,96	<0,0001
6	Flujo	Temperatura	-1,00	<0,0001
7	Flujo	Temperatura	-0,04	<0,9181
8	Flujo	Temperatura	-0,93	<0,0003
9	Flujo	Temperatura	0,94	<0,0002
10	Flujo	Temperatura	0,23	<0,5455

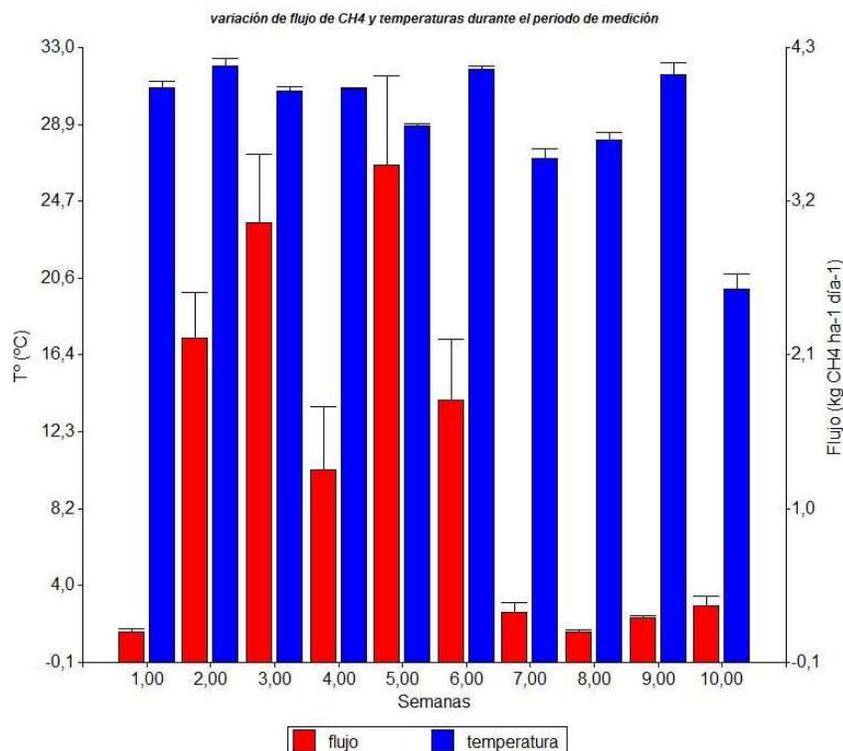


Gráfico 8: Variación de flujo de CH₄ y temperaturas durante el ciclo del cultivo evaluado. Otro grafico que muestra la asociación directa entre las variables flujo y temperatura.

6. Conclusiones

La metodología implementada en este trabajo nos permitió realizar una correcta toma de muestras y cuantificar el flujo de gas CH₄ emitido por el cultivo.

El factor de emisión estacional para el cultivo de arroz evaluado se encuentra por debajo de la tasa de emisión promedio propuesta por el IPCC para cultivos de arroz bajo riego continuo. Podemos sugerir que, con la práctica agrícola implementada, bajo la guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz, la emisión de gas CH₄ es menor a la media a nivel mundial.

Se pudo determinar que la temperatura es una variable relacionada directamente con la emisión.

Dado que el cultivo de arroz es considerado una de las fuentes de emisión de GEI dentro del sector agrícola, es importante trabajar bajo prácticas de manejo amigables con el medio ambiente para minimizar los impactos sobre la atmósfera que producen los cambios climáticos en la actualidad. Es necesario proponer acciones de mitigación y ejecutarlas para que luego adaptarse a los cambios. Las acciones de mitigación y adaptación son sinérgicas y complementarias, incrementando los niveles de mitigación, en el futuro habrá menos necesidades de adaptación.

7. Trabajo futuro hacia los objetivos sostenibles

Este trabajo se realizó como parte de las actividades de investigación del Programa de Mejoramiento genético de Arroz dentro de la cartera programática del INTA.

La próxima campaña arrocera 2021/2022, se harán los estudios de medición de GEI en la experimental de Concepción del Uruguay, Entre Ríos. Para ir avanzando con los estudios de emisiones de GEI me propuse medir también las emisiones de óxido nitroso (N₂O) antes del riego. Como se sabe el N₂O es un gas que posee un poder de retención de la radiación solar 250 veces mayor que el CO₂, en tanto que el CH₄ solo tiene un poder de calentamiento de 25 veces mayor al CO₂. Estas medidas a campo servirán para la estimación de la huella de carbono de la cadena arrocera, indicador global que dimensiona todas las emisiones que se producen durante el proceso de producción.

Y como opciones de mitigación de estos gases también se realizará un tratamiento con el agregado de zeolita al fertilizante que se supone disminuye las emisiones de ambos gases de efecto invernadero, en este tratamiento también se harán las mediciones a campo de ambos gases.

Hasta hace poco tiempo, se creía que los bienes de la naturaleza eran inagotables, que no había necesidad de preservarlos o de usarlos con una racionalidad sustentable, y ni siquiera se pensaba en la necesidad de crear normas e instituciones para su resguardo, o sobre la prevención al riesgo ambiental (Carballo C., 2014). Este trabajo se ha enfocado exclusivamente en las emisiones de GEI, pero no debemos descuidar que el ambiente es un sistema integral, por lo cual para evaluar la variabilidad climática también deberíamos evaluar el manejo del agua, el rol de los humedales, como lo es el cultivo de arroz. Los humedales tienen un papel sensible dentro de la adaptación climática desempeñan funciones ecológicas fundamentales, como ser importantes reguladores de la cantidad y calidad del agua, así como la aportación de hábitat para la flora y la fauna.

No debemos descuidar que este tipo de producción articula con los sistemas en el cual se circunscribe ya que estamos frente al manejo de un humedal.

Uno de los grandes retos del sector agrícola será disminuir, en alguna medida, los impactos que la producción de origen antropogénico tiene sobre el medio ambiente.

8. Referencias bibliográficas

ACPA y Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Campaña 2016/17: fin de siembra. Relevamiento arrocero nacional.

<http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Paginas/INTENCION.DE.SIEMBRA.CAMPANIA.2016.17.pdf>

ACPA. 2009. Recuperado de <https://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Jornadas-2009/Manejo.para.Altos.Rendimientos.en.Arroz.ProyectoINTA.pdf>

Aulakh, M.S., Bodenbender, J., Wassmann, R., Rennenberg, H. 2000. Methane transport capacity of rice plants. I. Influence of methane concentration and growth stage analyzed with an automated measuring system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 357-366.

Boeckx P., Cleemput O., Villaralvo I. 1997. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 91-95

Carballo, C. 2014. XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente (UPE 11). Facultad de Arquitectura y Urbanismo. ISBN: 978-950-34-1133-9. Pág.: 69-79

Christensen, T. R., Panikov, N., Mastepanov, M., Joabsson, A., Stewart, A., Oquist, M., Sommerkorn, M., Reynaud, S., Svensson, B. 2003. Biotic control on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands: a closed environment study. *Biogeochemistry* 64: 337-354.

Conrad, S. 1995. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases. *Advances in Microbial Ecology* 14: 207-250

De Souza Costa F., Bayer, C., Lima, M. A., Frighetto, R., Mussoi Macedo V. y Marcolin E. 2008. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. *Ciência Rural*: 38 (7). ISSN 0103-8478.

Escobar E., Ligier H y Melgar R. 1996. Mapa de suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Corrientes. Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Provincia de Corrientes. Argentina.

FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el%20arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es>.

FAOSTAT. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics. URL: <http://faostat3.fao.org/home>

Guerra, L.C., Bhuiyan, S.I., Tuong, T.P., Baker, R. 1998. Producing more rice with less

Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes. 2016. Ediciones INTA. Serie Técnica N.º 2. ISSN 1852-0678.

Hammer, D. A. 1992. Creating freshwater wetlands. Lewis Publishers. Chelsea, MI, USA.

Houweling, S. , Kaminski, T. , Dentener, F. , Lelieveld, J. y Heimann, M. 1999. Modelado inverso de fuentes y sumideros de metano utilizando el adjunto de un modelo de transporte global. *Journal Geophysical Research*. 104 (D21), 26137 - 26160, doi: 10.1029 / 1999JD900428 . ISSN: 0148-0227.

Hulshoff Pol, L.W., Lens, P.N., Stams, A.J. 1998. Anaerobic treatment of sulphate-rich wastewaters. *Biodegradation* 9, 213–224. <https://doi.org/10.1023/A:1008307929134>

International Atomic Energy Agency. Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture, IAEA-TECDOC-674, IAEA, Vienna (1992).

Inubushi, K., Otake, S., Furukawa, Y., Shibasaki, N., Ali, M., Itang, A. M., Tsuruta, H.. 2005. Factors influencing methane emission from peat soils: comparison of tropical and temperate wetlands. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 71: 93-99.

IPCC. 2006. Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Editors: Eggleston, H. S., Buendía, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. IGES, Japan.

IPCC. 2007. Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4: Agriculture, forestry and other land use. Intergovernmental Panel on Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies. pp. 450

IPCC. 2007a. Cambio Climático: 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. Ed: Pachuari, R. K., Reisinger, A. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.

IPCC. 2007b. IPCC fourth assessment report: Technical summary. pp. 1-74.

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group, I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. Cambridge University Press, USA.

IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Ginebra, Suiza, 34 págs.

IPCC. 2019. Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

IRRI. 2002. Report of the director general, 2002-03. International Rice Research Institute.

Kerdchoechuen, O. 2005. Methane emisión in four rice varieties as related to sugars and organic acids of roots and root exudates and biomass yield. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 108(2): 155-163.

Kurtz D. B.; Perucca A. R.; Matteio H.; Vallejos O. 2001. Relevamiento arrocero 2002/2003, con apoyo de escenas landsat, en Corrientes. Proyecto RR.HH. Proyecto arroz. INTA Corrientes – CONAE.

Laing, C. G., Shreeve, T. G., Pearce, D. M. E. 2008. Methane bubbles in surface peat cores: *in situ* measurements. *Global Change Biology* 14: 916-924.

Le Mer, J. and Roger, P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology* 37: 25–50.

Lelieveld, J., Crutzen, P. J., Dentener, F. J. 1998. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus Series B. Chemical and Physical Meteorology* 50: 128-150.

Macalady, J., Mcmillan, A., Dickens, A., Tyler, S. and Scow, K. 2002. Population dynamics of type I and II methanotrophic bacteria in rice soils. *Environmental microbiology*.ñ 4. 148-57. 10.1046/j.1462-2920.2002.00278x.

Maciel S.N., Sanabria, M.C., Herber, L.G., Kraemer, A.F.2010. Efecto de los distintos manejos del rastrojo de arroz (*Oryza sativa* L) en las emisiones de metano. XVII Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de Las Lajas. Cuba.

Martin, J., Hofnerr, E., Quigley, M. F. 2003. Effects of *Typha latifolia* transpiration and harvesting on nitrate concentrations in surface water of wetland microcosms. *Wetlands* 23: 835-844.

Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.

SAR. 1995. Cambio climático: Informe de síntesis. <https://www.ipcc.ch/report/ar2/syr/>

Sass, R. L., Fischer, F. M., Harcombe, P.A. and Turner, F.T. 1991. Mitigation of methane emission from rice fields: Possible adverse effects of incorporated rice Straw. *Global Biogeochemical Cycles*. 5:275-287.

Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. 1998. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. 2. John Wiley & Sons. pp. 1-1326.

Sistema de Información Agrícola. SISA. 2020. <https://www.afip.gob.ar/actividadesagropecuarias/sisa.asp>

Smith. 2007. Agriculture. Climate Change: Mitigation: In Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment report of the IPCC. [B. Metz et al. (eds)], Cambridge University Press. Soils 24: 261-265.

Soils 24: 261-265.

Tauchnitz, N., Brumme, R., Bernsdorf, S., Meissner, R. 2007. Nitrous oxide and methane fluxes of a pristine slope mire in the German National Park Harz Mountains. Plant Soil 303: 131-138.

United Kingdom Environment Agency. 2010. Guidance on monitoring landfill gas surface emissions.

Waschütza, S., Hofmann, N., Niemann, E.G, Fendrik, I. 1992. Investigations on root exudates of Korean rice. Symbiosis 13: 181-189.

Watanabe, D.T., Hashimoto, T., Shimoyama, A. 1997. Methane oxidizing activities and methanotrophic population associated with wetland rice plants. Biology and Fertility of Soils 24: 261-265.

Watanabe A., Takeda T., and Kimura M. 1999. Evaluations of origins of CH₄ carbon emitted from rice paddies. Journal of Geophysical Research (104):,23623-23629.

Yusuf, R. U., Noor, Z. Z., Abba, A. H., Hassan, M. A. A., Din, M. F. M. 2012. Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 5059-5070.

Zhu, N., An, P., Krishnakumar, B., Zhao, L., Sun, L., Mizuochi, M., Inamori, Y. 2007. Effect of plant harvest on methane emission from two constructed wetlands designed for the treatment of wastewater. Journal Environmental Management 85: 936-943.

Mayo, 2021