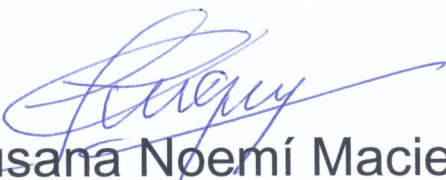


Manejo sustentable del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) para reducir las emisiones de gases efecto invernadero en la provincia de Corrientes, Argentina


Autora: Susana Noemí Maciel

Tesis doctoral UDC / Año 2023


Director: Antonio Paz González

Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Manejo sustentable del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) para reducir las emisiones de gases efecto invernadero en la provincia de Corrientes, Argentina

Autora: Susana Noemí Maciel

Tesis doctoral UDC / Año 2023

Director: Antonio Paz González

Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Programa Oficial de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental

Tesis Doctoral

**Manejo sustentable del cultivo de arroz
(*Oryza sativa* L.) para reducir las
emisiones de gases efecto invernadero
en la provincia de Corrientes, Argentina**

Susana Noemí Maciel

Marzo 2023

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mi madre Cecilia, que incondicionalmente estuvo en los buenos y malos momentos que me toco transitar en la vida; a mis hijos Joaquín y Lucas, quienes fueron mi motivación para mejorar continuamente tanto en mi carrera profesional como en lo personal; a mi padre Juan Antonio que seguramente desde el cielo se sentirá muy orgulloso de mis logros.

Y quiero dedicar especialmente este trabajo a mi perseverancia ante tantas adversidades, mi resiliencia y por no dejarme caer en los momentos más difíciles, levantarme y repetirme continuamente, ¡vos podes Susana!

¡Gracias infinitas a Dios por todas las bendiciones recibidas!

“Siempre parece imposible... hasta que se hace”

Nelson Mandela

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin los recursos aportados por:

- El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

Agradezco la colaboración de mis compañeros de trabajo de la:

- Estación Experimental Agropecuaria El Sombrero. INTA, Corrientes, que sin su ayuda no hubiese sido posible realizar todas las mediciones a campo; a mis compañeros de trabajo de los grupos de: Recursos Naturales, Forrajes y Cultivos Extensivos (arroz).

A todo el grupo de Mejoramiento Genético de Arroz de la:

- Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay. INTA, Entre Ríos, que me abrieron las puertas y me brindaron todo el apoyo necesario para realizar las mediciones a campo.

Al Director de la Unidad Integrada Balcarce, Dr. Facundo Quiroz, por permitirme continuar con los trabajos de investigación desde Balcarce.

A mi Jefe de Grupo y Coordinador, Dr. Máximo Lorenzo por facilitarme los permisos para la redacción de esta Tesis.

A la Gerencia de Formación y Capacitación Superior del INTA, a cargo de la Lic. Ana Sonsino quien confió en mi trabajo y me dio todo su apoyo para la inclusión al Programa de Formación Superior y además me facilitó, por su intermedio, la posibilidad de viajar a España para la defensa de mi tesis.

A Analía Herlein de la Gerencia de Formación Superior que me acompañó y asesoró en todos los trámites administrativos correspondientes, para la inclusión al Programa.

Por el apoyo, contribución y guía de mi director Dr. Antonio Paz González para la elaboración y finalización de esta tesis.

A la Dra. Silvana Ferrari Usandizaga por su enorme colaboración en los análisis estadísticos.

¡Eternamente agradecida a todos los que de una u otra manera son parte de este trabajo!

RESUMEN

Este trabajo es el resultado de años de investigación para lograr la calibración de un protocolo de medición de gases de efecto invernadero, bajo la técnica de cámara cerrada, que permita cuantificar la emisión de metano; producto generado de la fermentación neta de las bacterias metanotróficas y metanogénicas, presentes naturalmente en los suelos, debido a las condiciones de anaerobiosis que se generan por el anegamiento continuo del cultivo de arroz.

Mediante la técnica implementada y a través del análisis cromatográfico de las muestras, se procesaron cuantitativamente los resultados, para determinar el factor de emisión estacional del cultivo de arroz a nivel regional, asimismo se evaluaron las variables que influyen en la generación de metano, principal gas de efecto invernadero de la producción primaria de arroz.

Se trabajó sobre suelos bajo un manejo de labranza anticipada, que permite, debido al laboreo mínimo, preservar la sostenibilidad del mismo.

Cumplido el objetivo general del trabajo, de cuantificar el factor de emisión estacional del cultivo, esta Tesis busca sentar un precedente en cuanto a las emisiones procedentes del cultivo de arroz dentro del sector agrícola, que contribuya en la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, ya que existe una carencia de información científica en esta área.

En el año 1 el factor de emisión fue de $1,523 \text{ kg CH}_4 / \text{ha. día}$, para el año 2, $0.614 \text{ kg CH}_4 / \text{ha. día}$, ambos evaluados en la provincia de Corrientes; y en el año 3 el valor fue de $2.135 \text{ kg CH}_4 / \text{ha. día}$. en la provincia de Entre Ríos.

Con el conocimiento de las variables que influyen en la generación de metano e implementando prácticas agrícolas sustentables, se podrán ampliar las perspectivas para una adaptación efectiva y los desafíos de mitigación a corto y mediano plazo, ante una situación climática apremiante, de manera contribuir a la disminución de los riesgos climáticos a futuro.

RESUMO

Este traballo é o resultado de anos de investigación para lograr a calibración dun protocolo de medición de gases de efecto invernadoiro, baixo a técnica da cámara pechada, que permita cuantificar a emisión de metano, produto xerado da fermentación neta das bacterias metanotróficas e metanoxénicas, presentes naturalmente nos solos, debido ás condicións de anaerobiosis que se xeran pola inundación continua do cultivo de arroz.

Mediante a técnica que se puido implementar e a través da análise cromatográfico das mostras, procesáronse cuantitativamente os resultados, para determinar o factor de emisión estacional do cultivo de arroz a nivel rexional; así mesmo avaliáronse as variables que inflúen na xeración de metano, principal gas de efecto invernadoiro da produción primaria de arroz.

Traballouse sobre solos baixo un manexo de labranza non convencional, que permite, debido ao laboreo mínimo, preservar a sustentabilidade do mesmo.

Cumprido o obxectivo xeral do traballo, de cuantificar o factor de emisión estacional do cultivo; esta tese de doutoramento busca sentar un precedente en canto ás emisións procedentes do cultivo de arroz dentro do sector agrícola, que contribúa na elaboración do Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadoiro, xa que na Arxentina existe unha carencia de información científica nesta área.

No ano 1 o factor de emisión foi de 1,523 kg CH₄ /ha. día, para o ano 2, 0.614 kg CH₄ /ha. día, ambos os avaliados na provincia de Corrientes; e no ano 3 o valor foi de 2.135 kg CH₄ /ha. día. na provincia de Entre Ríos.

Co coñecemento das variables que inflúen na xeración de metano e implementando prácticas agrícolas sustentables, poderanse ampliar as perspectivas para unha adaptación efectiva e os desafíos de mitigación a curto e mediano prazo, ante unha situación climática aprémante, de maneira contribuír á diminución dos riscos climáticos a futuro.

SUMMARY

This work is the outcome of years of research to calibrate a protocol for measuring Greenhouse gases using the closed-chamber technique, which enables the quantification of methane emissions. Methane is a product of the net fermentation of methanotrophic and methanogenic bacteria naturally present in soils, due to the anaerobic conditions that are generated by the continuous flooding of rice crops.

Using the implemented technique and through chromatographic analysis of the samples, the results were quantitatively processed to determine the seasonal emission factor of rice crops at the regional level. Additionally, the variables that influence the generation of methane, the primary greenhouse gas in primary rice production, were also evaluated.

The study was conducted on soils under early tillage management, which, due to the minimal tillage, preserves the sustainability of the soil.

Having achieved the general objective of quantifying the seasonal emission factor of rice cultivation, this thesis aims to establish a precedent regarding emissions from rice cultivation within the agricultural sector. This will contribute to the development of the National Inventory of Greenhouse Gases, as there is a lack of scientific information in this area.

In the first year, the emission factor was 1.523 kg CH₄/ha. day, for the second year, it was 0.614 kg CH₄/ha. day, both evaluated in the province of Corrientes; and in the third year, the value was 2.135 kg CH₄/ha. day in Entre Rios province.

With an understanding of the variables that influence the generation of methane and the implementation of sustainable agricultural practices, perspectives for effective adaptation and short and medium-term mitigation challenges can be expanded, contributing to the reduction of climate risks in the future.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	2
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	5
2.1. Hipótesis	6
2.2. Objetivo General	6
2.3. Objetivos particulares	6
3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	7
3.1. Gases efecto invernadero (GEI) y su impacto en el Cambio Climático.	8
3.1.1. Cambios energéticos debido al incremento de los GEI en la atmósfera y sus consecuencias.	8
3.1.2. Cambios de las concentraciones de CH ₄ atmosférico desde el período preindustrial.	12
3.1.3. Emisiones de GEI derivadas de distintas actividades antropogénicas a nivel global.	14
3.1.4. Uso de la tierra y su impacto en el cambio climático	16
3.1.5. Marco Internacional sobre Cambio climático. Compromisos asumidos por la República Argentina	18
3.1.6. Sistema Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Argentina.	24
3.1.7. Inventario Nacional de GEI.	27
3.1.8. Tendencia de las emisiones 1990-2018.	29
3.1.9. Emisiones de GEI del sector agrícola.	30
3.1.10. Emisiones de CH ₄ provenientes del cultivo de arroz.	33
3.1.11. Procesos de generación de CH ₄ en suelos inundados.	36
3.1.12. Procesos de difusión del CH ₄ a través del cultivo de arroz.	38
3.1.13. Fenología y desarrollo del cultivo de arroz.	40
3.1.14. El arroz como fuente de la alimentación mundial.	43

3.1.15. Producción de arroz en Argentina.	44
3.1.16. Sistemas de labranza. Manejo del suelo.	48
3.1.16.1. Labranza Convencional.	50
3.1.16.2. Labranza Mínima o Anticipada.	51
3.1.16.3. Labranza Cero o Siembra directa.	51
4. MARCO METODOLÓGICO	53
4.1. Materiales y métodos.	54
4.1.1. Generalidades del proceso metodológico.	54
4.1.2. Manejo del suelo.	55
4.1.3. Protocolo medición GEI. Técnica de cámara estática o cerrada. Diseño.	59
4.1.4. Toma de muestras: insumos utilizados.	63
4.1.5. Ajuste del método de cálculo.	65
4.1.6. Análisis cromatográfico.	67
4.1.7. Detector de ionización de llama (FID).	67
4.1.8. Desarrollo metodológico en la provincia de Corrientes. Año 1 y Año 2.	68
4.1.8.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.	68
4.1.8.2. Aspectos geomorfológicos.	70
4.1.8.3. Características climáticas.	71
4.1.9. Metodología AÑO 1. Provincia de Corrientes.	71
4.1.9.1. Material Vegetal.	71
4.1.9.2. Fertilización aplicada.	72
4.1.9.3. Diseño experimental y protocolo de muestreo.	72
4.1.9.4. Análisis cromatográfico Año 1 y Año 2.	75
4.1.10. Metodología AÑO 2. Provincia de Corrientes.	85
4.1.10.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.	85
4.1.10.2. Material Vegetal.	85
4.1.10.3. Fertilización aplicada.	85
4.1.10.4. Diseño experimental y protocolo de muestreo.	85
4.1.11. Metodología AÑO 3. Provincia de Entre Ríos.	86

4.1.11.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.	87
4.1.11.2. Aspectos geomorfológicos.	88
4.1.11.3. Características climáticas.	89
4.1.11.4. Material Vegetal.	89
4.1.11.5. Condiciones de manejo y fertilización.	89
4.1.11.6. Diseño experimental y protocolo de muestreo.	91
4.1.11.7. Toma de muestras gas CH ₄ .	94
4.1.11.8. Procedimiento de muestreo.	95
4.1.11.9. Análisis cromatográfico.	96
4.1.11.10. Análisis estadístico.	98
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	99
5.1. AÑO 1.	100
5.1.1. Datos climáticos.	100
5.1.2. Características edáficas del suelo (bajo cultivo de arroz año 1 y 2).	101
5.1.3. Regresión lineal. Cálculo de la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$.	102
5.1.4. Cálculo del flujo de CH ₄ . Factor de emisión estacional [kg CH ₄ /ha. día].	106
5.2. AÑO 2	109
5.2.1. Datos climáticos.	109
5.2.2. Características edáficas del suelo.	110
5.2.3. Regresión lineal. Cálculo de la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$.	110
5.2.4. Cálculo del flujo de CH ₄ . Factor de emisión estacional [kg CH ₄ /ha. día].	114
5.3. AÑO 3.	117
5.3.1. Datos climáticos.	117
5.3.2. Características edáficas del suelo.	117
5.3.3. Regresión lineal. Cálculo de la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$.	118
5.2.4. Cálculo del flujo de CH ₄ . Factor de emisión estacional [kg CH ₄ /ha. día].	126
5.4. Discusión de resultados	128
6. CONCLUSIONES	130
6. Conclusiones	131

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
7. Referencias bibliográficas	134

INDICE DE FIGURAS

Figura	Denominación	Página
Figura 3-1	Cambios de la energía solar que generan el efecto invernadero	9
Figura 3-2	Concentraciones y forzamiento radiativo del (a) dióxido de carbono (CO ₂), (b) metano (CH ₄), (c) y óxido nitroso (N ₂ O) y (d) la tasa de cambio de su forzamiento radiativo combinado durante los últimos 20.000 años reconstruidas a partir del hielo antártico y de Groenlandia.	11
Figura 3-3	Variaciones de deuterio (δD) en el hielo ártico, representativo de la temperatura local, y las concentraciones atmosféricas de los GEI CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O en el aire atrapadas en los testigos de hielo y de mediciones actuales atmosféricas	13
Figura 3-4	Proyección de crecimiento poblacional al año 2.100.	14
Figura 3-5	Emisiones mundiales de GEI de los distintos sectores	15
Figura 3-6	Porcentaje de ocupación de la superficie terrestre libre de hielo a nivel global.	17
Figura 3-7	Meta de emisiones netas al 2030	20
Figura 3-8	Línea de tiempo de hitos internacionales adoptados por Argentina	21
Figura 3-9	Reportes presentados por Argentina ante la CMNUCC	22
Figura 3-10	Sistema de mapas de riesgo al Cambio Climático	23
Figura 3-11	Niveles de cálculo propuestos por las Directrices del IPCC.	26
Figura 3-12	Porcentaje de GEI de los cuatro sectores principales incluidos en las Directrices del IPCC 2006.	28
Figura 3-13	Emisiones de GEI por subsector	29
Figura 3-14	Tendencia de las emisiones de GEI del período 1990-2018	30
Figura 3-15	Principales fuentes de emisión del sector agropecuario, no se consideran las emisiones de CO ₂ ni las provenientes de los cambios de uso del suelo.	31
Figura 3-16	Emisiones del sector AGSOUT y del subsector Agrícola	33
Figura 3-17	Vías de difusión de CH ₄ en el cultivo de arroz.	39
Figura 3-18	Morfología de la planta de arroz.	41
Figura 3-19	Fases de desarrollo del cultivo de arroz	41
Figura 3-20	Desarrollo de la estructura foliar del cultivo de arroz	42
Figura 3-21	Participación del consumo de arroz a nivel mundial	44
Figura 3-22	Producción de arroz a nivel provincial. Campaña 2020/2021.	45

Figura 3-23	Evolución de la producción de arroz a nivel nacional.	47
Figura 4-1	Rastra excéntrica pesada o semipesada (120 a 130 kg/disco).	57
Figura 4-2	Niveladora Land Plane.	57
Figura 4-3	Diseño de cámara cerrada utilizada.	60
Figura 4-4	Diseño base metálica.	61
Figura 4-5	Jeringas de polipropileno de 20 ml con válvula de cierre de 3 vías.	63
Figura 4-6	Vacuteiners de 10 ml al vacío.	64
Figura 4-7	Viales de 10 ml al vacío, con tapones de butilo y precintos de aluminio.	65
Figura 4-8	Parcelas experimentales de cultivo de arroz. E. E. A. El Sombrero. INTA. Corrientes.	68
Figura 4-9	Geolocalización del Campo Experimental Arroz. E.E.A. INTA. El Sombrero. Corrientes.	69
Figura 4-10	Perfil general de suelos desarrollado con diferentes horizontes	70
Figura 4-11	Estación de muestreo para evitar la perturbación del suelo alrededor de las cámaras.	73
Figura 4-12	Unidades de observación en la parcela experimental.	74
Figura 4-13	Toma de muestras en la E.E.A. Corrientes.	74
Figura 4-14	Material de muestreo.	75
Figura 4-15	Patrón 5.3 ppm(v). Repetición 1	76
Figura 4-16	Patrón 5.3 ppm(v). Repetición 2	77
Figura 4-17	Patrón 5.3 ppm(v). Repetición 3	78
Figura 4-18	Patrón 10.6 ppm(v). Repetición 1	79
Figura 4-19	Patrón 10.6 ppm(v). Repetición 2	80
Figura 4-20	Patrón 10.6 ppm(v). Repetición 3	81
Figura 4-21	Patrón 15.2 ppm(v). Repetición 1	82
Figura 4-22	Patrón 15.2 ppm(v). Repetición 2	83
Figura 4-23	Patrón 15.2 ppm(v). Repetición 3	84
Figura 4-24	Imagen satelital del Campo experimental de arroz. E.E.A. INTA. Concepción del Uruguay. Entre Ríos.	87
Figura 4-25	Lotes de ensayos de arroz. E. E. A. Concepción de Uruguay. Entre Ríos.	88
Figura 4-26	Tractor con disco + rastrón.	90
Figura 4-27	Siembra de la variedad GURI INTA CL. Lote experimental E.E.A. Concepción del Uruguay.	91

Figura 4-28	Instalación de las estaciones de muestreo.	92
Figura 4-29	Instalación de las bases metálicas para apoyo de las cámaras.	92
Figura 4-30	Inicio del muestreo. E.E.A. Concepción del Uruguay. Entre Ríos.	93
Figura 4-31	Etapas del proceso productivo y desarrollo del cultivo.	94
Figura 4-32	Toma de muestras en etapa de macollaje. E.E.A. Concepción del Uruguay. Entre Ríos.	95
Figura 4-33	Curva de calibración correspondiente al CH ₄ .	97
Figura 4-34	Curva de calibración correspondiente al CO ₂ .	97
Figura 4-35	Curva de calibración correspondiente al N ₂ O	98
Figura 5-1	Variables ambientales durante la etapa de anegamiento del cultivo. Año 1.	100
Figura 5-2	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 31 y 47.	102
Figura 5-3	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 54 y 61.	103
Figura 5-4	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 67 y 74.	103
Figura 5-5	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 83 y 90.	104
Figura 5-6	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 94 y 101.	104
Figura 5-7	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 109.	105
Figura 5-8	Flujo medio diario de CH ₄ [kg/ha. día], medidos durante los días después de la emergencia (DDE).	108
Figura 5-9	Variables ambientales durante la etapa de anegamiento del cultivo. Año 2.	109
Figura 5-10	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 31 y 37.	110
Figura 5-11	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 46 y 53.	111
Figura 5-12	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 68 y 73.	111
Figura 5-13	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 79 y 87.	112
Figura 5-14	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 94 y 101.	112
Figura 5-15	Tasa de cambio de la concentración durante el tiempo de muestreo. DDE 108 y 116.	113
Figura 5-16	Flujo medio diario de CH ₄ [kg/ha. día], cuantificados durante los días después de la emergencia (DDE).	116
Figura 5-17	Variables ambientales durante la etapa de anegamiento del cultivo. Año 3.	117
Figura 5-18	Tasa de cambio de la concentración de CH ₄ (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 30	119

	DDE. Valor de pendiente y r2.	
Figura 5-19	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 38 DDE. Valor de pendiente y r2.	119
Figura 5-20	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 48 DDE. Valor de pendiente y r2.	120
Figura 5-21	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 52 DDE. Valor de pendiente y r2.	120
Figura 5-22	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 58 DDE. Valor de pendiente y r2.	121
Figura 5-23	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 67 DDE. Valor de pendiente y r2.	121
Figura 5-24	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 73 DDE. Valor de pendiente y r2.	122
Figura 5-25	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 80 DDE. Valor de pendiente y r2.	122
Figura 5-26	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 87 DDE. Valor de pendiente y r2.	123
Figura 5-27	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 94 DDE. Valor de pendiente y r2.	123
Figura 5-28	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 99 DDE. Valor de pendiente y r2.	124
Figura 5-29	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 107 DDE. Valor de pendiente y r2.	124
Figura 5-30	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 111 DDE. Valor de pendiente y r2.	125
Figura 5-31	Tasa de cambio de la concentración de CH4 (ppm(v)) de las seis repeticiones durante el tiempo de muestreo, correspondiente a los 136 DDE. Valor de pendiente y r2.	125
Figura 5-32	Correspondencia entre los DDE y el flujo obtenido	127
Figura 5-33	Flujo medio diario de CH4 [kg/ha. día], cuantificados durante los días después de la emergencia (DDE).	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Denominación	Página
Tabla 5-1	Distribución en porcentaje de las distintas fracciones componentes del suelo	101
Tabla 5-2	Condiciones de fertilidad de un suelo del tipo Argiudol ácuico, franco fino mixto	101
Tabla 5-3	Parámetros estadísticos asociados a las variables analizadas	105
Tabla 5-4	Medidas de resumen de las variables analizadas	106
Tabla 5-5	Parámetros utilizados para el cálculo de flujo medio diario	107
Tabla 5-6	Parámetros estadísticos asociados a las variables analizadas	113
Tabla 5-7	Medidas de resumen de las variables analizadas	114
Tabla 5-8	Parámetros utilizados para el cálculo de flujo medio diario	115
Tabla 5-9	Textura y composición del suelo hasta 30 cm de profundidad	118
Tabla 5-10	Fertilidad del suelo hasta 30 cm de profundidad	118
Tabla 5-11	Medidas de resumen de las variables analizadas	126
Tabla 5-12	Parámetros medios semanales, correspondientes a las diferentes etapas fenológicas del cultivo	127

1. Introducción

1.1. Introducción

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), es un instituto argentino de investigación de vanguardia en el desarrollo agro-tecnológico mundial, que está junto al productor y sus necesidades asistiendo a los sectores sociales que merecen atención. De este modo, proyecta sus acciones para alcanzar competitividad, sostenibilidad social y económica con sentido nacional, priorizando la sustentabilidad ambiental de los territorios.

El INTA, dentro de su cartera de proyectos, ha invertido en trabajos de investigación dentro de la temática ambiental, como es el caso del estudio de las emisiones de CH₄ proveniente del cultivo de arroz, evaluando las distintas alternativas de producción en pos de mitigar las emisiones que irreversiblemente se producen.

Los estudios se realizaron tanto en la Estación Experimental Agropecuaria (E. E. A) El Sombrero en la provincia de Corrientes, como en la E. E. A. Concepción del Uruguay, provincia de Entre Ríos.

Este trabajo de tesis es el resultado de varios años de investigación, como profesional del INTA, en el desarrollo de una metodología que permitiera determinar las emisiones de metano (CH₄), principal gas de efecto invernadero (GEI) generado durante la producción de arroz, para cuantificar el factor de emisión estacional del cultivo y así evaluar su impacto ambiental, información necesaria en los Inventarios Nacionales de GEI.

Este sistema de producción se realiza bajo anegamiento continuo luego de la emergencia y en el estadio de 4 hojas de la plántula de arroz, bajo un manejo del suelo denominado labranza mínima o anticipada, la cual implica un proceso de preparación del suelo que permite incorporar los residuos de la cosecha anterior, a una profundidad no mayor a 30 cm de la superficie, acelerando de esta manera los procesos de degradación de la materia orgánica residual, facilitando también las labores de roturación, nivelado y control de malezas con anticipación a la siembra (Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes. 2016). En la región arrocería del litoral argentino, es la práctica más utilizada.

Si bien Argentina no se encuentra entre los principales países productores y exportadores a nivel mundial del complejo arrocerero, las cualidades de nuestra producción regional alcanzan gran competitividad a nivel internacional. En el año 2021, las exportaciones del complejo arrocerero alcanzaron US\$ 215 millones, lo cual representa un aumento del 30% respecto al año 2020 y arribando a un máximo desde el año 2014 (Bolsa de Cereales de Rosario, 2022).

En Argentina se siembran alrededor de 200.000 hectáreas (ha) a nivel regional, las cuales se distribuyen principalmente en Corrientes (91.500 ha), principal provincia productora, y Entre Ríos (63.500 ha). Por su parte, Santa Fe ronda las 30.000 ha, seguida de Formosa (9.900 ha) y Chaco (5.200 ha). (Bolsa de cereales de Entre Ríos, 2021).

El consumo de arroz blanco per cápita ronda los 11 kilos, a nivel nacional, siendo el más bajo de toda Latinoamérica, un fenómeno que se agudiza en los grandes centros urbanos. Esta realidad determina que solo entre 30-40% del arroz producido permanezca en el país, mientras que el resto se exporte.

En la agricultura a nivel mundial, se consideran fuentes de emisión de GEI, la fermentación entérica, gestión del estiércol, cultivo de arroz, suelos agrícolas y quema de residuos agrícolas (Maqueda González, M. R., *et al*; 2005). En este sentido adquiere relevancia el conocimiento de las emisiones de CH₄ de los suelos inundados bajo el cultivo de arroz, por ser una de las principales fuentes de emisión que producen un impacto a nivel atmosférico.

La sostenibilidad de nuestros recursos naturales va a depender tanto del manejo de los suelos, como de las acciones de mitigación que podamos implementar para disminuir las emisiones de GEI.

La República Argentina a través de la Ley N° 24.295, en 1994, ratifica la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), asumiendo de esta manera una serie de obligaciones; entre ellas la de informar sus Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, generar Programas Nacionales que contengan medidas para mitigar y facilitar la adecuada adaptación al cambio climático, como así también cualquier otra información relevante para el logro del objetivo de la CMNUCC.

En cumplimiento con los compromisos asumidos por el país ante la CMNUCC, Argentina eleva su primer Informe Bienal de Actualización en el año 2015, el segundo en 2017, el tercero en 2019, presentando en diciembre de 2021 el cuarto Informe Bienal de Actualización.

Dentro de las necesidades identificadas en estos informes, se establece como necesidad transversal a todos los sectores, el desarrollo de factores de emisión con datos locales, ya que existe una carencia en este tipo de información, sobre todo en aquellas categorías consideradas como principales fuentes de emisión, siendo una de ellas el cultivo de arroz bajo inundación.

De esta forma, el presente trabajo doctoral aborda la incertidumbre sobre las emisiones de CH₄ durante la producción de arroz y considero que uno de los logros importantes del mismo fue el desarrollo de un protocolo que permitió estandarizar una metodología de medición “in situ” de estas emisiones basado en la técnica de cámaras estáticas, metodología más utilizada en países en desarrollo.

La tesis se desarrolla en partes o secciones de la siguiente manera:

- 1- Introducción: donde se enmarca el tema de investigación y la importancia de los resultados obtenidos, dada la carencia de información en este tema.
- 2- Hipótesis y objetivos a cumplir: preguntas que queremos responder y objetivos que queremos resolver.
- 3- Marco teórico y conceptual: resume la bibliografía que da un encuadre al problema de investigación, información empírica tomada de diversas fuentes e información obtenida a través de estudios anteriores.
- 4- Marco metodológico: enfoque sobre el desarrollo de la metodología aplicada, forma de recopilación de datos y su análisis posterior.
- 5- Análisis de resultados: presentación y discusión de los datos obtenidos.
- 6- Conclusiones
- 7- Referencias bibliográficas.

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.

2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1. HIPOTESIS

- 1. Se presume que la incorporación del rastrojo al suelo mediante el sistema de labranza anticipada favorecerá la descomposición del mismo mediante la acción bacteriana y por lo tanto disminuirá la emisión de metano durante el ciclo del cultivo.*
- 2. Desarrollando un protocolo para implementar la técnica de cámara cerrada o estática, se podrá cuantificar el factor de emisión estacional de CH₄ del cultivo de arroz.*

2.2. OBJETIVO GENERAL

“Evaluar las emisiones de CH₄, principal gas de efecto invernadero del sistema productivo arrocero, bajo un manejo sostenible del rastrojo de arroz, a fin de cuantificar el factor de emisión estacional, desarrollando y aplicando la metodología de cámara cerrada o estática para estimar su impacto ambiental a nivel nacional”.

2.3. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar las emisiones de metano del cultivo de arroz bajo el manejo agrícola de labranza reducida o anticipada, siendo el mayormente implementado en la región litoral arrocera.
2. Desarrollar y ajustar un protocolo de medición aplicando la técnica de cámara cerrada o estática para cuantificar el flujo de gas CH₄ emitido de la forma más certera.
3. Proponer prácticas de manejo del cultivo de arroz, que minimicen el impacto potencial al ambiente.
4. Encontrar los parámetros que inciden sobre el factor de emisión estacional de metano.
5. Ajustar una fórmula de cálculo que permita el cálculo del flujo de CH₄ siguiendo los lineamientos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

3. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

3. Marco Teórico y Conceptual

3.1. Gases de efecto invernadero (GEI) y su impacto en el cambio climático.

3.1.1. Cambios energéticos debido al incremento de los GEI en la atmósfera y sus consecuencias.

La energía que proviene del Sol, al llegar a la superficie terrestre, experimenta diferentes procesos físicos naturales, debido a las propiedades de la Tierra y su atmósfera, como ser la reflexión, absorción y emisión de esta energía dentro de la atmósfera y en la superficie (figura 3-1); determinando la temperatura promedio mundial, que en la actualidad es de aproximadamente 15 °C. Estos procesos que ocurren tanto en la superficie terrestre como en la atmósfera dan lugar al efecto invernadero, dado que la masa gaseosa que compone la capa más baja de nuestra atmósfera, en su mayoría está formada por gases de origen natural, pero también aquellos de origen antropogénico como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), principales GEI, que poseen un espectro de absorción en la región del infrarrojo, que se solapa con el espectro de emisión de la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes; por esta razón la radiación infrarroja que absorben, se transforma en energía calórica, conservando la energía solar y evitando que una importante fracción del calor se disipe (Seinfeld y Pandis, 1998; Houweling, 1999). Este efecto invernadero que se produce en la capa atmosférica más cercana a la superficie terrestre, donde los cambios climáticos ocurren constantemente, es el que permite que la vida en la Tierra sea tal como la conocemos, ya que de lo contrario la temperatura media sería de unos -18°C, lo que haría inviable la existencia de seres vivos en nuestro planeta (Washington, H & Cook, J. 2011).

La capa más cercana a la superficie terrestre donde se produce la mezcla constante de los gases allí presentes se denomina troposfera, cuyo nombre deriva de *Tropos* que significa cambio.



Figura 3-1: Cambios de la energía solar que generan el efecto invernadero. Fuente: US EPA. 2012.

A lo largo del tiempo, se han producido cambios en varios aspectos de la atmósfera y la superficie que modifican el balance energético mundial de la Tierra, cuya consecuencia principal es el cambio en las condiciones climáticas. Entre estos cambios se encuentra el aumento constante de las concentraciones de GEI, que como ya vimos no solo aumentan la absorción atmosférica de la radiación emitida, sino también provocan el aumento de los aerosoles (partículas o gotas microscópicas presentes en el aire) que actúan para reflejar o absorber la radiación solar reflejada por la superficie terrestre y cambian las propiedades radiativas de las nubes, ya que concentran la energía en estas partículas, contribuyendo al aumento del efecto invernadero.

Estos cambios climáticos que se han manifestado a lo largo del tiempo, donde nuestra atmósfera y la superficie terrestre han ido modificando el equilibrio de la energía entrante y saliente en el sistema atmosférico de la Tierra generan lo que se conoce como “forzamiento radiativo”, que se expresa en Watts por metro cuadrado ($W m^{-2}$). Este factor tiene la importancia de representar un indicativo del mecanismo potencial del cambio climático. El forzamiento radiativo positivo y negativo contribuye al aumento y disminución, respectivamente, de la temperatura media superficial a nivel

mundial (Resumen técnico del IPCC, 2018).

Los GEI que se producen de manera natural, como el CO₂ y el CH₄, durante los últimos veinte años, han aumentado su concentración en la atmósfera, principalmente aquellos de origen antropogénico (N₂O y CH₄); lo que genera un aumento en el forzamiento radiativo del clima. El aporte de cada GEI al forzamiento radiativo durante un período específico de tiempo se determina por el cambio en su concentración atmosférica durante ese período de tiempo y la efectividad del gas para modificar el equilibrio radiativo.

Los GEI de larga vida como el CO₂ (entre 20 a 100 años), el CH₄ (12 a 14 años) y el N₂O (100 años o más), son químicamente estables y persisten en la atmósfera desde décadas hasta siglos o más, de modo que sus emisiones ejercen una gran influencia en el clima a largo plazo. Debido a su larga vida, estos gases se mezclan bien en la atmósfera, mucho más rápido de lo que se eliminan, y los datos de sus concentraciones mundiales se pueden calcular con exactitud en pocas localidades. El CO₂ no tiene un período específico de vida porque está en ciclo continuo con la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre y su eliminación neta de la atmósfera involucra una gama de procesos con escalas de tiempo diferentes; no podemos decir lo mismo del CH₄ y del N₂O que persisten en la atmósfera y su concentración va en aumento (IPCC, 2018).

El forzamiento radiativo total del clima terrestre debido a aumentos en la concentración de los principales GEI y muy probablemente la tasa en aumento del forzamiento total debido a estos gases en el período a partir de 1750, no tienen precedentes en más de 10.000 años (figura 3-2).

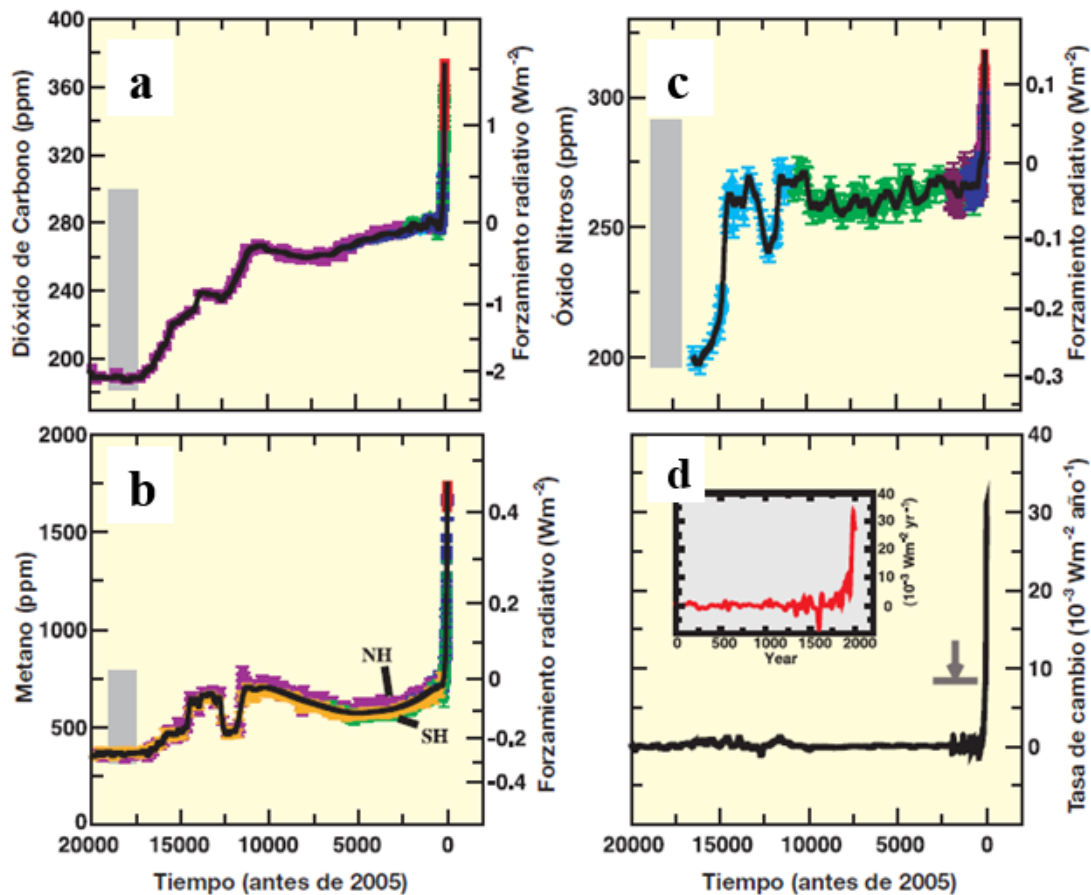


Figura 3-2: Concentraciones y forzamiento radiativo del (a) dióxido de carbono (CO₂), (b) metano (CH₄), (c) y óxido nitroso (N₂O) y (d) la tasa de cambio de su forzamiento radiativo combinado durante los últimos 20.000 años reconstruidas a partir del hielo antártico y de Groenlandia. Fuente: Resumen técnico IPCC. 2018. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>

En la figura 3-2, las barras grises muestran los niveles de variabilidad natural reconstruidos durante los últimos 20.000 años.

La tasa de cambio del forzamiento radiativo (panel d, línea negra) se calculó mediante una curva en los datos de concentración. El tiempo se calculó con datos que varían desde aproximadamente veinte años para sitios con gran acumulación de nieve como Law Dome, Antártida, hasta aproximadamente de 200 años para lugares con poca acumulación como Dome C, Antártida. La flecha muestra el pico en la tasa de cambio del forzamiento radiativo que resultaría si las señales antropogénicas de CO₂, CH₄, y N₂O se suavizaran relacionadas con las condiciones de baja acumulación en el sitio Dome C.

La concentración actual en la atmósfera de estos gases, es el resultado neto de sus

emisiones y eliminaciones pasadas en la atmósfera. Su concentración y el forzamiento radiativo de los diferentes gases presentados en la figura 3-2, derivan de las emisiones hacia la atmósfera generadas por las actividades humanas o que se formaron por las emisiones de otras especies precursoras.

Un informe de la agencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), también demostró que los niveles de CH₄ superaban en un 262% a los niveles alcanzados en 1750, mientras que el N₂O, en un 123 %.

Un informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) reveló acerca de las "preocupaciones sobre la capacidad del océano y la tierra para absorber aproximadamente la mitad de las emisiones de CO₂", y dijo que "la absorción del océano podría reducirse debido a las temperaturas más altas de la superficie del mar y otros factores".

El profesor Petteri Taalas, secretario general de la OMM, afirmó que "al ritmo actual de aumento de las concentraciones de GEI, asistiremos a un aumento de la temperatura a finales de este siglo muy superior a los objetivos del Acuerdo de París de 1,5 a 2 °C por encima de los niveles preindustriales".

Aun con la desaceleración económica que provocó la pandemia a causa del Covid-19, en el año 2020, no hubo ningún impacto perceptible en los niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero y sus tasas de crecimiento, por lo cual debemos persistir en las políticas de mitigación de los mismos.

3.1.2. Cambios de las concentraciones de CH₄ atmosférico desde el período preindustrial.

El aumento de aproximadamente 1774 partes por billón (ppb) de CH₄ en 2005 representa más del doble de su valor preindustrial. Las concentraciones atmosféricas de CH₄ variaron muy poco, entre 580 y 730 ppb, en los últimos 10.000 años, pero aumentaron alrededor de 1000 ppb en los últimos 200 años (figura 3-3). Esto representó el cambio más rápido de este gas durante al menos 80.000 años. A finales de la década de 1970 y principios del decenio de 1980, la tasa de crecimiento de CH₄ llegó al máximo con un valor por encima del 1% año⁻¹, pero a partir del principio del decenio de 1990 disminuyó considerablemente y estuvo cerca de cero en el período de

1999 a 2005. El aumento de CH₄ se produce cuando las emisiones superan las eliminaciones.

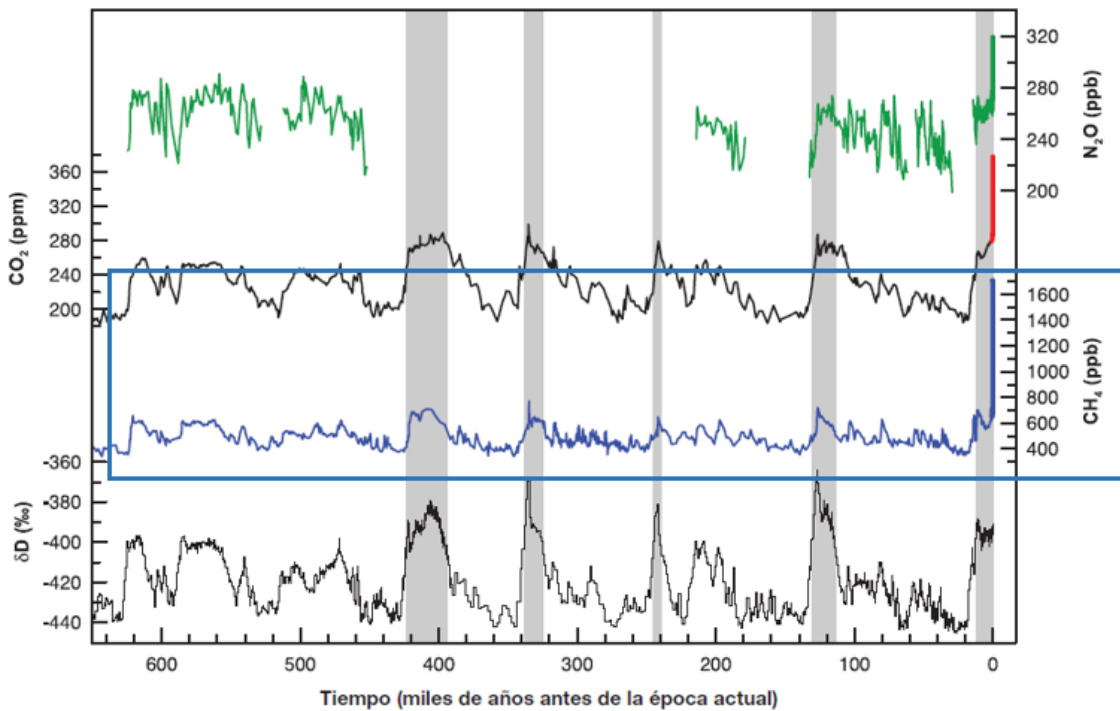


Figura 3-3: Variaciones de deuterio (δD) en el hielo ártico, representativo de la temperatura local, y las concentraciones atmosféricas de los GEI, CO₂, CH₄, y N₂O en el aire atrapadas en los testigos de hielo y de mediciones atmosféricas actuales. Los datos cubren 650.000 años y las líneas sombreadas representan períodos interglaciares cálidos actuales y pasados. Fuente: Resumen técnico IPCC. 2018. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>

El aumento de las concentraciones de CH₄ atmosférico desde el período preindustrial contribuyó a un forzamiento radiativo de $+0,48 \pm 0,05 \text{ W m}^{-2}$. Entre los GEI, este forzamiento ocupa el segundo lugar en magnitud después del forzamiento del CO₂.

Los niveles actuales de CH₄ atmosférico se deben a las emisiones antropogénicas continuadas de CH₄ que superan las emisiones naturales. El total de emisiones de CH₄ se puede determinar a partir de concentraciones observadas y cálculos de las tasas de eliminación. Las emisiones de fuentes de CH₄ individuales no están tan bien cuantificadas como las emisiones totales pero la mayoría es biogénica e incluye emisiones de humedales, animales rumiantes, **cultivo de arroz** y quema de biomasa, con el pequeño aporte de fuentes industriales que incluye la emisión de combustibles fósiles. El conocimiento de las fuentes de emisión, junto con la pequeña gama natural

de concentraciones de CH₄ en los últimos 650.000 años (figura 3-3) y su aumento dramático a partir de 1750, hacen muy probable que la actividad antropogénica sea la causa de los cambios a largo plazo observados en el CH₄.

La tasa de crecimiento del CH₄ atmosférico muestra una alta variabilidad interanual, lo cual no se ha explicado aún. El mayor aporte a la variabilidad interanual durante el período de 1996 a 2001 lo suponen, al parecer, las variaciones en las emisiones de los humedales y la quema de biomasa. Algunos estudios indican que las emisiones de CH₄ de los humedales son altamente sensibles a la temperatura y se ven afectadas por los cambios hidrológicos. Todos los modelos de cálculos indican aumento en las emisiones de los humedales debido a cambios climáticos futuros, pero varían ampliamente en la magnitud de tal retroefecto positivo (IPCC, 2018).

3.1.3. Emisiones de GEI derivadas de distintas actividades antropogénicas a nivel global.

A mediados de noviembre de 2022, la Organización de Naciones Unidas (ONU), publicó un reporte de la cifra alcanzada por la población mundial, la cual triplicó su número respecto de la cifra de mediados de siglo XX. En 1950 se estimaba un total de 2.500 millones de habitantes a nivel mundial, a mediados de noviembre de 2022 esta cifra llegó a los 8.000 millones de personas. Se estima que la población mundial alcanzará aproximadamente los 9.700 millones en 2050, pudiendo llegar a un pico de cerca de 10.400 millones para mediados de 2080 (figura 3-4).



Figura 3-4: proyección de crecimiento poblacional al año 2.100. Fuente: División de Población de la ONU.

Estas tendencias tendrán importantes repercusiones para las generaciones venideras, ya que la mayoría de los problemas ambientales que enfrentamos actualmente, desde el cambio climático hasta la pérdida de biodiversidad, estrés hídrico y los conflictos por la tierra, se remontan a nuestra reproducción desenfrenada durante los últimos siglos (www.un.org/es/global-issues/population).

Este crecimiento poblacional tan drástico, va a producir un aumento en los procesos de urbanización, movimientos migratorios, producción de alimentos y una mayor actividad de consumo en todas las áreas emisoras de gases, principalmente las de GEI (figura 3-5).

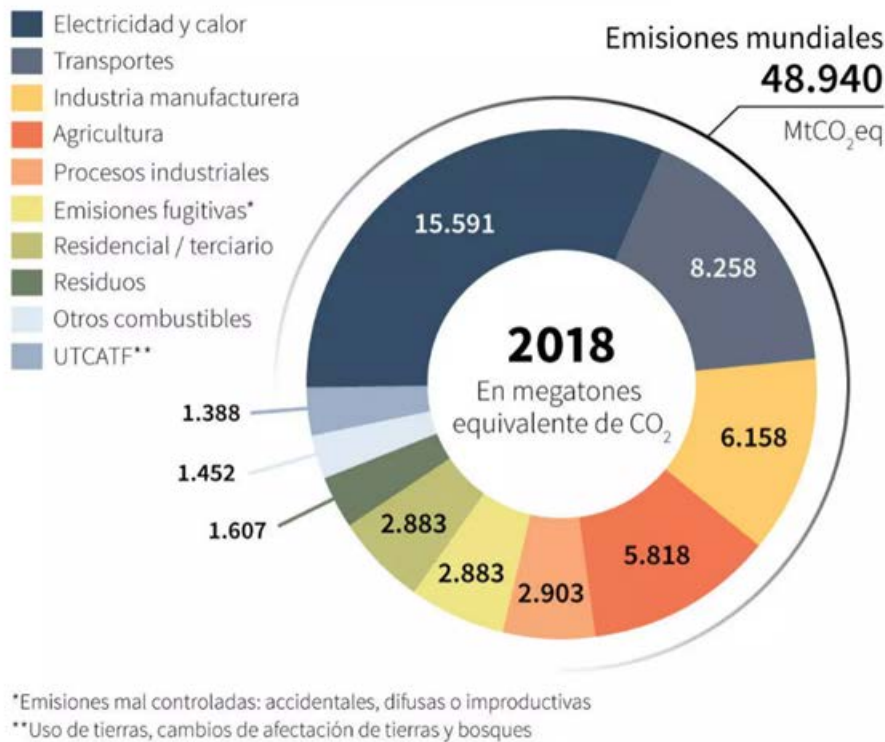


Figura 3-5: emisiones mundiales de GEI de los distintos sectores. Fuente: climatewatchdata.org
 Según el organismo de la ONU para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 38% de la superficie terrestre del planeta se utiliza para cultivar alimentos y otros productos (como combustible) para los seres humanos o su ganado: cinco mil millones de hectáreas en total.

Más allá de todo debate, el impacto ambiental que hemos tenido sobre la Tierra en estas últimas décadas es alarmante.

Actualmente se liberan más de 42.000 millones de toneladas de CO₂ equiv. (77% de CO₂, 14% CH₄, 8% N₂O y 1% otros).

La principal causa del calentamiento global es el CO₂. La mayor fuente de las emisiones procede de la combustión del carbón, petróleo y gas de las centrales eléctricas, los automóviles y las instalaciones industriales. Aunque los volcanes, la descomposición de las plantas y los incendios forestales producen CO₂ de manera natural, casi todos permanecen en equilibrio gracias a los sistemas naturales de la Tierra. Por ejemplo, las plantas y los océanos absorben y almacenan el CO₂. Sin embargo, los miles de millones de toneladas de CO₂ que se emiten anualmente, sobre todo aquéllas procedentes de la quema de combustibles fósiles, sobrepasan estos procesos naturales, lo que resulta en una acumulación continua de CO₂ en la atmósfera, provocando los cambios globales en el clima.

El cambio climático ya afecta a la seguridad alimentaria debido al calentamiento, los patrones cambiantes de precipitación y a la mayor frecuencia de algunos fenómenos extremos. Estos factores afectan a los rendimientos de los cultivos (p. ej., maíz y trigo), en ciertas regiones ha dado lugar a una disminución de las tasas de crecimiento animal y de la productividad en los sistemas pastorales de África, existen evidencias científicas que las enfermedades y plagas agrícolas ya han reaccionado ante los cambios en el clima, aumentando y disminuyendo el número de infecciones (Informe especial IPCC, 2020).

En cuanto al CH₄ y N₂O, sus concentraciones equivalieron, respectivamente, al 262% y al 123% de los niveles de 1750, el año elegido para representar el momento en que la actividad humana empezó a alterar el equilibrio natural de la Tierra.

Alrededor del 40% del CH₄ es emitido por fuentes naturales (por ejemplo, humedales), mientras que cerca del 60% proviene de actividades humanas como la ganadería de rumiantes y *el cultivo de arroz*.

3.1.4. Uso de la tierra y su impacto en el cambio climático.

Ahora bien, los suelos constituyen la base principal para el sustento y el bienestar

humanos, ya que nos provee de alimentos, agua dulce y muchos otros servicios ecosistémicos, como también es muy importante para la biodiversidad. Las actividades humanas ocupan entre el 69 % al 76 % (figura 3-6), de la superficie terrestre global libre de hielo, estimada en 130 Mkm².

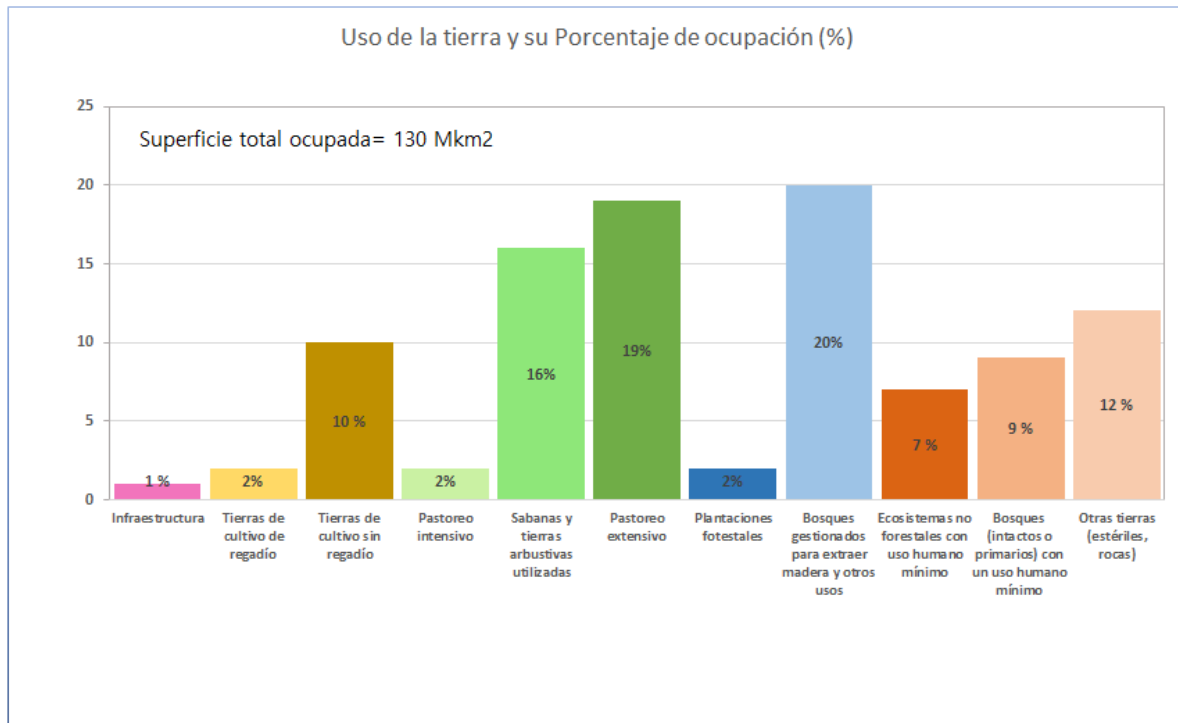


Figura 3-6: porcentaje de ocupación de la superficie terrestre libre de hielo a nivel global. Elaboración propia. Fuente: Informe especial IPCC,2020.www.ipcc.ch

El uso de la tierra desempeña un papel importante en el sistema climático. En la figura 3-6, cada barra representa una categoría general de cubierta terrestre. Se entiende por pasto intensivo al ocupado por una densidad de ganado mayor a 100 animales/km². El área correspondiente a “bosque gestionado para madera y otros usos” se calculó restando el área de bosque “primario/intacto” al área total de bosque. Las fuentes emisoras de CH₄ provienen de las tierras destinadas a cultivo de regadío con una superficie global de aproximadamente unos 2.6 Mkm² (2%); y también de la superficie destinada al pastoreo intensivo y extensivo (debido a las emisiones de CH₄ de los rumiantes), representando en este caso una superficie mucho mayor equivalente 27,3 Mkm² (21%).

Dentro del sector que integra la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés), las emisiones de CO₂ representaron alrededor del 13 %, las de CH₄ el 44 % y las de N₂O el 81 %, todas ellas procedentes de actividades humanas a nivel mundial durante el periodo que va desde 2007 a 2016, a nivel global este sector aporta por lo tanto el 23 % ($12 \pm 2,9 \text{ GtCO}_2\text{e año}^{-1}$) del total de emisiones antropogénicas netas de GEI (esta evaluación solo incluye CO₂, CH₄ y N₂O) (Informe especial IPCC, 2020).

En este contexto son urgentes aquellas medidas que puedan aportar no solo a la adaptación sino también a la mitigación del efecto climático que impactará sobre las generaciones futuras.

3.1.5. Marco Internacional sobre Cambio climático. Compromisos asumidos por la República Argentina.

En marzo de 1994, entra en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual toma como base la línea de uno de los tratados ambientales multilaterales más exitosos de la historia, como es el Protocolo de Montreal, del año 1987, que obliga a los Estados miembros a actuar en interés de la seguridad humana incluso ante la incertidumbre científica, es de notar que en 1994 había menos pruebas científicas que en la actualidad. El objetivo final de la Convención era *“estabilizar las concentraciones de GEI, a niveles que sean no influenciados por la actividad antropogénica peligrosa para el sistema climático; es decir, que esos niveles deberían alcanzarse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”*. Objetivo que lamentablemente a ya casi 30 años de proponerse, es casi imposible de lograr.

La Convención fue ratificada por 197 países los cuales son denominados “Partes” en la Convención, entre ellos la Argentina la cual adopta la CMNUCC en el año 1992 en la Cumbre de la Tierra de Río, realizada en Río de Janeiro, Brasil.

Al ratificar la CMNUCC, nuestro país asume el compromiso de reportar sus Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y establecer programas

nacionales que contengan medidas para mitigar y facilitar la adecuada adaptación al cambio climático. A partir del año 2014, los países en desarrollo tienen la obligación de presentar el Informe Bienal de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) cada dos años.

El 12 diciembre de 2015, en la Conferencia de las Partes (COP21) de París, las Partes de la CMNUCC, logran un pacto histórico en la lucha contra el cambio climático para acelerar e intensificar las acciones e inversiones destinadas a construir un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. Este acuerdo agrupa a todos los países en una causa común: realizar los esfuerzos necesarios para revertir el curso actual del calentamiento global. El Acuerdo de París entra en vigor el 4 de noviembre de 2016. Los científicos, a través de los reportes del IPCC, dejaron en claro que será necesario un gran cambio productivo y cultural para reducir el calentamiento global y evitar la ocurrencia de daños catastróficos e irreversibles. En esta línea, el Acuerdo de París, en su artículo N° 2, hace un llamado para *“mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”*. A pesar del optimismo puesto en este objetivo, desde la OMM, el secretario de dicha organización, Profesor Petteri Taalas, afirmó que "al ritmo actual de aumento de las concentraciones de GEI, la temperatura del planeta a finales de este siglo, superará los 1,5 a 2 °C por encima de los niveles preindustriales".

En esta urgencia por tomar acciones globales para enfrentar al cambio climático, todas las Partes acuerdan informar periódicamente sobre sus emisiones, sus esfuerzos de aplicación y actualizar sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por su sigla en inglés). Argentina ratifica el Acuerdo de París en el año 2016 a través de la Ley N°: 27.270 y para cumplir con los compromisos asumidos resuelve presentar regularmente sus INGEI y sus NDC. En su primera NDC (2016) se propone como meta no exceder la emisión neta de 483 millones de toneladas (Mt) de CO₂ eq.; a través de la implementación de una serie de medidas focalizadas en los sectores de energía, agricultura, bosques, transporte, industria y residuos.

En la actualidad, Argentina sigue plenamente comprometida con una ambiciosa acción climática nacional y global para lograr los objetivos del Acuerdo de París, y ha colocado la agenda ambiental y climática en el centro de sus prioridades de política pública. Basado en la mejor ciencia disponible y reconociendo el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas a la luz de las circunstancias nacionales, durante la Cumbre de Líderes sobre Clima, celebrada en Estados Unidos el 23 de abril de 2021, el presidente argentino Dr. Alberto Fernández anunció un aumento en la ambición de mitigación de 2 puntos porcentuales. Esto representa una reducción en la limitación de las emisiones al 2030 del 27,7% respecto a la primera NDC presentada en 2016.

La segunda NDC, presentada en octubre de 2021, actualiza la meta de emisiones netas comprometiendo el objetivo de no superar las 349 MtCO_{2e} en 2030 (figura 3-7).

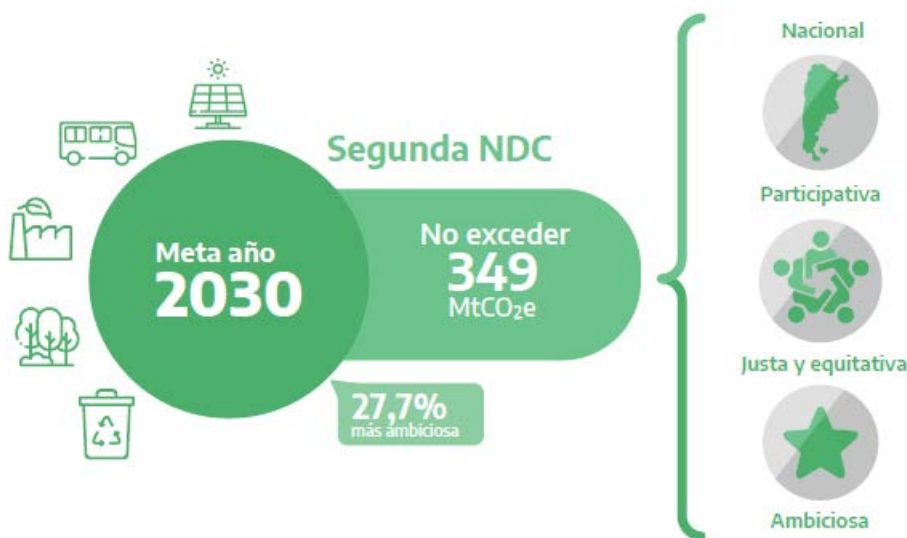


Figura 3-7: Meta de emisiones netas al 2030. Fuente: www.argentina.gob.ar. Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por su sigla en inglés).

La meta propuesta es absoluta, incondicional y aplicable a todos los sectores de la economía, de conformidad con el artículo 4.4 del Acuerdo de París... *“Las Partes que son países en desarrollo deberían seguir aumentando sus esfuerzos de mitigación, y se les alienta a que, con el tiempo, adopten metas de reducción o limitación de las emisiones para el conjunto de la economía, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales”*.

El período de aplicación de las metas propuestas, abarca desde el 1 de enero de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2030.

Argentina, para la contabilidad de su meta, seguirá utilizando los supuestos y enfoques metodológicos, utilizados para estimar y contabilizar las emisiones antropogénicas de GEI y las absorciones de CO₂, conforme a las Directrices propuestas por el IPCC de 2006.

El INGEI de la República Argentina se actualizará sobre la base del proceso de mejora continua en la estimación de las emisiones y absorciones de GEI. Comprenderá, entre otros, actualizaciones metodológicas, cálculo de categorías no incluidas hasta el momento, mejoras en los datos de actividad y en los parámetros utilizados, como, por ejemplo, en los valores del Poder de Calentamiento Global (PCG) de los distintos gases. Estas mejoras se verán reflejadas en los Informes Bienales de Actualización (IBA) que se publican cada dos años y contiene información actualizada sobre INGEI, las Comunicaciones Nacionales (CN) y en los futuros Informes Bienales de Transparencia (IBT). La actualización de la información permitirá mejorar la exactitud y la calidad de la estimación y reflejar de modo transparente en el INGEI los esfuerzos de mitigación del país. La Segunda NDC, publicada en 2021, presenta una meta única para 2030 e incluye, a modo informativo, un indicador de las emisiones esperadas (372 MtCO₂e) a medio término en 2025, el cual no forma parte de la meta de esta NDC.

En la figura 3-8 se presenta la línea de tiempo de tratados internacionales adoptados por la República Argentina.

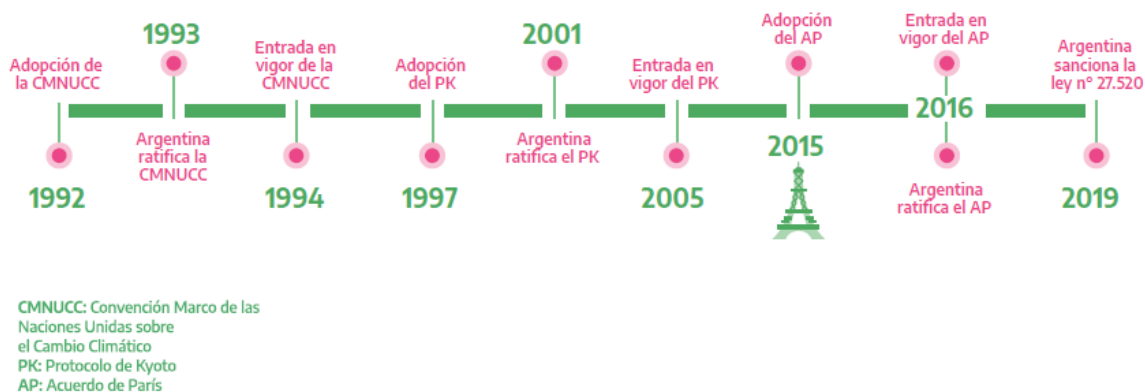


Figura 3-8: línea de tiempo de hitos internacionales adoptados por Argentina. Fuente: INGEI, 2021.

Las comunicaciones respecto de los compromisos asumidos por la Argentina ante la CMNUCC a lo largo del tiempo se presentan en la figura 3-9.

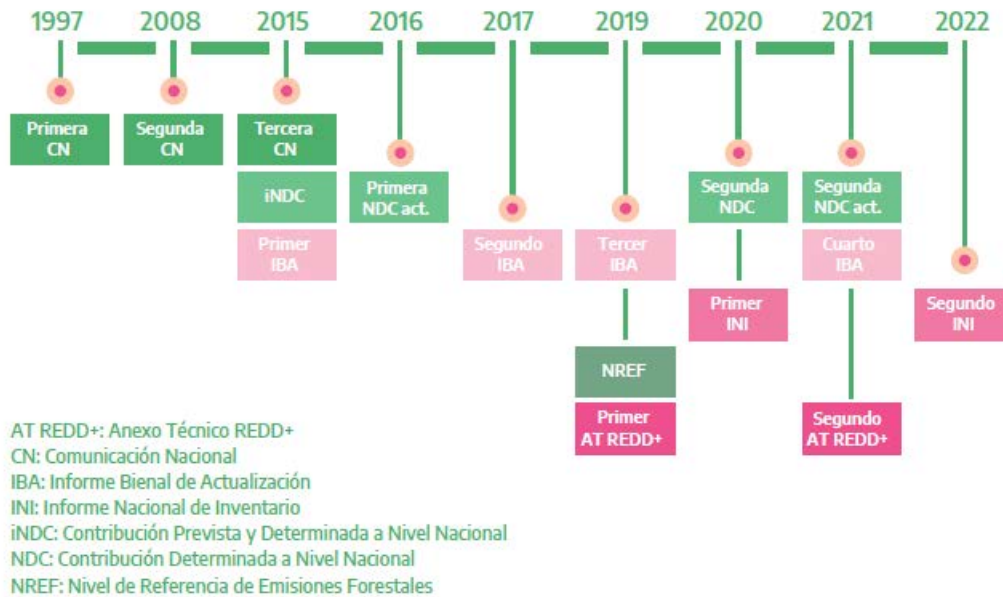


Figura 3-9: Reportes presentados por Argentina ante la CMNUCC. Fuente: INGEI, 2021.

Nuestro país ha llevado adelante un proceso de revisión de nuestras Contribuciones que ha sido coordinado interministerialmente a través del Gabinete Nacional de Cambio Climático (GNCC), con una estrategia participativa de los distintos sectores de la comunidad en el ámbito del Gabinete ampliado, e interjurisdiccional, a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA). El Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 de Acción por el Clima nos llama a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Asimismo, en el marco de las Comunicaciones Nacionales, además del Inventario de Gases, se elaboraron distintos estudios sobre la vulnerabilidad al cambio climático en diferentes regiones del país y estudios sobre la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en distintos sectores emisores (Recuperado de www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico).

Se sabe que los impactos del cambio climático se definen como las consecuencias en los sistemas humanos y naturales. En la Tercera Comunicación Nacional (TCN) se estimaron los impactos observados y esperados para nuestro país (figura 3-10).



Figura 3-10: Sistema de mapas de riesgo al Cambio Climático. Fuente: INGEI, 2021.

A partir de la actualización de la primera NDC en el año 2016, en nuestro país se ha avanzado en materia de adaptación al cambio climático en articulación constante con distintos sectores, niveles de gobierno, actores de la sociedad civil, del sector académico y privado. Se ha dado inicio al proceso de elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNA), que cuenta con el apoyo del Fondo Verde para el Clima y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), donde este último busca facilitar la integración de la adaptación en las estrategias y políticas públicas con el objetivo de reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los impactos del cambio climático de las comunidades, los ecosistemas y las actividades

productivas del país.

Como medidas de respuesta de mitigación y adaptación a los impactos ambientales se busca la intervención antropogénica para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de GEI, a partir de la implementación de buenas prácticas agrícolas que puedan minimizar estas emisiones y sobre todo mantener, en lo posible, la sostenibilidad de nuestros recursos naturales. En base a escenarios climáticos proyectados o reales, se plantean ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

En la región noreste argentina (NEA), particularmente en el noroeste y centro sur de la provincia de Corrientes, desde el año 2021, se está padeciendo una sequía histórica, ya que normalmente la provincia cuenta con un 40% de su superficie cubierta por agua, actualmente existe un déficit hídrico donde se estima que menos del 10% de la superficie de Corrientes estaría cubierta por agua, muy por debajo del 40% promedio, a lo que se suman las temperaturas extremas y una histórica bajante del río Paraná que se posiciona como otro elemento de relevancia.

Esta situación favorece los focos de incendio, impactando en la pérdida de biodiversidad, zonas de humedales y afectando fuertemente a las actividades productivas muy importantes en la provincia como la forestación, arroz y ganadería (www.medios.unne.edu.ar/2022/02/22).

La región NEA lleva 20 meses en situación de sequía severa, dejando de ser un escenario proyectado para convertirse en una cruda realidad.

3.1.6. Sistema Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Argentina.

El IPCC fue creado en 1988 con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

En 1996 se publican las primeras directrices metodológicas para la elaboración de los INGEI conocidas como Directrices 1996, las cuales fueron actualizadas en 2006 incluyendo fuentes y gases nuevos, así como actualizaciones de la metodología de

cálculo, en base al avance alcanzado en el conocimiento científico y técnico desde su primera publicación. En el año 2019 se realiza un reajuste de las Directrices del IPCC de 2006 y dicha actualización es la aplicada en los INGEI desde entonces (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf>).

Dentro del territorio nacional los INGEI contienen estimaciones para el año calendario durante el cual se producen las emisiones y absorciones. En los años en los que no hay datos de actividad disponibles, es posible estimar los mismos utilizando los datos de años previos y aplicando técnicas de empalme como promedio, interpolación y extrapolación para estimar faltantes. Con los datos de actividad obtenidos, se calculan las emisiones y absorciones de los años correspondientes.

Debido a la importancia de hacer el seguimiento de las tendencias de emisiones netas a través del tiempo, los países deben garantizar que la serie histórica de estimaciones sea lo más coherente y consistente posible.

Los INGEI revelan los datos sobre la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones y absorciones que se producen durante un período de tiempo determinado.

Los factores de emisión utilizados para el cálculo son las emisiones de GEI por unidad de actividad que surgen a partir de una muestra de datos relevados y son calculados para determinar una tasa promedio representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto dado de condiciones de funcionamiento.

Las categorías principales consideradas, son aquellas que repercuten significativamente sobre el inventario total de un país a nivel de:

EMISIONES ABSOLUTAS

TENDENCIA

INCERTIDUMBRE

Estas categorías deben ser la prioridad para los países durante la asignación de recursos para el proceso de elaboración de los INGEI.

Para el cálculo de las emisiones y absorciones (figura 3-11), se aplican los siguientes niveles de cálculo:

NIVEL 1	Metodología básica: Permite usar las estadísticas nacionales o internacionales disponibles, en combinación con los factores de emisión y parámetros por defecto provistos por las Directrices metodológicas del IPCC.
NIVEL 2	Metodología complejidad intermedia: Permite el uso de parámetros y datos nacionales para estimar factores de emisión locales combinados con datos de actividad propios del país.
NIVEL 3	Metodología complejidad avanzada: Es la más exigente en cuanto a la complejidad y a los requisitos para los datos, parámetros y factores de emisión, los cuales deben ser valores locales específicos. Incluye el uso de modelos con datos de actividad más detallados o provenientes de mediciones de emisiones, entre otros.

Figura 3-11: Niveles de cálculo propuestos por las Directrices del IPCC. Fuente: IPCC,2019.

A partir del Tercer Informe Bienal de actualización (IBA), presentado en el año 2019, se incluye la elaboración del INGEI del año 2016 junto con la serie temporal del período 1990-2016, bajo un esquema sistematizado en términos de adquisición de datos, procesamiento de la información, métodos de cálculo y reporte, y la incorporación de nuevos gases fluorados (gases F) que provienen de los sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO).

En el cuarto IBA Argentina presenta el INGEI del año 2018 junto con la serie temporal del período 1990-2018, este informe sale publicado en el año 2022. El cuarto IBA fue el primero en implementar por completo el proceso de sistematización desarrollado en el tercer IBA. Incorpora la categoría Productos de Madera Recolectada (PMR), siendo una de las principales mejoras del presente informe, y el Anexo Técnico sobre *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries / Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo; y función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo* (REDD+2, por sus siglas en inglés), conteniendo los resultados alcanzados

por la República Argentina por la reducción de emisiones derivadas de la deforestación para el período 2017-2018.

Mediante el desarrollo del Sistema Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Argentina (SNI-GEI-AR), entre 2017 y 2019, se trabajó en la mejora del proceso de elaboración de los reportes internacionales como herramienta central de transparencia y promoción de la información.

El SNI-GEI-AR estructura y ordena las relaciones institucionales definiendo roles y responsabilidades para el cálculo y reporte del INGEI, lo cual facilita el cumplimiento de los plazos y los parámetros de calidad requeridos. Paralelamente, es un sistema soporte de información basado en interacciones interinstitucionales y procedimientos estandarizados para el intercambio de datos, y la validación y compilación de inventarios robustos y transparentes. Además, el sistema permite evaluar la consistencia del INGEI con las medidas de mitigación incluidas en los planes sectoriales para la implementación de la NDC y proporciona los insumos técnicos necesarios para la planificación de políticas a mediano y largo plazo.

3.1.7. Inventario Nacional de GEI.

Un inventario de GEI contabiliza los gases emitidos y absorbidos de la atmósfera durante un año calendario para el territorio argentino, generados exclusivamente por las actividades antropogénicas (CO₂, CH₄, N₂O y gases F), dichas emisiones y absorciones son las que se contabilizan en los inventarios nacionales.

Nos permite ver el estado de situación para poder mejorar nuestro comportamiento y planificar nuevos compromisos de mitigación bajo un marco de transparencia, a fin de contribuir y reforzar la respuesta mundial para mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento a 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales.

El INGEI publicado en el año 2022, calcula las emisiones y absorciones totales de los cuatro sectores, incluidos en las Directrices del IPCC de 2006, los cuales son los siguientes:

- 1) Energía
- 2) Procesos industriales y uso de productos (PIUP)

- 3) Agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra (AGSOUT)
- 4) Residuos

En la figura 3-12 se presentan las emisiones totales de cada sector.

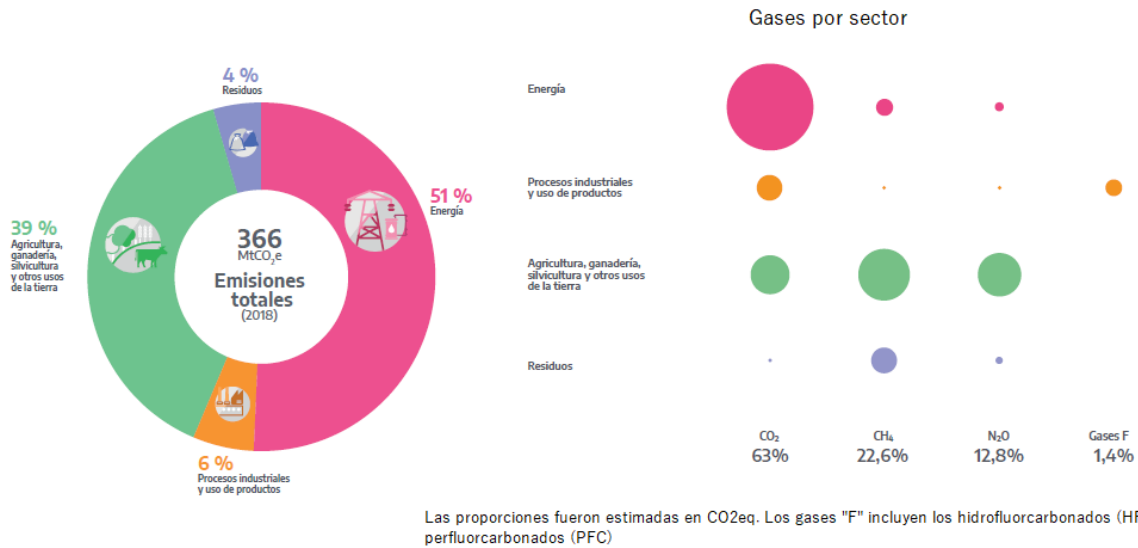


Figura 3-12: Porcentaje de GEI de los cuatro sectores principales incluidos en las Directrices del IPCC 2006. Fuente: INGEI, 2021.

Para asegurar una mejor trazabilidad de los datos de actividad, los factores de emisión y los parámetros utilizados a nivel nacional, para contabilizar el total de emisiones, se desagregaron en subsectores por cada grupo principal, de manera de determinar las fuentes de emisión y absorción con mayor detalle. Esta clasificación permite estimar emisiones y absorciones de distintas categorías de fuentes de emisión que utilizan los mismos datos de actividad (ej. categorías de ganadería), lo cual minimiza errores de transcripción de información (IBA 4,2021)

En la figura 3-13 se presentan los datos de emisión de los principales subsectores.

Emisiones de GEI por subsector en MtCO₂eq

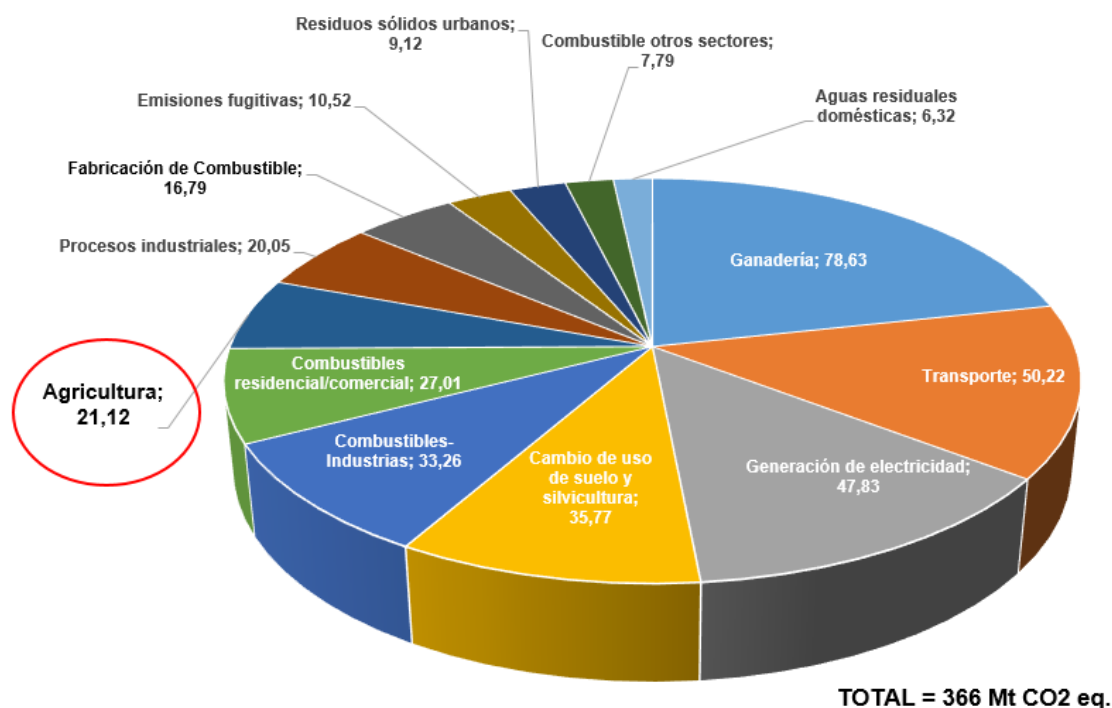


Figura 3-13: Emisiones de GEI por subsector. Fuente INGEI, 2021.

3.1.8. Tendencia de las emisiones 1990-2018

Se recalculó la serie temporal 1990-2018 revisando cambios y actualizaciones en los datos de actividad reportados por cada fuente de información. En la figura 3-14 se puede observar que las emisiones y absorciones del país han tenido una tendencia creciente a lo largo de los años en todos los sectores con excepción del sector AGSOUT, el cual presenta un comportamiento fluctuante.

Los sectores de Energía, Procesos industriales y uso de productos (PIUP) y Residuos responden en mayor medida al crecimiento poblacional y a las condiciones económicas.

Por su parte, el sector AGSOUT presenta, además, una componente más compleja relacionada con la dinámica del uso del suelo, asociada con las políticas del sector, las condiciones climáticas, los patrones de deforestación de los bosques nativos y aspectos externos.

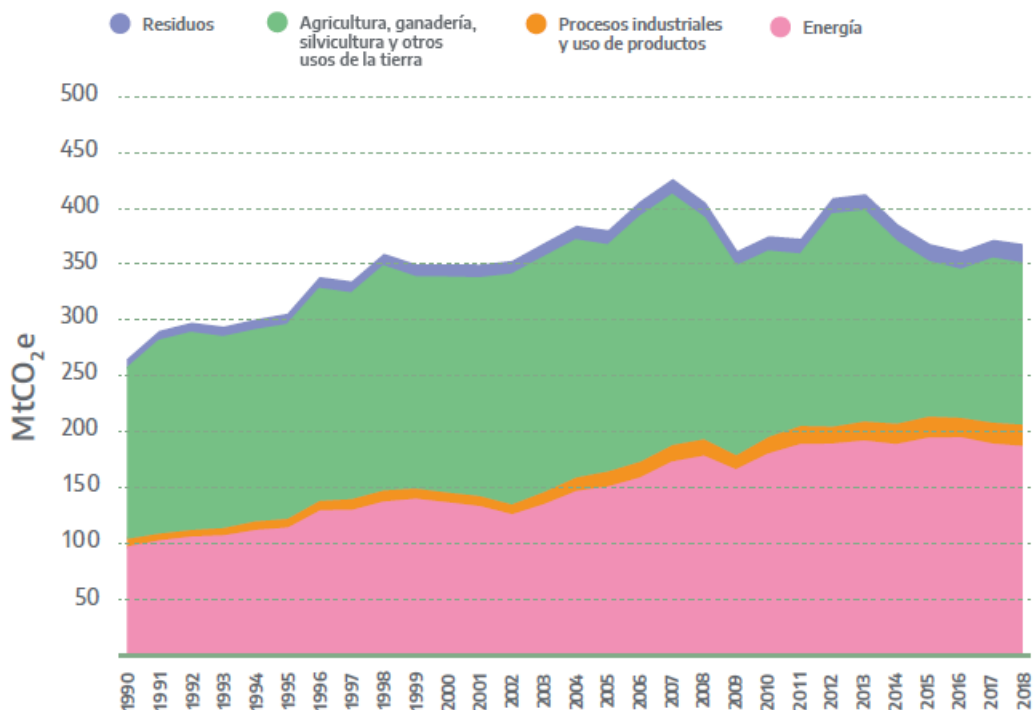


Figura 3-14: tendencia de las emisiones de GEI del período 1990-2018. Fuente INGEI, 2021.

En el sector Residuos, se observa una tendencia a disminuir sus emisiones debido a la implementación de políticas públicas para la gestión de residuos sólidos urbanos, con la separación de los mismos y reciclaje de materiales plásticos, metales, vidrio y cartón. Existe una tendencia favorable de implementación de plantas de tratamiento de efluentes en la mayoría de las Industrias, no ocurre lo mismo con los residuos sólidos urbanos y los derivados de la producción agropecuaria.

3.1.9. Emisiones de GEI del sector agrícola.

La agricultura contribuye ampliamente a las emisiones antropogénicas de CH₄, CO₂ y N₂O a la atmósfera. Como es sabido, el aumento de la concentración de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y también la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera (Primavesi y col. 2004).

Dentro del sector agrícola, las principales fuentes de emisiones de GEI (sin considerar el CO₂ y sin incluir cambios de uso del suelo) se presentan en la figura 3-15, las cuales son:

- producción de N_2O de los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis y/o abonos orgánicos (38%);
- CH_4 generado en el proceso digestivo de los rumiantes (32%),
- CH_4 producido durante la descomposición de la materia orgánica en campos de arroz de riego continuo (12%),
- quema de biomasa (bosques y matorral, rastrojos, campos de caña de azúcar) que emite CH_4 y N_2O en cantidades importantes (11%),
- el estiércol y purines que derivan de la ganadería y también emiten cantidades significativas de CH_4 y N_2O (7%), (Smith, 2007).

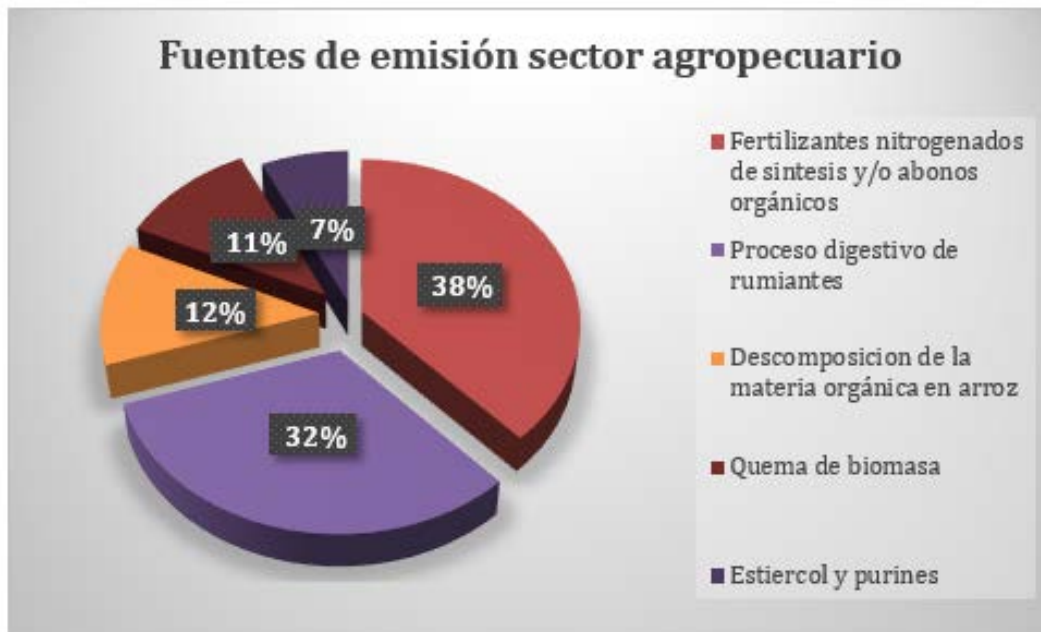


Figura 3-15: Principales fuentes de emisión del sector agropecuario, no se consideran las emisiones de CO_2 ni las provenientes de los cambios de uso del suelo. Fuente: Smith. 2007

El gas que más aporta al efecto invernadero es el CO_2 , siendo el más abundante y el que actualmente tiene mayor impacto sobre el incremento del calentamiento global. Es muy importante distinguir, dentro del estado del arte de esta tesis, que las emisiones de CH_4 presentadas, provienen del sector agrícola y no del sector pecuario, donde las emisiones de CH_4 son muy superiores a las generadas en agricultura, como puede observarse en la figura 3-15.

Las concentraciones de CH_4 en la atmósfera son inferiores a las de CO_2 , sin embargo,

el primero, se está incrementando rápidamente, ya que deriva de los sectores agropecuarios e industrial. El CH₄ proveniente de la actividad agropecuaria, posee un potencial de calentamiento global (PCM), índice basado en las propiedades radiativas de los GEI que mide el forzamiento radiativo asociado a los impulsos de emisión en un período de 100 años, de aproximadamente 30 veces mayor al CO₂, considerándose que en el tiempo el CH₄ puede ser predominante (McCaughey et al, 1997).

Ahora bien, dentro del sector AGSOUT, están incluidas las emisiones y absorciones de tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, y otros tipos de uso de la tierra; integrando además las emisiones por la gestión de ganado vivo y de estiércol, las emisiones de los suelos gestionados y las emisiones de la aplicación de fertilizantes (figura 3-16).

Las actividades que contribuyen a las emisiones de GEI dentro del subsector agricultura son las siguientes y se presentan en la figura 3-16:

- Residuos de cosecha: se incluyen las emisiones de N₂O debidas al nitrógeno presente en residuos de cultivos (sobre la superficie y debajo de ésta), incluyendo los forrajes durante la renovación de pasturas. Este nitrógeno se convierte en N₂O en forma directa o a través de la volatilización y lixiviación (fuentes indirectas).
- Fertilizantes sintéticos: el nitrógeno aplicado en forma de fertilizantes sintéticos genera emisiones de N₂O, tanto en forma directa como indirecta.
- Aplicación de urea: el agregado de urea a los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de CO₂ que se fija en el proceso de producción industrial (la materia prima principal es gas natural), además la urea por acción bacteriana, en el suelo, se descompone en una serie de procesos, emitiendo N₂O a la atmosfera.
- Quema de biomasa: se incluyen las emisiones provenientes de la quema de biomasa de tierras de cultivo, pastizales y tierras forestales. Solo se consideran las emisiones de N₂O y CH₄.
- Producción de arroz: al permanecer inundado por un largo período de tiempo (100 a 120 días), el cultivo de arroz genera emisiones de CH₄ por la descomposición anaeróbica del material orgánico presente en el suelo.

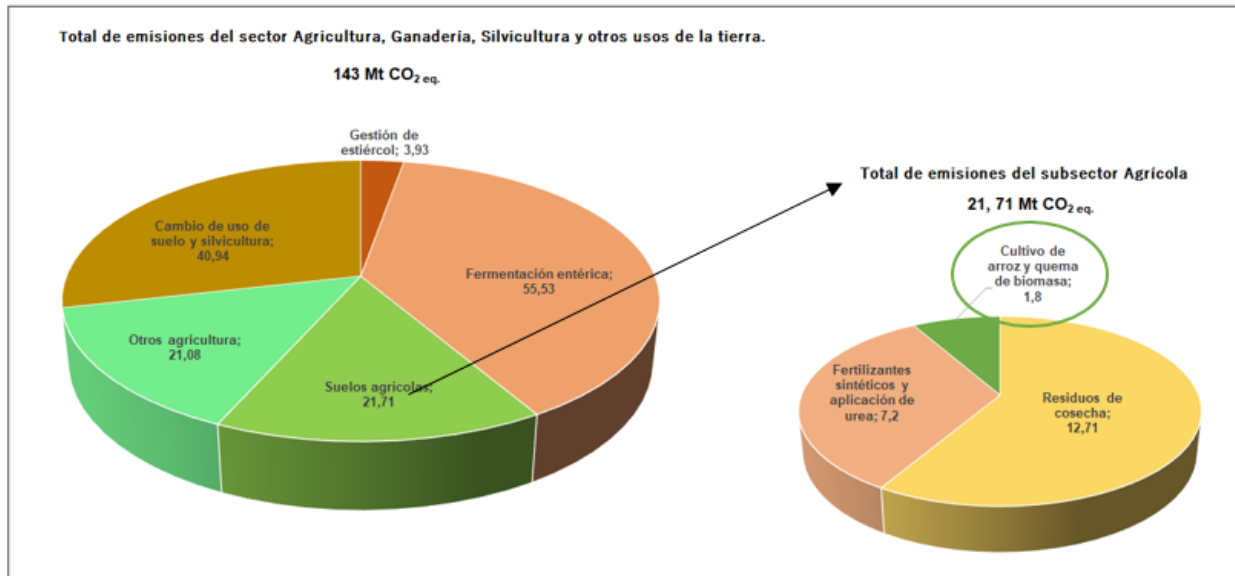


Figura 3-16: Emisiones del sector AGSOUT y del subsector Agrícola. Fuente: INGEI, 2021.

En la actualidad la Dirección de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático de la Argentina, que participa en la elaboración de los INGEI, toma las emisiones del cultivo de arroz en conjunto con las emisiones derivadas de la quema de biomasa, no quedando establecido con certeza las emisiones aportadas solamente por el cultivo de arroz.

3.1.10. Emisiones de CH₄ provenientes del cultivo de arroz.

El continuo incremento en las concentraciones de CH₄ atmosférico a la tasa actual de aproximadamente 1% por año es probable que contribuya más al futuro cambio climático que cualquier otro gas, excepto el CO₂ (Cicerone y Oremland.1988) y puede contribuir significativamente a un sistema de retroalimentación negativa con consecuencias impredecibles para toda la química de la atmósfera.

Aparte de ser un importante GEI, el CH₄ también afecta a la química y la capacidad de oxidación de la atmósfera, por ejemplo, al influir en las concentraciones de ozono troposférico (O₃), los radicales hidroxilos (OH⁻) y el monóxido de carbono (CO).

Los pantanos constituyen la principal fuente natural de metano, mientras que el cultivo de arroz se estima produce 100 Mt de metano por año en el mundo, constituyendo la fuente antropogénica principal de emisión del gas (Jacobson, M. Z., 2005).

Las principales fuentes emisoras de CH₄ incluyen ambientes anaerobios tales como el cultivo de arroz irrigado, la fermentación entérica en animales y los humedales naturales. El cultivo de arroz, bajo riego continuo, es considerado una de las principales fuentes de emisión antropogénica de CH₄ en el mundo, como también una importante fuente de N₂O; ambos gases contribuyentes al efecto invernadero (Jacobson, 2005).

Se estima que las actividades antropogénicas contribuyen en un 60% al inventario global de CH₄, siendo el cultivo de arroz una fuente importante cuya contribución estaría entre el 5 y el 20% de las emisiones totales (Insum y Wett, 2008). De acuerdo a los reportes de la OMM, en el año 2021, la concentración de CH₄ atmosférico alcanzó los 1,908 ppm (v).

En los suelos inundados, como en el caso de la producción arroceras en la Argentina, 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).

Al igual que en un humedal natural, un campo de arroz inundando genera cortes al suministro de oxígeno de la atmósfera del suelo, lo que resulta en la fermentación anaeróbica de materia orgánica presente en el mismo.

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 el 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).

Otro factor que favorece la generación de CH₄ es la utilización de fertilizantes

(nitrogenados o de origen biológico), ya sea por influir en el crecimiento de la planta de arroz (desarrollo del aerénquima y formación de raíz), lo cual propicia modificaciones en la comunidad microbiana del suelo (metanógenos y metanotrofos entre otros), o por cambios en las diferentes propiedades físico-químicas del suelo. La adición de fertilizantes nitrogenados al suelo aumenta la emisión de CH₄ en un 34%, dado que estimula la producción de CH₄ e inhibe su oxidación a CO₂ (Bodilier, 2011). En efecto, un aumento del contenido de nutrientes en el suelo, favorecerá la actividad metanogénica debida a una mayor disponibilidad de sustrato para su descomposición a través de sus procesos metabólicos (fermentación).

En suelos inundados, cuando existe un aumento de la materia orgánica disponible, para su posterior descomposición anaerobia los procesos metanogénicos aumentan con la consecuente generación de acetato e hidrógeno, que promueven la condición reductora del suelo mediante la activación del metabolismo de microorganismos consumidores de oxígeno (Sass *et al.*, 1991). En el cultivo de arroz, la mayor parte de la materia orgánica proviene de la planta, tanto de la exudación de compuestos orgánicos como de la descomposición de las raíces (Waschütza *et al.*, 1992). A su vez, la composición de estos exudados puede variar en función del estado fenológico de la planta (Kerdchoechuen, 2005) y por tanto incidir en la producción de CH₄ diferencialmente durante el transcurso del cultivo. El CH₄ generado, presenta una baja tasa de difusión en el agua, por lo que el transporte a la atmósfera a través de la planta, constituye un factor de especial importancia en la determinación de la magnitud de CH₄ emitido por el suelo.

Las emisiones biológicas de CH₄ a la atmósfera son mayores cuando sobre la superficie terrestre existe más calor y más humedad. La mayor parte de las emisiones de CH₄ del cultivo de arroz se genera en las regiones tropicales, subtropical y en partes de la región templada, incluyendo áreas de América Latina, África y el Sudeste Asiático (Aselmann y Crutzen, 1989; Yan *et al.*, 2005). Esta última contribuye con cerca del 90 % de las emisiones globales de CH₄, mientras que África y América del Sur lo hacen, respectivamente, con el 3,5 % y 4,7 %. En el Sudeste Asiático, China e India son los dos principales países productores de arroz. Por lo tanto, las regiones donde más se produce arroz son también aquellas en que hay mayores emisiones de CH₄ (Yan *et al.*,

2002). De esta manera podemos hablar de emisiones estacionales ya que, en aquellos periodos de frío y baja humedad, las emisiones disminuyen.

En cuanto a las emisiones de CH₄ y N₂O en arrozales bajo riego continuo, se encontró una correlación inversa entre las emisiones de estos gases y el potencial redox del suelo, dado que la emisión de CH₄ ocurre bajo condiciones fuertemente reductoras mientras que la emisión de N₂O se produce en condiciones más oxidadas (Hou *et al.*; 2000). Las prácticas de manejo del riego, donde este se realiza de manera intermitente, podrían disminuir las emisiones de CH₄, pero aumentar las de N₂O, gas que posee un potencial de calentamiento global 300 veces superior al gas de referencia como el CO₂, y de vida media superior a la del CH₄ (Towprayoon *et al.*, 2005).

Teniendo el conocimiento de los factores que influyen en la emisión o generación de CH₄, es necesario gestionar prácticas agrícolas contempladas en conjunto con el fin de diseñar estrategias de mitigación que minimicen al máximo su impacto ambiental. Se estima que la reducción de las emisiones de CH₄ prometen mayores resultados en atenuar el cambio climático que las reducciones en el CO₂. La mayoría de las emisiones son antropogénicas, y por consiguiente se pueden controlar mediante la acción humana. Las políticas de gestión en mitigación y adaptación deben darse para todos los sectores involucrados en emisiones de GEI debido a las actividades antropogénicas.

Considerando que la vida media del CH₄ en la atmósfera es de aproximadamente unos 12 años, se supone que sus reducciones tendrán una repercusión más notable en el corto plazo en las concentraciones atmosféricas, de manera de estabilizar dichas concentraciones.

Las emisiones de GEI pueden ser controladas ya que son actividades llevadas a cabo por el hombre, sin perder la sostenibilidad de los recursos naturales utilizados y el rendimiento de producción que es tan importante para la economía regional.

3.1.11. Procesos de generación de CH₄ en suelos inundados.

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 las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, constituyen áreas de inundación temporal o permanente, que están sujetas o no a la influencia de la marea. La duración de la inundación debe ser mayor al 5% de la temporada de crecimiento para permitir el desarrollo de suelos hídricos y al menos periódicamente mantener una vegetación predominante de hidrófitas, esto es plantas adaptadas a vivir en condiciones de inundación (Environmental Laboratory, 1987; Mitsch y Gosselink, 2000).

La descomposición de la materia orgánica que compone los suelos cultivados, depende no solo de las especies presentes en el suelo, sino también de factores ambientales como el tipo de comunidad microbiológica dominante, la concentración de nutrientes en el agua y sedimento, la temperatura ambiente y del suelo, la concentración de oxígeno disuelto, el pH, la profundidad y las características del sedimento (Ribeiro et al., 2004; Graham et al., 2005; Rejmankova y Houndkova, 2006).

La descomposición anaerobia para la producción de CH₄ se inicia bajo condiciones extremadamente reducidas (-224 mV), que se logran por la generación de acetato e hidrógeno a partir de los procesos metanogénicos. En estos procesos que generan CH₄ a partir de diferentes sustratos, intervienen diversos géneros de bacterias:

A partir de acetato



A partir de dióxido de carbono e hidrógeno



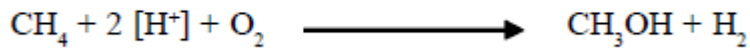
A partir de compuestos metilados como metanol y metilaminas



Luego por *oxidación bacteriana* se produce el consumo natural de CH₄. 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 acumulación de 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 (SO₄²⁻):



La tasa de emisión neta de CH₄ 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).

3.1.12. Procesos de difusión del CH₄ a través del cultivo de arroz.

Los cultivos que crecen en suelos anegados como el arroz poseen aerénquima, a través del cual realizan el intercambio de gases necesario con las raíces y las plantas sumergidas. El aerénquima es una retícula que cubre el tallo de la planta, que posee espacios vacíos que las hidrófitas (plantas acuáticas o aquellas que se desarrollan en suelos inundados) poseen para transportar oxígeno de las hojas a la raíz (Altor y Mitsch, 2006; Tauchnitz et al., 2007; Zhu et al., 2007).

El arroz no es una planta acuática, se adapta a la inundación, pudiendo vivir tanto en suelos inundados como en suelos sin inundar, debido a su fisiología. El aerénquima permite también el escape de gases desde el suelo a la atmósfera y en el caso del CH₄ parece ser la vía mayoritaria de escape (Le Mer and Roger, 2001). El oxígeno que llega

a las raíces difunde por éstas hasta el suelo, generando un micro ambiente aerobio a su alrededor y permitiendo el desarrollo de la flora aerobia.

En el cultivo de arroz en zonas templadas, el transporte de CH_4 hacia la atmósfera se da mayoritariamente a través de la planta (Holzapfel-Pschorn et al., 1986). El CH_4 producido en las zonas cercanas a la planta de arroz ingresa a los espacios intercelulares lisígenos de sus raíces en función del gradiente de concentración entre éstos y el suelo-agua circundante, y es transportado hacia el exterior a través de estos espacios intercelulares y las células del aerénquima (Nouchi et al., 1990).

El transporte a la atmósfera del CH_4 remanente (figura 3-17) ocurre mediante tres mecanismos:

1. difusión pasiva a través de las plantas (conocido como ventilación),
2. difusión a través del agua y
3. ebullición o formación de burbujas (Laing et al., 2008).

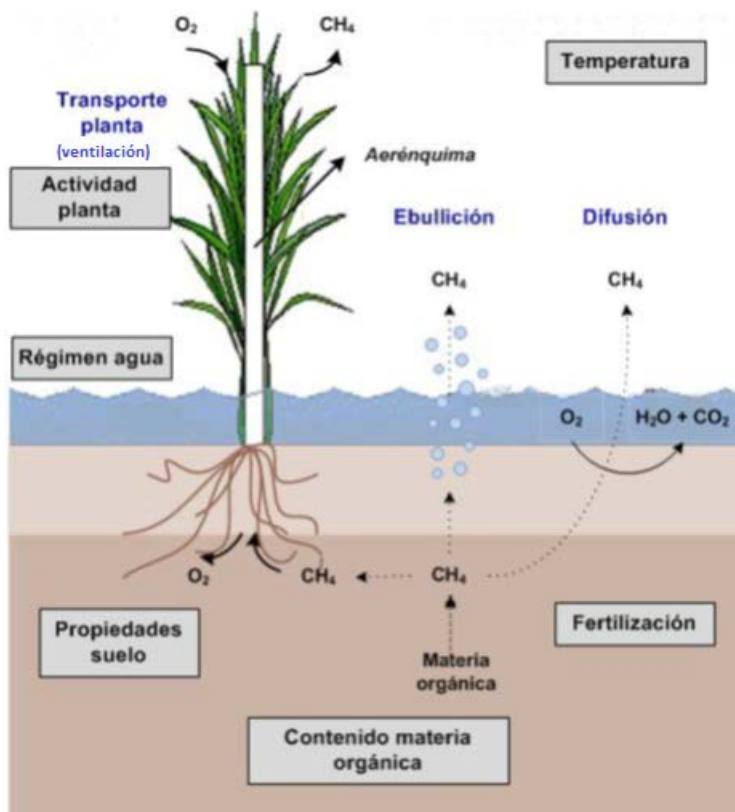


Figura 3-17: Vías de difusión de CH_4 en el cultivo de arroz. Fuente: adaptado: Yagi et al., 1997; Sanchis et al., 2012.

La difusión por ventilación se realiza a través del aerénquima, siendo la ruta predominante para el escape de CH₄ del suelo a la atmósfera y puede golpear burbujas que constituyen depósitos de CH₄ en el suelo sumergido y emitirlo (Conrad, 1993; figura 3-17); debido a que esta vía es el principal mecanismo de difusión, las mediciones de CH₄ mediante la técnica de cámara cerrada se realizan sobre la planta.

La difusión 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 CH₄ por la columna de agua sin disolverse en ella. Se ha observado que este último fenómeno es un importante mecanismo de transporte del CH₄ a la atmósfera.

Se ha observado que la oxidación del CH₄ 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).

La calidad y cantidad de los exudados de carbono (C) de las raíces de las plantas de humedales difiere de especie a especie, lo que afecta la producción de CH₄ (Bergman et al., 2000; Smialek et al., 2006), otro estudio más que avala una diferencia de emisión en la variedad producida.

3.1.13. Fenología y desarrollo del cultivo de arroz

El arroz pertenece a la especie *Oryza sativa* L., se consideran tres grupos o tipos de arroz: indica, japónica y javánica o bulú. Su origen estaría en la selección hecha, bajo diferentes ambientes, del arroz silvestre en los procesos de domesticación (Chandler, 1979). El tipo indica y el tipo japónica fueron considerados subespecies de *Oryza sativa*, pero actualmente son razas eco geográficas.

Es una especie anual de la familia de las poáceas (figura 3-18), con sistema fotosintético C3, adaptada al ambiente acuático y ocupa el segundo lugar de los cereales más cultivados en el mundo.

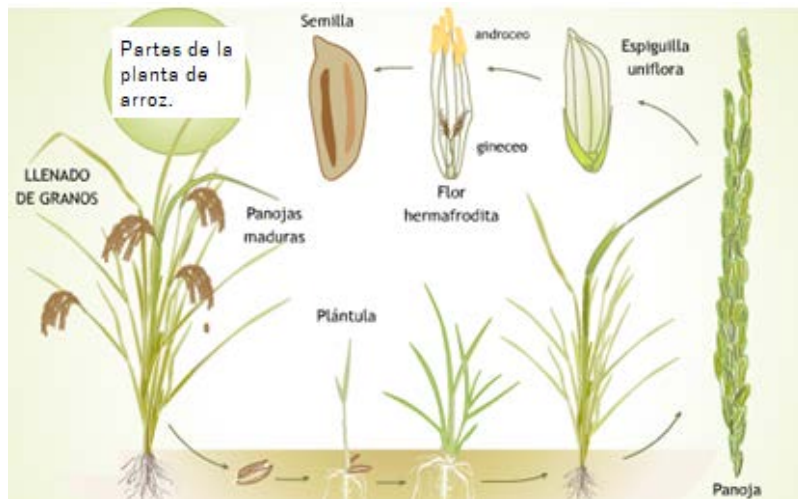


Figura 3-18: Morfología de la planta de arroz. Fuente: recuperado de <http://aportesacademicosagropecuario.blogspot.com/2017/07/arroz.html>

Su crecimiento se divide en tres importantes fases: vegetativa (germinación, estado de plántula y macollaje), reproductiva (diferenciación de primordio floral (DPF) y floración) y maduración (llenado de granos y madurez fisiológica) (figura 3-19).

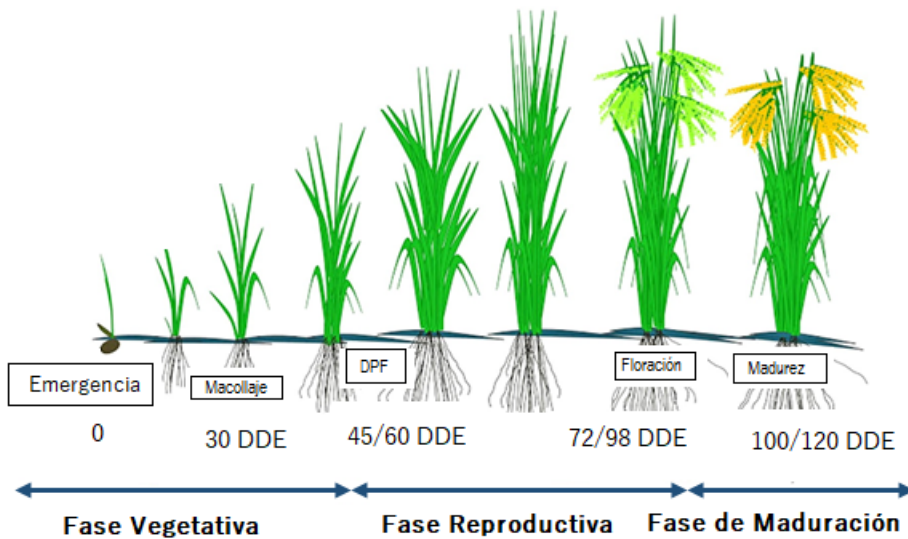


Figura 3-19: Fases de desarrollo del cultivo de arroz (Adaptado: Counce *et al.* 2000; SOSBAI, 2012).

Fase vegetativa:

La duración de esta fase es variable en el tiempo y es la responsable de determinar la longitud del ciclo del material utilizado. Comprende dos etapas bien definidas:

1. Germinación - Emergencia: una vez que la semilla absorbe adecuada cantidad de agua, el número de días entre siembra y emergencia queda determinado principalmente por la temperatura de suelo. Otros factores que pueden afectar esta etapa son: la profundidad de siembra, fertilizantes colocados muy próximos a la semilla y el ataque de plagas y/o enfermedades. Todos ellos pueden reducir el porcentaje de emergencia, afectando el número de plantas/m². Se define como fecha de emergencia cuando aproximadamente el 70% de las plantas del lote emergen.
2. Período de macollaje: luego de haber desarrollado sus raíces y del establecimiento inicial, la planta comienza a desplegar su estructura foliar y a emitir macollos (esto concuerda, aproximadamente, con la aparición de la cuarta (V4) o quinta hoja (V5) (figura 3-20). Esta etapa dura de 4 a 6 semanas y le permite al arroz tener respuesta elástica a la densidad de plantas. Este periodo está muy relacionado con el material genético, altura de la lámina de agua, densidad de siembra, temperatura del suelo y disponibilidad de nitrógeno entre otros.

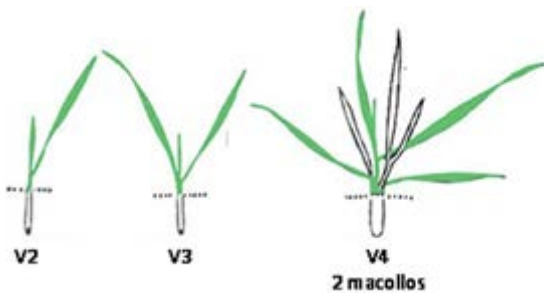


Figura 3-20: Desarrollo de la estructura foliar del cultivo de arroz

Fase Reproductiva:

Se prolonga de 30 a 35 días aproximadamente. La etapa comienza con la iniciación de panícula, la cual coincide (internamente) con la acumulación de clorofila en el tejido de la caña formando un anillo verde. Luego continúa con la diferenciación del primordio floral, que coincide externamente con la elongación del primer entrenudo y culmina con la floración. La floración ocurre con la salida de las panojas de la vaina quedando definida la etapa cuando el 50% de ellas están completamente emitidas. El tiempo transcurrido entre inicio y final de floración es de alrededor de 12 a 15 días.

Fase de Maduración:

El período de maduración va desde mediados de floración hasta la madurez fisiológica del grano. Esta fase dura de 30 a 40 días aproximadamente y puede dividirse a su vez en dos etapas:

1. Etapa de llenado: luego de la fecundación, los granos pasan por las fases de grano lechoso, pastoso y duro hasta alcanzar la madurez fisiológica (máxima acumulación de materia seca y humedad cercana al 30%).
2. Etapa de maduración: es el sub periodo comprendido entre la madurez fisiológica y la madurez de cosecha. Los granos pierden humedad hasta llegar al 22% aproximadamente, momento óptimo para iniciar la cosecha.

3.1.14. El arroz como fuente de la alimentación mundial.

El arroz pertenece a la familia de las gramíneas. El procesamiento de las semillas de gramíneas constituye la base alimentaria de más de un tercio de la población del mundo. En su reporte mensual, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) dijo que la producción global incluiría 743,44 millones de toneladas de trigo, 1.322 millones de toneladas de grano grueso y 481,08 millones de toneladas de arroz. La producción de oleaginosas llegaría a 543,46 millones de toneladas. El consumo mundial de granos promedio entre 2014 a 2016 fue de aproximadamente 3.084 mill/t. Según datos del USDA, el arroz ocupa el segundo lugar, detrás del maíz, en la producción mundial de granos. De tal modo, que su cultivo se realiza en 113 países del mundo en los cinco continentes, tanto en regiones pantanosas como en llanuras, en climas templados, cálidos y húmedos, o excepcionalmente en áridos bajo riego, como en Perú (figura 3-21).

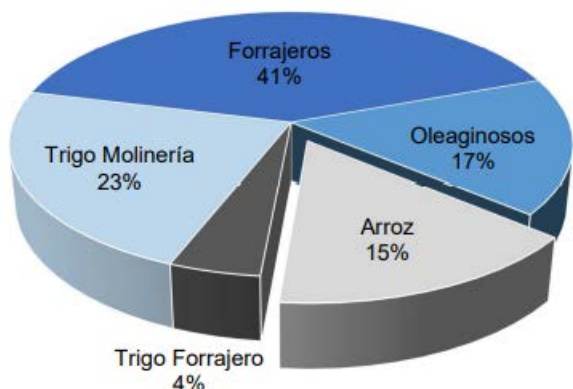


Figura 3-21: Participación del consumo de arroz a nivel mundial. Fuente: USDA, 2016.

El componente principal del arroz es el almidón, en un rango entre el 70% y 80%. Es la gramínea que mayor aporte calórico posee entre los cereales: de una ración de 100 gramos de arroz blanco cocido se pueden obtener 125 calorías, ampliándose a 140, aproximadamente, si se lo cocina al vapor.

De acuerdo a estudios y registros del Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz (IRRI), ubicado en Filipinas, existen unas 80.000 variedades diferentes de plantas. Las más conocidas corresponden a los semiblanqueados o blanqueados, los partidos, los paddy, y los descascarillados o pardos. El genotipo índico, que se cultiva en China, India y el sudeste asiático, es el más popular del mundo. En América Latina y el Caribe, gracias a las mejoras genéticas, el arroz paddy (también denominado “arroz con cáscara”), se ha expandido fuertemente gracias a diversos factores: abundancia de agua, características del suelo, recursos humanos y capacidad técnica en aumento.

A nivel global, el arroz es considerado un producto fundamental en cuanto a seguridad alimentaria. En China e India, el consumo per cápita de arroz es de 300 kilos al año, mientras que, en Argentina, no supera los 8 kilos.

3.1.15. Producción de arroz en Argentina

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) se practica en Argentina desde la época de la colonia. Las primeras referencias corresponden a Félix de Azara, quien refiere que fue introducido por los jesuitas en la provincia de Misiones durante el siglo XVII. Entre 1909-1910 y 1931-1932 la producción fue poco significativa, no superando las 30.000

toneladas (t) de arroz cáscara. Si bien existen registros de que en 1911 y por dos años se concreta la primera siembra en la Colonia Nueva Valencia en Corrientes, hasta el año 1930 el cultivo se localizaba principalmente en la región NOA (Tucumán, Salta y Jujuy) y en Misiones; a partir de la aplicación de una protección arancelaria se extendió a las provincias de Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe. Recién a partir del año 1932, al gravarse la importación se inicia la etapa arrocería argentina.

El arroz es un cultivo de ciclo anual que requiere determinadas condiciones ecológicas para su desarrollo, en cuanto a temperaturas, agua y luminosidad. Su producción tiene la particularidad de necesitar agua de riego. En nuestro país se requieren grandes volúmenes de agua ya que se aplica principalmente el sistema de riego por inundación.

La producción primaria está concentrada en el litoral argentino (figura 3-22), por el tipo de clima y de suelo de la región, que favorece la inundación necesaria para el cultivo.

Las principales provincias productoras son Corrientes (45-46%) y Entre Ríos (32-36%), (figura 3-22). Ambas representan el 81% de la producción total del país, mientras que el 19% restante se reparte entre las provincias de Santa Fe, Formosa y Chaco (Relevamiento Arrocería Nacional. Informe de campaña 2020/21).

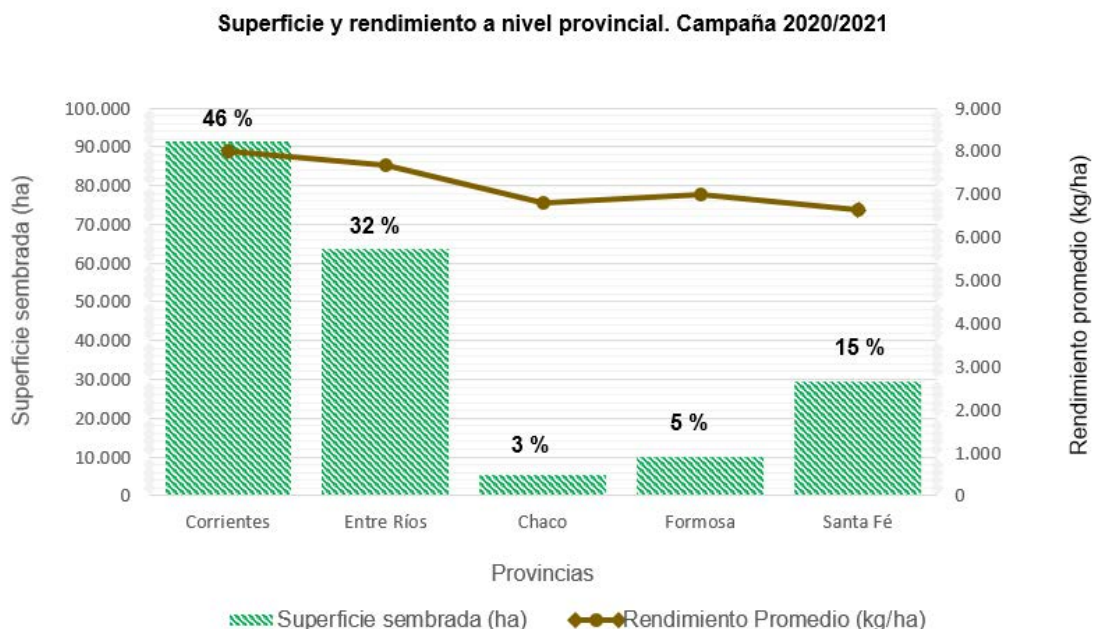


Figura 3-22: Producción de arroz a nivel provincial. Campaña 2020/2021. Elaboración propia. Fuente: Relevamiento Arrocería Nacional. Informe de campaña 2020/21. Bolsa de cereales de Entre Ríos.

En Corrientes el arroz es un cultivo de gran importancia representando aproximadamente un 30% del valor bruto de la producción agrícola provincial. En la última campaña arrocera 2020/2021, Corrientes tuvo la mayor contribución a la producción a nivel nacional con un total de 91.500 ha sembradas, logrando un rendimiento promedio de 8.000 kg/ha, representando el 46% del total sembrado a nivel nacional.

En el país se siembran anualmente alrededor de 200.000 hectáreas (ha) de arroz de las cuales la mitad se encuentran en Corrientes. Con poco menos de 100.000 ha, el arroz es el cultivo más desarrollado en la provincia, pero según especialistas, ese número podría expandirse hasta 1,5 o 2 millones de ha, lo cual depende del capital disponible ya que el arroz requiere de una inversión inicial muy elevada para sistematizar, preparar los suelos, implementar el sistema de riego, realizar los desagües, represas, mantener canales, etc. El 80% de la producción correntina se destina a exportación, siendo los principales destinos Brasil, Irak y Centroamérica.

En la campaña arrocera 2020/2021, la superficie sembrada en Argentina alcanzó las 199.700 ha, con un rendimiento promedio de 7.616 kg/ha, lo que implica una producción anual de 1.521.005 toneladas (t) de arroz cáscara.

La superficie sembrada durante este ciclo experimentó un crecimiento interanual del 5 % (9.450 ha).

Es importante recordar que, al momento de la siembra, las escasas precipitaciones en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, producto de los cambios climáticos que se están presentando en esta región litoral, forzó la realización de baños e incluso la resiembra de algunos lotes. En consecuencia, se desplazó la emergencia fuera de la fecha óptima, lo que ocasionó un riego tardío y la prolongación en algunos casos del ciclo del cultivo. Este retraso en la emergencia redujo en 1.000 kg/ha aproximadamente el potencial de rendimiento.

No obstante, el escenario climático definido por la presencia de “La Niña” generó en el verano temperaturas dentro del rango óptimo para el llenado de la panoja junto con una adecuada radiación solar. Estos factores permitieron alcanzar elevados rendimientos que, en lotes puntuales superaron los 12.000 kg/ha.

En consecuencia, el rendimiento promedio nacional registró un incremento interanual

del 14 % (936 kg/ha) y en relación al promedio del último lustro la variación fue del 17 % (1.104 kg/ha). La producción tuvo un crecimiento interanual del 20 % (250.125 t).

Dentro de la zona arrocera argentina, concentrada en la región litoraleña, la provincia de Corrientes lidera la producción de arroz. En general, todas las provincias del Litoral arrocero experimentaron un crecimiento en superficie cosechada, que se considera se debe a que el uso de la tierra está pasando de la ganadería al arroz (Bolsa de cereales de Entre Ríos).

En la figura 3-23 se puede observar el crecimiento en superficie sembrada y rendimiento, desde la campaña 2009/2010 hasta la última campaña relevada 2020/2021.

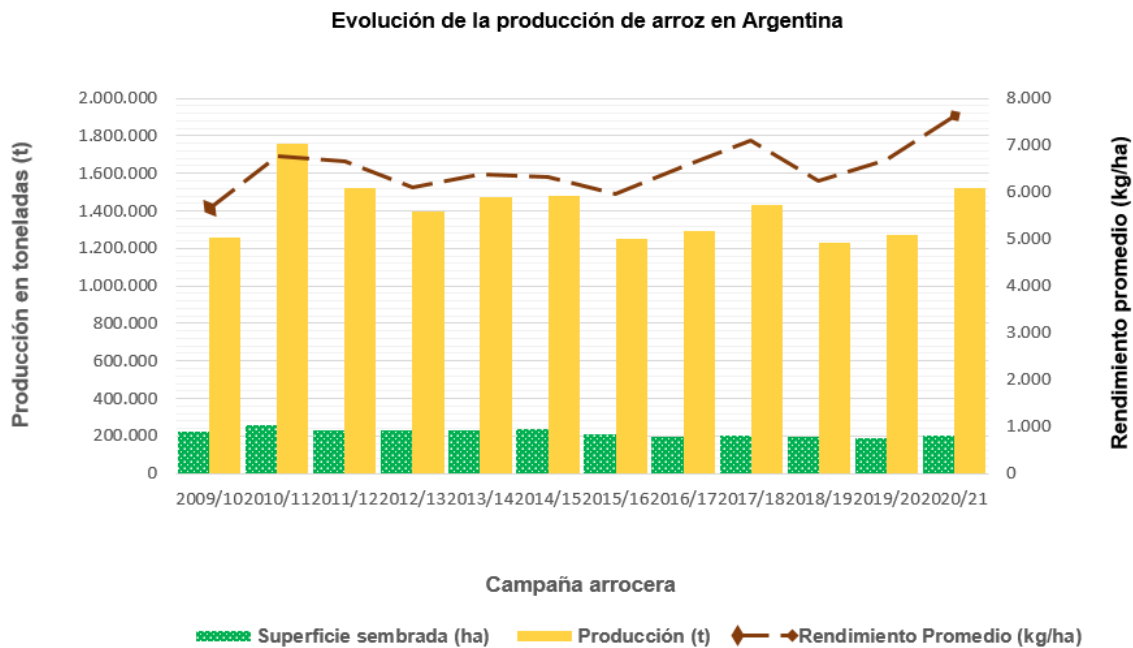


Figura 3-23: Evolución de la producción de arroz a nivel nacional. Elaboración propia. Fuente: Relevamiento Arrocero Nacional. Informe de campaña 2020/21. Bolsa de cereales de Entre Ríos.

La producción nacional apunta a lograr rendimiento y calidad con prácticas sustentables, con el foco puesto en la exportación.

Es uno de los pocos productos primarios que se procesan dentro de la región para el consumo humano en forma de grano refinado o integral y harinas, como ingrediente protagonista en una variedad de alimentos procesados, generando un importante efecto

multiplicador y de uso de mano de obra.

Los sistemas de producción y manejo se caracterizan por su heterogeneidad derivada de la posibilidad de cultivarlo en diferentes regiones agroecológicas y de la amplitud del rango de extensión de las explotaciones dado que hay cierta flexibilidad que permite acceso a la tierra ya sea por la tenencia en propiedad, bajo arrendamiento o en comodato. Independientemente del tipo de manejo con el que se realice el cultivo, las etapas del mismo deben ser debidamente controladas y planificadas, de manera que al ejecutarse se puedan minimizar los impactos medioambientales.

3.1.16. Sistemas de labranza. Manejo del suelo.

Las actividades agrícolas denominadas sistemas de labranza o laboreo, son aquellas destinadas a la preparación del suelo. El cultivo de arroz en particular, genera grandes volúmenes de rastrojo con alta relación carbono/nitrógeno que lo hace resistente a la descomposición microbiana en el suelo. Por esta razón, los distintos manejos del rastrojo de arroz, que se realizan para la siembra posterior, buscan entre otras cosas, favorecer su descomposición mediante la acción microbiana u otro tipo de actividad como la quema controlada.

Asimismo, estos trabajos de labranza, buscan corregir los micro relieves del suelo para lograr una lámina de agua uniforme durante el riego, además de nivelar de manera eficiente la superficie que luego será inundada a través de un sistema de riego basado en el escurrimiento por pendiente.

Se consideran tres sistemas de labranza que en consecuencia definen el sistema de siembra potencial a utilizar.

- a) Labranza Convencional (se aplica en el 30% de la superficie sembrada provincial): consiste en trabajar el suelo mediante herramientas como el arado y/o rastra pesada hasta momentos previos a la siembra. La finalidad es, entre otras, lograr una cama de siembra mullida, descomponer la materia vegetal existente en superficie y controlar malezas. Esta era la única alternativa que tenía el productor para preparar el suelo hasta la aparición de los herbicidas totales.
- b) Labranza Mínima o anticipada (se aplica en el 50% de la superficie sembrada provincial): este sistema incluye algún laboreo de suelo previo con suficiente

antelación de manera que se llega al momento de la siembra con el suelo cubierto por tapiz vegetal. La labranza anticipada propiamente dicha hace referencia al laboreo del suelo durante la estación estival precedente, de manera de aprovechar las altas temperaturas para favorecer la descomposición del rastrojo, por lo cual requiere el descanso de la chacra en dicha estación. La muerte del tapiz vegetal antes de la siembra se hace a través de un herbicida total. Una variante a este sistema, desarrollado en los últimos años, es la comúnmente denominada “chacra espejo”; consiste en disponer de dos áreas al mismo tiempo, mientras una se cultiva, la otra está en preparación para la campaña próxima; en la siguiente campaña se invierten los roles de ambos lotes. A su vez este sistema admite dos variantes, en la más simple el lote en preparación durante el verano permanece en barbecho y la cubierta vegetal es controlada con aplicaciones de glifosato; en un sistema más intensivo el lote en preparación es sembrado con un verdeo de invierno (ryegrass o césped inglés) que es cosechado mediante el consumo por hacienda liviana. Al momento de la siembra, se hace una aplicación de glifosato y se procede a sembrar.

- c) Labranza Cero o Siembra Directa (se aplica en el 20% de la superficie sembrada provincial): Se refiere a la siembra sobre campo natural o rastrojo remanente del cultivo antecesor, sin ningún laboreo previo, controlando la cobertura vegetal mediante aplicaciones de glifosato. Sin embargo, en el caso de arroz puede ser necesario incluir la reconstrucción de las taipas parcialmente destruidas durante la cosecha, pero no hay laboreo en la zona de cancha. Una variante a este sistema que algunos denominan “Semidirecta” incluye no sólo el retoque de taipas, sino la pasada de un rastrón muy liviano en zonas que quedaron parcialmente con huellas durante la cosecha o una pasada de rastra de dientes para acomodar el exceso de paja en superficie. Asimismo, este sistema o alguna de sus variantes pueden necesitar la quema parcial y controlada del rastrojo de arroz.

Ventajas y desventajas de cada sistema:

La elección de cada sistema de labranza estará dada por el nivel tecnológico de la producción de arroz que el productor o empresa adopte, de acuerdo a sus necesidades o limitaciones particulares, otorgándole ventajas y desventajas, como así también la posibilidad de mejorar progresivamente las prácticas agrícolas dentro de las diferentes

opciones (Guía de buenas prácticas agrícolas, 2016).

3.1.16.1. Labranza Convencional.

Ventajas:

- ✓ Facilita el emparejamiento y sistematización del lote. Siendo relevante en lotes que se incorporan a la producción.
- ✓ Se logra mejor distribución de la semilla.
- ✓ Si se mantiene la estructura del suelo, se obtiene mejor cama de siembra y como consecuencia mejora la germinación.
- ✓ Se alcanza mayor temperatura de suelo en las siembras tempranas.
- ✓ No se necesitan sembradoras robustas.
- ✓ Es posible sembrar a mayor velocidad.

Desventajas:

- ✓ Riesgo superior de erosión por falta de cobertura, especialmente en suelos con pendiente.
- ✓ Mayor oxidación (destrucción) de la materia orgánica del suelo.
- ✓ Alta dependencia de las condiciones climáticas (precipitaciones) al momento de la siembra.
- ✓ Requiere mayor dotación de HP/ha debido a la disminución de la ventana de siembra, aumentando así los costos.
- ✓ Incrementa la degradación del suelo por pérdida de estructura y compactación.
- ✓ Mayor consumo de combustibles fósiles.
- ✓ Demanda más tiempo para la preparación y siembra si no se dispone de una alta dotación de HP/ha.

3.1.16.2. Labranza Mínima o Anticipada.

Ventajas:

- ✓ Uso más eficiente de la maquinaria por mejor distribución de tareas a lo largo del año.
- ✓ Permite iniciar la siembra antes por contar con mejores condiciones en el piso.
- ✓ Rapidez en la preparación del lote en pre- siembra (aplicación del herbicida total).
- ✓ Menor pérdida de cobertura de suelo.
- ✓ Facilita el control de malezas y arroz colorado.
- ✓ Pérdida inferior de materia orgánica.
- ✓ Requiere menor dotación de HP/ha por la ausencia de laboreo de pre siembra.
- ✓ En el caso de utilizar chacra espejo se dispone de verdeo invernal

Desventajas:

- ✓ Requiere sembradoras fuertes y pesadas (más costosas).
- ✓ Menor temperatura de suelo en siembras tempranas.
- ✓ Disminuye la disponibilidad de superficie para la ganadería.

3.1.16.3. Labranza Cero o siembra directa.

Ventajas:

- ✓ Mínimo requerimiento de maquinaria por ausencia de laboreo.
- ✓ Conservación de la cobertura del suelo.
- ✓ Mantenimiento o mejora en el nivel de materia orgánica (favoreciendo el almacenamiento de carbono en el suelo).
- ✓ Permite iniciar la siembra con anterioridad por tener mejor piso.
- ✓ Rápida preparación de lote de pre siembra (aplicación del herbicida total).
- ✓ Reduce costos.
- ✓ Contribuye a mejorar el control de malezas y de arroz colorado.
- ✓ Menor consumo de combustible fósil, menor emisión de CO₂ a la atmósfera.

Desventajas:

- ✓ Dificultad para la corrección de los micro relieves.
- ✓ Condiciones arduas para la germinación (al haber mayor retención de humedad origina menor temperatura del suelo y por lo tanto la germinación es despareja).
- ✓ Compactación del piso por el paso de maquinarias y falta de laboreo.
- ✓ Excesiva acumulación de materia vegetal de difícil descomposición.
- ✓ Se requiere menor velocidad de siembra.
- ✓ Dificultad en el control de malezas en post-emergencia (por efecto paraguas).
- ✓ Demanda sembradoras más fuertes y pesadas (más costosas).

La correcta planificación de una arrocera debe incluir el concepto de producción sustentable, delimitando dentro de la superficie áreas de conservación de la biodiversidad, según las exigencias de la legislación vigente, tanto de orden nacional como provincial. Es cada vez más evidente que los modelos actuales de desarrollo económico tienden a tener un costo medioambiental alto y son cada vez menos sustentables. Debemos entender que el desarrollo implica progreso, es decir, avanzar hacia la dirección correcta y esto implica el equilibrio entre desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente.

La siembra del arroz tanto en la provincia de Corrientes como en Entre Ríos, se realiza fundamentalmente entre septiembre y octubre. El cultivo se desarrolla entre 140 a 150 días aproximadamente y se inicia el riego a partir de que la plántula tiene 20 días de emergida, con 4 o 5 hojas; se mantiene hasta madurez fisiológica, etapa que dependerá del ciclo de la variedad sembrada. El riego continuo se prolonga entre 90 a 130 días.

4 . MARCO METODOLÓGICO

4.1. Materiales y métodos

4.1.1. Generalidades del proceso metodológico

El proceso de investigación consistió, no solo en una búsqueda de antecedentes bibliográficos sobre el tema de estudio, sino también se basó en la necesidad de contar con un protocolo metodológico para medir las emisiones de GEI, de la manera más certera posible, aplicando una técnica ampliamente utilizada pero que no sido demostrada hasta el momento como la técnica más viable y acertada para ser aplicada en mediciones de gases. En este proceso de estudio se desarrollaron formas metodológicas que permitieron encontrar algunos de los errores que pueden surgir desde la preparación del material para la toma de muestras, el diseño de las cámaras estáticas y el equipamiento utilizado para el análisis de las muestras gaseosas.

El IPCC plantea ecuaciones teóricas para estimar los factores de emisión de los distintos GEI, pero en esas ecuaciones no se tienen en cuenta los factores ambientales que influyen en estas emisiones, por lo que fue necesario una investigación de tipo exploratoria y empírica.

Se realizó un estudio comparativo de las emisiones de CH₄ durante el ciclo del cultivo de arroz bajo anegamiento, de tres campañas arroceras, que en el presente trabajo denominaremos año 1, 2 y 3 respectivamente. Se desarrolló y ajustó a lo largo de estos años, diferentes diseños metodológicos para estandarizar una metodología que permitiera cuantificar las emisiones de CH₄ y de tal forma obtener un factor de emisión estacional local, de acuerdo al manejo del suelo.

Los lotes de estudio tuvieron un laboreo mínimo o anticipado.

Para las medidas de flujo y diseño de las cámaras cerradas se siguieron los lineamientos propuestos por la Red de reducción de gases de efecto invernadero a través de la mejora del carbono agrícola (GRACE net, por sus siglas en inglés), que es un programa de investigación iniciado a principios de la década del año 2000. Este programa busca cuantificar, de la manera más adecuada, las emisiones de GEI de los suelos agrícolas bajo las prácticas de gestión actuales, para identificar y desarrollar prácticas de gestión mejoradas, que minimicen las emisiones de GEI, promover la sostenibilidad y proporcionar una base científica sólida de las emisiones de estos

gases. Además, genera información válida para aquellos investigadores que modelan ecosistemas agrícolas, productores, y gestores de políticas públicas en el área ambiental. Los estudios de campo coordinados en múltiples ubicaciones deben seguir protocolos estandarizados para poder comparar las emisiones netas de GEI, en distintos ambientes a nivel global. La GRACE net, depende del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, dentro del sector de Servicio de Investigación Agrícola, (USDA, ARS; por sus siglas en inglés). Por todos los motivos expuestos un Comité de investigadores, desarrolló, en el año 2010, un Protocolo de medición de flujo de gases traza basados en cámaras, siendo alguno de sus autores Tim Parkin y Rod Venterea, entre otros.

4.1.2. Manejo del suelo

El cultivo de arroz es particular, porque genera grandes volúmenes de rastrojo o barbecho con una alta relación carbono/nitrógeno que lo hace resistente a la descomposición microbiana en el suelo. Por esta razón, las labores agrícolas antes de la siembra, buscan entre otras cosas, favorecer la descomposición del rastrojo mediante la acción microbiana, incorporando el material vegetal residual al suelo. Esta etapa es muy importante para el desarrollo posterior del cultivo, ya que el volumen de rastrojo remanente incide directamente en las propiedades físico-químicas del suelo inundado (Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes (GBPA), 2016).

Además, los sistemas de labranza aplicados buscan corregir los micro relieves del suelo para lograr una lámina de agua uniforme durante el riego, importante para el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Antes de la siembra y alrededor de unos treinta días posteriores a la cosecha de la campaña anterior, el suelo tiene algunos procesos de laboreo, que son necesarios para que al momento de la siembra el suelo cuente con una cobertura vegetal que lo hace más sostenible.

La labranza anticipada durante la estación estival anterior (fines de verano), permite aprovechar las altas temperaturas, características de la región arroceras, para favorecer la descomposición del rastrojo de arroz, por lo cual requiere el descanso del lote en

dicha estación. Esta práctica agrícola es implementada por el 50% de los productores arroceros en Argentina (GBPA, 2016)

Una práctica desarrollada en los últimos años, en la región del Litoral argentino, es la de contar con “lotes espejo”; esto significa disponer de dos áreas (lotes) para el cultivo simultáneamente, mientras en una se cultiva, en la segunda se laborea el suelo anticipadamente para la campaña próxima; en la siguiente campaña se invierten los roles de ambas áreas o lotes. Este tipo de sistema de manejo admite dos variantes:

1. En el lote en preparación durante el verano permanece el barbecho o rastrojo, no se laborea, y la cubierta vegetal es controlada con aplicaciones de herbicida.
2. En un sistema más intensivo el lote en preparación es sembrado con un verdeo de invierno (comúnmente Rye Grass Perenne), estos verdeos son cultivos con destino forrajero que vegetan durante dicha estación y generalmente completan su ciclo al entrar en la primavera, posteriormente se cosechan y se procede a la siembra del cultivo de arroz (GBPA, 2016).

En este tipo de manejo, los verdeos son un buen complemento en el presupuesto forrajero invernal, ya que si bien no producen gran volumen de forraje son de muy buena calidad nutricional, dado que presentan alta digestibilidad (70 %) y alto contenido de proteína (> 18%). A su vez la producción de estos recursos está fuertemente ligada a la calidad, sostenibilidad y fertilidad del suelo, como también al aprovechamiento del recurso natural (Borrajo, C. I y col; 2011).

El manejo del lote en el cual se realizaron los ensayos de los tres años de estudio consistió en un laboreo anticipado el verano anterior a la siembra. Se utilizaron rastras pesadas de doble acción (figura 4-1), el peso promedio de los discos utilizados fue 120-140 kg/disco, para la incorporación del rastrojo.



Figura 4-1: Rastra excéntrica pesada o semipesada (120 a 130 kg/disco). Foto: Daniel Rodríguez. Grupo de cultivos extensivos. Arroz. E.E.A. INTA. Corrientes.

Se realizó una sola pasada de rastra y se completó con 1-2 pasadas de una niveladora de terreno conocida como Land Plane, (figura 4-2) para emparejar y nivelar el micro relieve de manera de facilitar el posterior riego del manto del cultivo.



Figura 4-2: Niveladora Land Plane. Fuente: GBPA, 2016.

La primera pasada de rastra, posterior a la cosecha y desecamiento total del lote, tuvo

como objetivo la incorporación del rastrojo de arroz aproximadamente unos 10 a 20 cm de profundidad, para obtener menor pérdida de cobertura de suelo, y propiciar la descomposición del material vegetal favoreciendo la estructura del suelo.

Se dejó descansar el lote durante la estación invernal, posteriormente se procedió a la nivelación del terreno, para la siembra.

Como todo sistema de laboreo que implica la utilización de maquinaria pesada, se presentan a continuación las ventajas y desventajas del manejo implementado.

Ventajas

- Uso más eficiente de la maquinaria por mejor distribución de tareas a lo largo del año.
- Permite iniciar la siembra antes por contar con mejores condiciones en el piso.
- Rapidez en la preparación del lote en pre siembra (aplicación del herbicida total).
- Menor pérdida de cobertura de suelo.
- Facilita el control de malezas y arroz colorado.
- Pérdida inferior de materia orgánica.
- Requiere menor dotación de HP/ha por la ausencia de laboreo de pre siembra, con la consecuente disminución en la quema de combustible fósil.
- En el caso de optar la alternativa de “lotes espejo” se dispone de verdeo invernal

Desventajas:

- Requiere sembradoras fuertes y pesadas (más costosas).
- Menor temperatura de suelo en siembras tempranas.

En cuanto a las ventajas de nivelar los suelos podemos decir que:

- Se evitan encharcamientos en los campos que provocan pérdidas de rendimiento.
- Facilita principalmente la irrigación de los terrenos de manera uniforme.
- Facilita el tránsito de los equipos de siembra, pulverización y cosecha optimizando su eficacia.
- Se mejoran las condiciones para lograr una buena implantación de las semillas.
- En la cosecha, permite bajar el nivel de los cabezales evitando pérdida de granos.

4.1.3. Protocolo medición GEI. Técnica de cámara estática o cerrada. Diseño

Este protocolo adopta la metodología de flujo basado en cámaras, que resulta la opción menos costosa disponible, de modo de permitir la inclusión de tantas repeticiones como sean factibles. Se pretende que el diseño de la cámara utilizada sea sensible, imparcial, asociado a una baja varianza de los datos y que permita una interpolación/extrapolación precisa en el tiempo y el espacio. Dado el sesgo asociado al diseño, se adopta aquel que suponemos una mejor evaluación de los datos obtenidos, también hemos considerado los problemas potenciales asociados a la metodología como ser todo el instrumental utilizado para la toma, recolección y acondicionamiento de las muestras gaseosas y por ello buscamos seleccionar materiales/insumos que minimicen estos problemas.

Para facilitar la adopción de un protocolo y comprendiendo las posibles deficiencias asociadas con la técnica de medición de flujo basada en cámaras, se detalla el diseño de cámara y base de apoyo.

El diseño utilizado fue adecuado para las mediciones de gases en el cultivo de arroz, que incluye plantas en su interior, ya que una de las vías de escape del gas CH_4 es el sistema aerenquimal de la planta.

Las cámaras fueron diseñadas de acuerdo a las recomendaciones de Mosier,1989; (figura 4-3), se confeccionaron con caños de poli cloruro de vinilo (PVC), ya que es un material aislante, de 40 cm de diámetro y 30 cm de altura, con una tapa herméticamente sellada provista de un termómetro digital, micro difusor en el interior de la cámara, que funcionaba con una batería de 12 voltios ubicada en la parte superior de la tapa, cuya finalidad era homogeneizar la mezcla de gases dentro de la misma, antes de cada toma de muestras, dado que en su interior se encontraban las plantas de arroz. La parte superior contaba también con un septum para la extracción de muestras de gas emitido La tapa se revistió con membrana de aluminio como material reflectante.

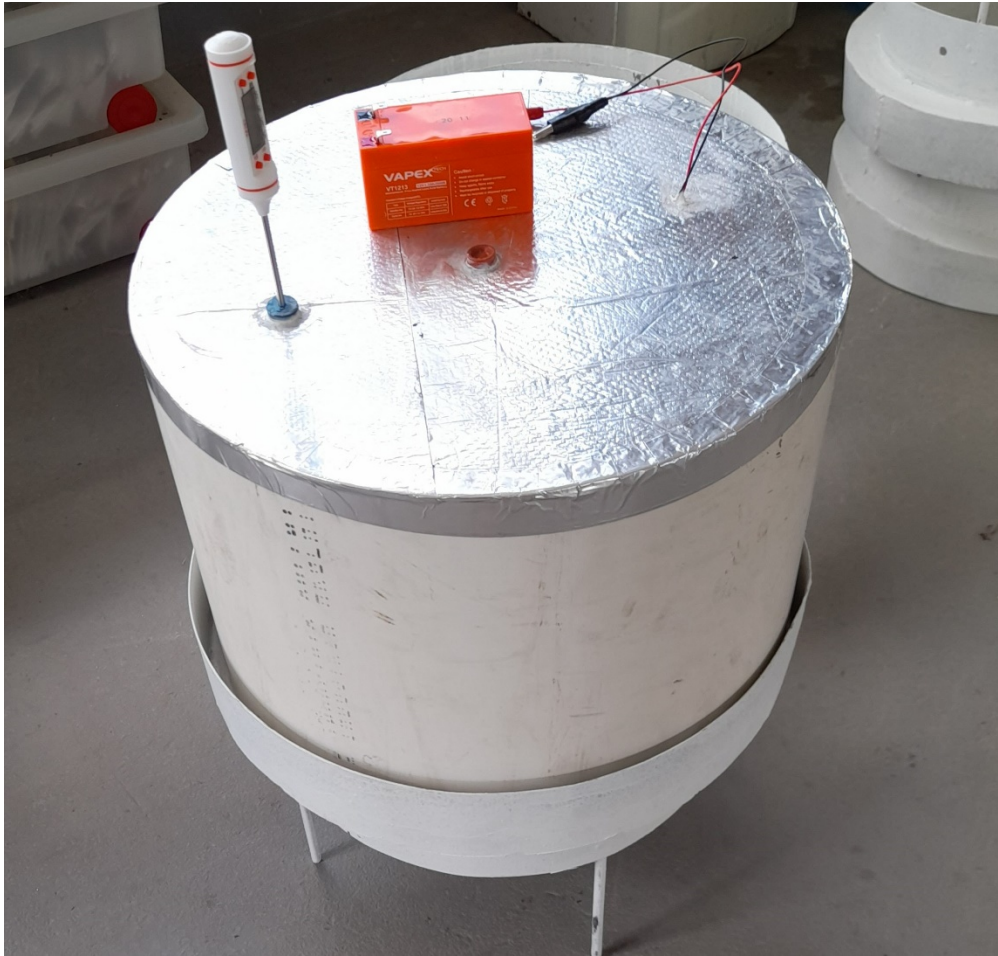


Figura 4-3: Diseño de cámara cerrada utilizada.

La parte inferior de las cámaras se asentó sobre una base metálica (figura 4-4), que actuó de anclaje al suelo, la misma posee un canal circular para que ingrese el agua lo que posibilitó generar un cierre hidráulico una vez instaladas las cámaras sobre ella. En su parte inferior se realizaron unas perforaciones para permitir la circulación del agua dentro del lote inundado, teniendo la capacidad de contener alrededor de 3 plantas de arroz en su interior.



Figura 4-4: Diseño base metálica. Dimensiones: **a)** Cilindro interior, diámetro 35 cm; **b)** altura 15 cm. **c)** Cilindro exterior, diámetro 41 cm; **d)** altura 7 cm; **e)** 10 cm; **f)** perforaciones de 6 a 7 en el cilindro interior.

Las bases se instalaron sobre el lote seco anterior al inicio de riego y permanecieron fijas durante toda la etapa de inundación del cultivo hasta madurez fisiológica de la planta, etapa en la cual se cortó el riego y finalizaron los muestreos.

Siguiendo las recomendaciones del protocolo de la USDA-ARS-GRACE net, para la instalación de las bases y cámaras, y la toma de muestras se detallan a continuación las operaciones realizadas en los lotes de estudio, con el fin de minimizar los potenciales problemas relacionados a la técnica de medición:

1. Para evitar la perturbación del suelo, alrededor de las cámaras durante el tiempo de toma de muestras, se apostaron estaciones de medición que consistieron en puentes de madera sobre los cuales se posicionó cada operador.
2. Se utilizaron cámaras temporales o portátiles, no permanentes; además de ser aislantes y reflectantes.
3. Existe un efecto de dilución al extraer las muestras del espacio de cabeza de las cámaras, por lo tanto, el error asociado a este efecto se corrigió respetando que la relación $V/A > 10$ y el volumen de muestra extraído fuera menor a 30 ml.
4. El tiempo de medición no fue superior a los 90 minutos (año 1 y 2) y 80 minutos (año 3), de manera de no afectar el flujo de masa natural.
5. Las bases metálicas utilizadas de anclaje o soporte de las cámaras poseían un sistema de canaleta sobre el que se apoyaban las mismas y siempre con agua para generar el cierre hidráulico.
6. Antes de cada toma de muestras, se activó el sistema de ventilación para la mezcla homogénea de los gases a extraer. El CH_4 tiene una densidad menor a la del aire, por lo cual se posiciona en la parte superior de la cámara.
7. La toma de muestras se realizó en horario diurno, entre las 9:00 a 10:30 hs como máximo, esta franja horaria se aproxima a la franja horaria correspondiente a la temperatura media diaria, esto minimiza los sesgos asociados a las variaciones diurnas.
8. La toma de muestras se realizó semanalmente desde los cinco días posteriores al riego hasta madurez fisiológica. En aquellas situaciones donde el clima no propiciaba la salida al campo, no se tomó la muestra semanal correspondiente. En Argentina y en las regiones arroceras, solo se realiza una campaña anual (ciclo de cultivo), que va desde primavera hasta finales de verano.
9. Durante los dos primeros años de estudio (año 1 y año 2) se utilizaron tres cámaras por semana, y en el último año (año 3) se utilizaron seis cámaras para las medidas de flujo.

4.1.4. Toma de muestras: insumos utilizados

En la mayoría de los casos, las concentraciones de gases se determinan extrayendo físicamente una muestra del gas del espacio superior de la cámara para su análisis en el laboratorio.

Para la extracción de las muestras gaseosas se utilizaron jeringas de polipropileno de 20 ml, provista de válvula de cierre o sellado de tres vías para evitar eventual escape del gas colectado (figura 4-5)

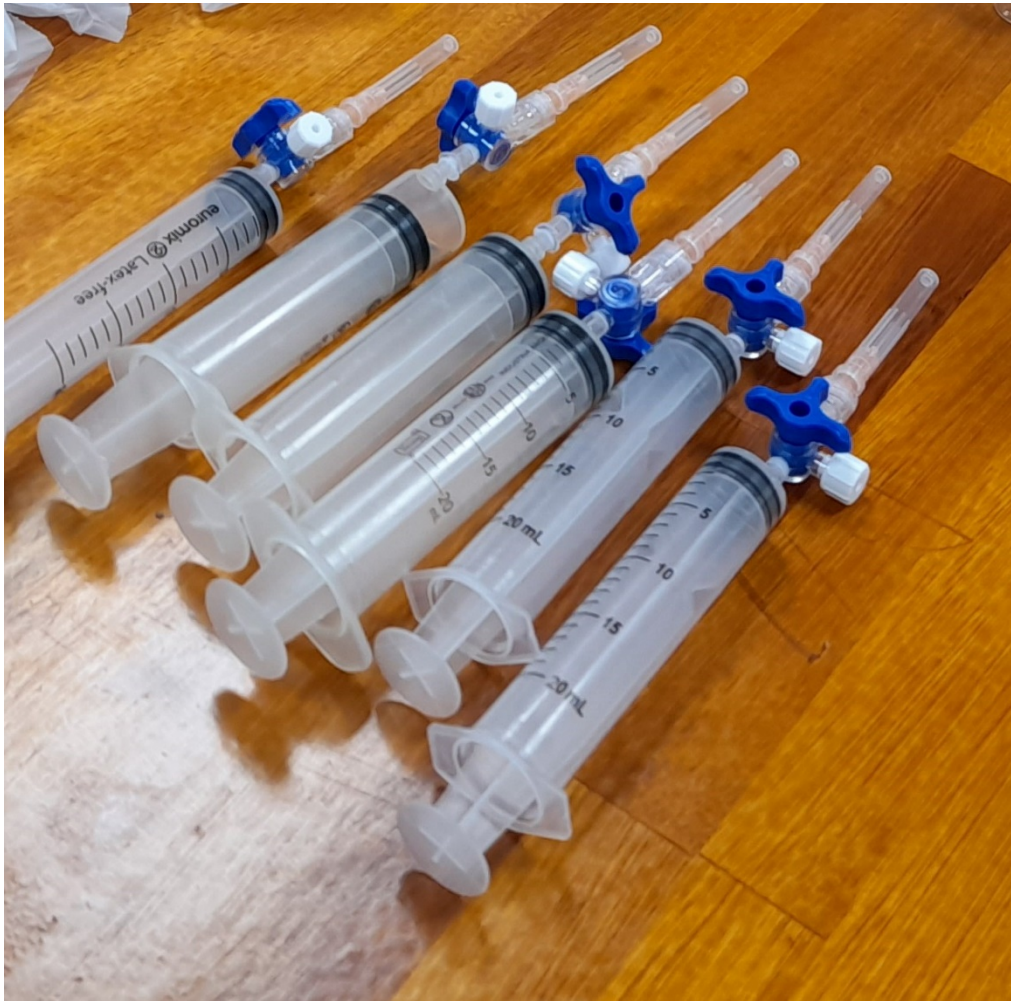


Figura 4-5: Jeringas de polipropileno de 20 ml con válvula de cierre de 3 vías

Antes de tomar la muestra, se encendió la batería ubicada sobre la tapa de las cámaras para homogeneizar la mezcla de gases acumulados en el espacio de cabeza durante un minuto, se desconectó y se procedió a extraer la muestra. Una vez que se introdujo la jeringa en el septum para toma de muestras, se abrió la válvula de tres vías, se extrajo lentamente el gas, y antes de sacar la jeringa se cerró la válvula. La muestra era

colectada en los envases a los cuales previamente se les realizó vacío en el laboratorio. Para el año 1 y año 2 se utilizaron vacuteiners de 10 ml como se muestra en la figura 4-6:



Figura 4-6: vacuteiners de 10 ml al vacío.

Para el **año 3** se reemplazaron los vacuteiners por viales de vidrio de 10 ml, sellados con tapones de butilo de 20 mm y precintos de aluminio como se observa en la figura 4-7:



Figura 4-7: viales de 10 ml al vacío, con tapones de butilo y precintos de aluminio.

Las muestras luego de su recolección se dispusieron en conservadoras con envases refrigerantes, para su conservación en frío; posteriormente fueron enviadas al laboratorio para su análisis.

La elección de los viales para almacenar las muestras se realizó en base a los insumos disponibles en Argentina y a los equipos de detección de gases (cromatógrafos gaseosos, GC) utilizados.

4.1.5. Ajuste del método de cálculo

Los flujos se miden determinando la tasa de cambio de la concentración en función del tiempo del gas acumulado en el espacio de cabeza de la cámara.

Dado que los flujos de gases presentan un alto grado de variabilidad espacial, es necesario el mayor número de muestras para minimizar esa variabilidad, por lo tanto, el mayor número de muestras por cámara y el mayor número de repeticiones.

La toma de muestras debe ser a intervalos regulares (cada 10 o cada 20 minutos) durante el desarrollo de la metodología. El tiempo de instalación de las cámaras no debe ser muy largo, pero si lo suficiente como para que la sensibilidad de los datos no se vea comprometida. Se tomaron muestras durante un lapso de tiempo no mayor a los 110 minutos.

Los estándares de gases utilizados en las tres campañas, estaban expresados en partes volumétricas por millón (ppm(v)); por lo tanto, los datos obtenidos posteriores al análisis cromatográfico también estaban expresados en estas unidades, siendo la unidad resultante $\mu\text{l/l}$. La tasa de cambio de la concentración de CH_4 frente al tiempo de medición de las muestras se calculó por medio del modelo matemático de regresión lineal o ajuste lineal, representada por la pendiente de la curva de regresión. La pendiente resultante tuvo unidades de $\mu\text{l/l. min}$. Multiplicando la pendiente por el volumen de la cámara (l) y dividiendo por el área de la superficie de la cámara en m^2 , se obtuvo el flujo volumétrico en las siguientes unidades [$\mu\text{l CH}_4/\text{min.m}^2$].

Para convertir el flujo volumétrico obtenido en flujo másico, se realizó un cálculo adicional, considerando la Ley de los gases ideales (ecuación 1). La ley de los gases ideales cuantifica la relación entre presión, volumen, masa y temperatura de un gas.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Ecuación [1]

Donde:

P= presión [atmósfera]

V= volumen de la cámara [litros]

n= moles del gas CH_4

R= constante de los gases ideales = $0.08206 \text{ l. atm/mol. }^\circ\text{K}$

Se utilizó el valor de $R = 0,08206 \text{ l atm mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ y para las magnitudes P, V, n y T sus unidades correspondientes. Se convirtieron los μl a μmoles , los minutos a día y los m^2 a hectárea; y realizando las conversiones de unidades correspondientes se obtuvo el flujo másico en [$\text{kg CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$], de esta manera los datos obtenidos pudieron ser comparables manera con el factor de emisión promedio proporcionados por el IPCC. Se cuantificó el factor de emisión estacional de CH_4 a escala local, de acuerdo a la ecuación 2.

$$\text{Flujo CH}_4 [\text{kg. ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}] = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{P}{R \cdot T} \times \text{PM CH}_4$$

Ecuación [2]

Donde:

$\frac{\Delta C}{\Delta t}$ = tasa de cambio de la concentración de CH₄ en función del tiempo

PM = peso molecular [$\mu\text{g}/\mu\text{mol}$]

4.1.6. Análisis cromatográfico

Una vez colectadas las muestras, estas fueron enviadas al laboratorio correspondiente, donde fueron analizadas mediante cromatografía gaseosa (GC).

La cromatografía gaseosa es una técnica analítica que presenta la ventaja de separar cuantitativamente mezclas multicomponentes de compuestos orgánicos volátiles, siendo una técnica de separación muy eficiente. En este tipo de análisis la muestra una vez inyectada en la cabeza de la columna cromatográfica se volatiliza y la elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte que, a diferencia de la mayoría de los tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna. Empleando los tiempos o volúmenes de retención del analito de interés, en este caso CH₄, se realizó la cuantificación de la concentración presente en la muestra. Se realizó previo a las lecturas cromatográficas una curva de calibración con patrones de CH₄ de 5,3; 10,6 y 15,2 ppm(v). Los patrones fueron preparados por la División de Gases Especiales de AGA, Linde AR (<https://www.linde.ar/gases>).

4.1.7. Detector de ionización de llama (FID)

En GC, el FID es el detector más extensamente utilizado para hidrocarburos ya que es un detector que responde al número de átomos de carbono que entran al detector por unidad de tiempo, es sensible a la masa, más que a la concentración. Por lo tanto, tiene la ventaja de que los cambios en el caudal de la fase móvil tienen poco efecto sobre la respuesta del detector. Tiene la ventaja de no ser sensible a grupos funcionales tales como carbonilo, alcohol, halógeno y amina, y ser insensible a los gases no

combustibles como vapor de agua (H₂O), CO₂, óxidos de azufre (SO₂), y óxidos de nitrógeno (NO_x). Posee una elevada sensibilidad (del orden de 10⁻¹³ g/s), un gran intervalo lineal de respuesta (de 10⁷), y un bajo ruido. Es resistente y fácil de utilizar, pero una de sus desventajas es que se trata de un detector destructivo de la muestra. (<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8247/4/T3gascromat.pdf>).

4.1.8. Desarrollo metodológico en la provincia de Corrientes. Año 1 y Año 2.

La provincia de Corrientes está situada al nordeste de la República Argentina, en la región conocida como Mesopotamia (abarca las provincias de Corrientes, Misiones y Entre Ríos), cuenta con una superficie provincial de 88.199 Km² y es considerada una de las principales provincias productoras de arroz (<https://www.crea.org.ar>).

4.1.8.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.

El estudio fue realizado dentro de los lotes de ensayo (figura 4-8) de la Estación Experimental Agropecuaria (E.E.A), El Sombrero, Corrientes; del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada sobre Ruta Nacional 12, altura kilómetro 1.008, aproximadamente a unos 28 km de la ciudad capital, Corrientes.



Figura 4-8: Parcelas experimentales de cultivo de arroz. E. E. A. El Sombrero. INTA. Corrientes

La E.E.A. Corrientes cuenta con una superficie de 1.175 ha, y se especializa en las siguientes áreas de investigación:

- a) Recursos Naturales (con énfasis en gestión ambiental),
- b) Agricultura extensiva (con énfasis en arroz),
- c) Ganadería Subtropical (con énfasis en bovinos para carne) y
- d) Pequeños Productores (con énfasis en alternativas productivas y agricultura sustentable).

Dentro de esa gran superficie, a orillas del Río Paraná (figura 4-9), se encuentran las parcelas experimentales para los distintos cultivos, pero una gran extensión se destina a la producción primaria de arroz. La ubicación estratégica de las parcelas de experimentación cercanas a un curso de agua de gran caudal, como lo es el río Paraná (aproximadamente 9.000 m³ en esa zona), hace que sea posible, a través de una estación de bombeo, diseñar estratégicamente el sistema de riego necesario para el desarrollo del cultivo.



Figura 4-9: Geolocalización del Campo Experimental Arroz. E.E.A. INTA. El Sombrero. Corrientes.

4.1.8.2. Aspectos geomorfológicos

En general cuando hacemos un perfil de suelos como se muestra en la figura 4-10, cada capa presenta características propias que van a influir en la penetración del agua y del aire y en el desarrollo de las raíces: es por ello que un perfil debe considerarse en su conjunto para valorar su fertilidad y sus posibilidades de utilización agrícola.

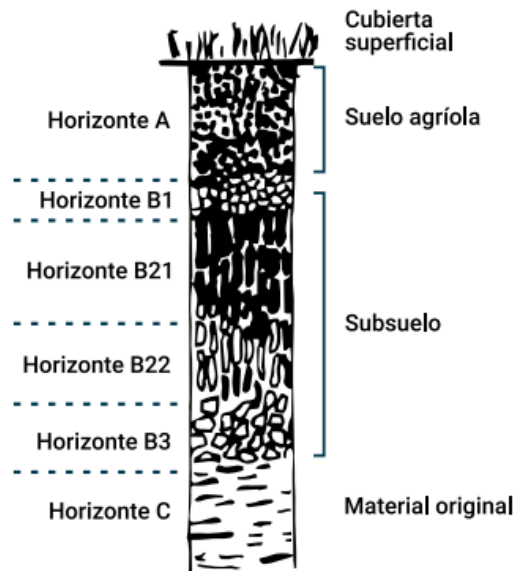


Figura 4-10: Perfil general de suelos desarrollado con diferentes horizontes. Fuente: López de Sabando, M. 2021

El horizonte A es el que concentra la mayor cantidad de materia orgánica, de ahí su color oscuro y el desarrollo de las raíces es más abundante.

Los ensayos llevados adelante durante las campañas correspondientes a los **años 1 y 2**, se realizaron sobre un suelo del tipo Argiudol ácuico, franco fino, mixto, correspondiente a la serie Treviño (Escobar *et al.* 1996). Este tipo de suelo presenta un horizonte A mólico de 33 cm (Ap-A2) franco arenoso a franco arcillo arenoso, pardo oscuro, de estructura granular y bloques subangulares. A partir de esa profundidad y mediante un límite claro se definen una sucesión de horizontes Bt fuertemente estructurados con rasgos de óxido reducción escasos, manifiestos como concreciones de hierro manganeso, combinado con nódulos de los mismos elementos. Los cutanes (material que tapiza los agregados o poros del suelo) de arcilla y los slikenesides

(superficie estriada, con características lineales), también son escasos, pero están distribuidos en todo el perfil. Los carbonatos de calcio se hallan particularmente en el horizonte Btkss formando bolsones.

Son suelos moderadamente fértiles, sus limitaciones corresponden al riesgo de erosión hídrica y ciertos encharcamientos estacionales, pero de corta duración. Poseen aptitud agrícola para la mayoría de los cultivos de secano, lo cual podría sostenerse implementando labranza mínima o siembra directa. Las condiciones de inundación y las bajas exigencias del arroz determinan que su cultivo sea posible en suelos considerados no aptos para otros cereales ((Escobar, et al., 1996 y su actualización publicada por INTA, 2016).

4.1.8.3. Características climáticas.

La región donde se realizaron los estudios durante el **año 1 y 2**, se clasifica como subtropical húmeda; caracterizada por las siguientes variables:

- Temperatura media anual: 21,58 °C
- Precipitación media anual: 1363,31 mm
- Evotranspiración potencial (ETP) media anual: 1245,56 mm
- Balance hídrico anual: (PP-ETPR) 117,75 mm
- Exceso hídrico en el año: 245,26 mm
- Déficit hídrico en el año: 127,51 mm

Tipo general: Sub húmedo, Megatérmica (INTA, 2016).

4.1.9. Metodología AÑO 1

En la provincia de Corrientes, luego de la emergencia y cuando la plántula de arroz llegó al estadio de cuatro hojas, se inició el riego hasta alcanzar un manto superficial de agua de unos 5 a 10 cm, el cual permaneció hasta madurez fisiológica y desecamiento del lote. Este tipo de riego se conoce como riego continuo. El tiempo en el cual permaneció el lote irrigado dependió del ciclo del genotipo utilizado y de la fecha de siembra, siendo aproximadamente 100 a 120 días. El sistema suelo-agua se estabilizó entre 24 a 48 h aproximadamente, posterior al riego, tiempo necesario para generar las condiciones óptimas para la actividad metanogénica, es decir en estricta ausencia de

oxígeno libre, con potencial redox menor a -150 mv y un rango de pH que fue de 6 a 8. En esta situación comienza la generación de gas CH₄ por acción de las bacterias metanogénicas (Wang, 1986), potencial redox negativo y demanda de oxígeno menor o igual a 0.01 mg/l , momento en el cual se inició la toma de muestras.

4.1.9.1. Material Vegetal

La variedad sembrada y sobre la cual se realizaron las mediciones de las emisiones de CH₄, fue Puita INTA CL. Este genotipo es considerado como la primera variedad de alto rendimiento y calidad con adaptación a climas subtropicales y tropicales para ser usado con la tecnología CLEARFIELD. Esta tecnología consiste en un sistema integrado de control de malezas basado en el desarrollo de variedades tolerantes a las Imidazolinonas (compuestos de acción herbicida), para lo cual se realiza un mejoramiento genético y NO una modificación genética, por lo cual se conoce como variedad NO transgénica (<https://inta.gob.ar/variedades/puita-inta-cl>).

Es una planta de alto macollaje, semienana, panoja de tamaño intermedio, con una altura promedio de 81 cm. Tiene un ciclo corto a floración, 100 días en siembras tempranas a 88 días en siembras tardías, y madurez a los 120 días después de la emergencia. Se encuentra entre los 10 cultivares más plantados en Brasil, principal productor de arroz en América Latina, liderando la lista de los mismos con un 22,39 %, según informe del Instituto Rio Grandense do Arroz (Brasil).

La densidad de siembra aplicada fue de 100kg de semilla ha⁻¹ a fines de septiembre del **Año 1**, la emergencia se dio a los 30 días posteriores a la siembra y el riego se realizó a los 24 días después de emergencia (DDE).

4.1.9.2. Fertilización aplicada

Se realizó una fertilización de base a la siembra de 180kg ha⁻¹ de un formulado de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) con las respectivas proporciones: 5% N₂, 18% P como P₂O₅ y 40% K como K₂O. Antes del riego se aplicaron 150kg ha⁻¹ de urea.

4.1.9.3. Diseño experimental y protocolo de muestreo

Se trabajó sobre una parcela experimental de 30 x 35 m, con una superficie de 1.050

m², bajo un manejo de suelo de labranza mínima o reducida, con riego continuo, sin desecamiento. Alrededor de la estación de muestreo (figura 4-11) se instalaron 3 bases de apoyo, de manera aleatoria, sobre las cuales al momento de la toma de muestra se instalaron las respectivas cámaras.



Figura 4-11: estación de muestreo para evitar la perturbación del suelo alrededor de las cámaras.

Para la toma de muestras, se recurrió a la técnica de cámara cerrada, según modelo desarrollado localmente en la E. E. A. Corrientes (figura 4-12); se instalaron tres cámaras cada una de las cuales representó una unidad de observación.

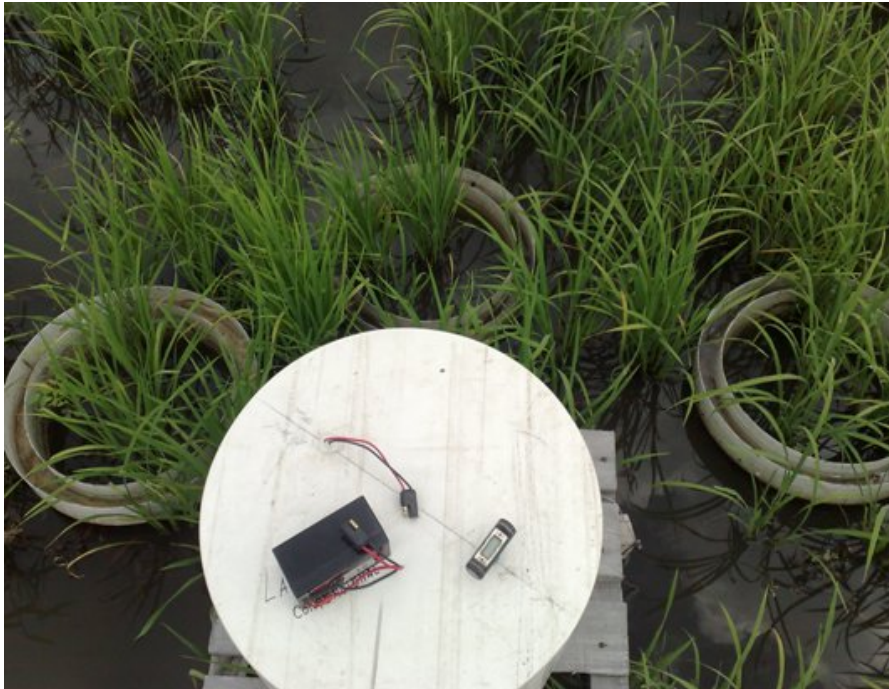


Figura 4-12: unidades de observación en la parcela experimental.

Se tomaron muestras, figura 4-13, con tres repeticiones (tres cámaras), cada 10 minutos (De Souza Costal, et al. 2008), desde un tiempo 0 (inicio de las mediciones al cierre de las cámaras) hasta 90 minutos (10 muestras con tres repeticiones en cada fecha de muestreo). Las curvas de regresión lineal se obtuvieron con el software InfoStat ® versión 2020 a partir de los valores promedio de las repeticiones de concentración de CH₄ medidas a cada tiempo, algunos tiempos de medición debieron descartarse para lograr parámetros de ajuste estadísticamente significativos. La tasa de cambio o incremento del flujo diario de CH₄ fue la pendiente de la gráfica de regresión lineal obtenida en unidades de [$\mu\text{l/l. min}$].

Se registraron los datos de temperatura ambiente, presión atmosférica, temperatura del suelo y temperatura del interior de la cámara.



Figura 4-13: toma de muestras en la E.E.A. Corrientes.

Se utilizaron jeringas de polipropileno de 20 ml con válvula de cierre de tres vías y una vez extraída la muestra se colectó en vacuteiners al vacío, previamente tratados en el laboratorio con una bomba de vacío de 1 HP. Las muestras se acondicionaron en conservadoras con refrigerantes hasta su análisis por GC (figura 4-14).



Figura 4-14: Material de muestreo.

4.1.9.4. Análisis cromatográfico Año 1 y Año 2.

Las muestras, tanto del año 1 como del año 2, fueron analizadas en el laboratorio de la Cátedra de Química Física de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), a cargo de la Dra. Nelly Jorge; las corridas cromatográficas estuvieron a cargo del Dr. Jorge Romero. Se utilizó un GC marca Agilent de inyección manual, provisto de un detector de ionización de llama (FID).

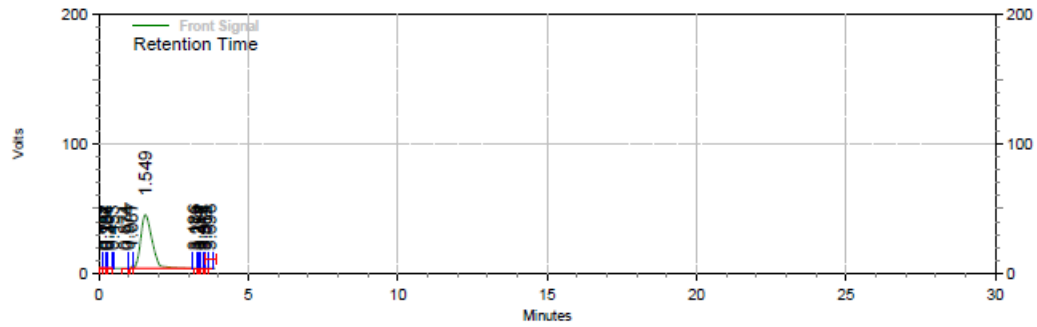
Para la cuantificación se realizó una curva de calibrado con patrones certificados y preparados por AGA S.A, División de gases especiales. Las mezclas fueron preparadas gravimétricamente (de acuerdo a ISO 6142) utilizando balanzas calibradas con pesas trazables a patrones de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) con la certificación del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina.

Se utilizaron materias primas de alta pureza, con trazabilidad a patrones Linde, con una incertidumbre del patrón no mayor al 2 % para concentraciones mayores a 1000 ppm y con un valor máximo de 5 % para concentraciones menores a 5 ppm.

Se prepararon patrones de CH₄ con las siguientes concentraciones en ppm(v): 5,3; 10,6 y 15,2. Las corridas cromatográficas de los patrones utilizados para elaborar la curva de calibración se realizaron por triplicado. En las figuras 4-15 a 4-23, se presentan los respectivos registros.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\Met 5,3 ppm 001.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



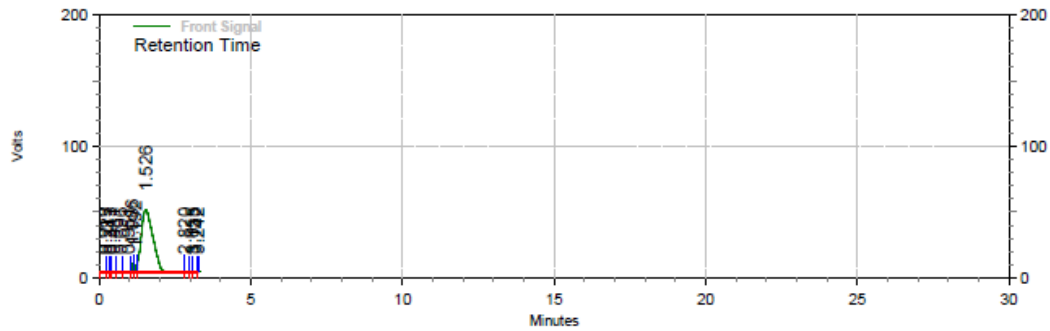
Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.039	3323	0.04	740	0.22
0.184	1137	0.01	362	0.11
0.237	1047	0.01	321	0.10
0.304	1666	0.02	298	0.09
0.453	471	0.01	220	0.07
0.874	1130	0.01	209	0.06
0.974	112	0.00	188	0.06
1.087	17076	0.21	11060	3.34
1.549	8298246	99.64	316776	95.57
3.186	651	0.01	180	0.05
3.279	465	0.01	103	0.03
3.354	210	0.00	159	0.05
3.417	648	0.01	181	0.05
3.514	294	0.00	180	0.05
3.562	474	0.01	189	0.06
3.698	1225	0.01	297	0.09
Totals	8328175	100.00	331463	100.00

Figura 4-15: Patrón 5.3 ppm(v). Repetición 1.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default Data\met 5,3 ppm 290310 001.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default Method\metano.met



Front Signal Results

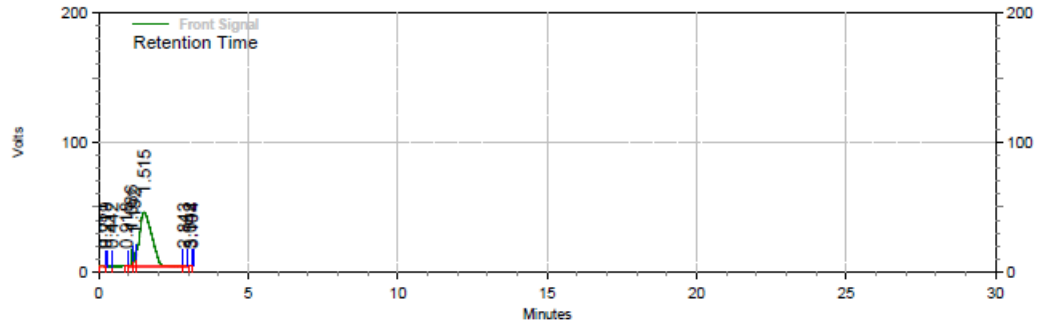
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.060	7587	0.08	945	0.21
0.213	3629	0.04	697	0.15
0.343	2934	0.03	635	0.14
0.481	3601	0.04	582	0.13
0.696	5741	0.06	597	0.13
0.951	6631	0.07	504	0.11
1.086	89763	0.89	50985	11.09
1.192	84743	0.84	38819	8.45
1.526	9829421	97.89	364382	79.28
2.820	4040	0.04	559	0.12
3.055	1604	0.02	402	0.09
3.133	1694	0.02	316	0.07
3.242	407	0.00	187	0.04

Totals	10041795	100.00	459610	100.00
--------	----------	--------	--------	--------

Figura 4-16: Patrón 5.3 ppm(v). Repetición 2.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\met 5,3 ppm 290310 003.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



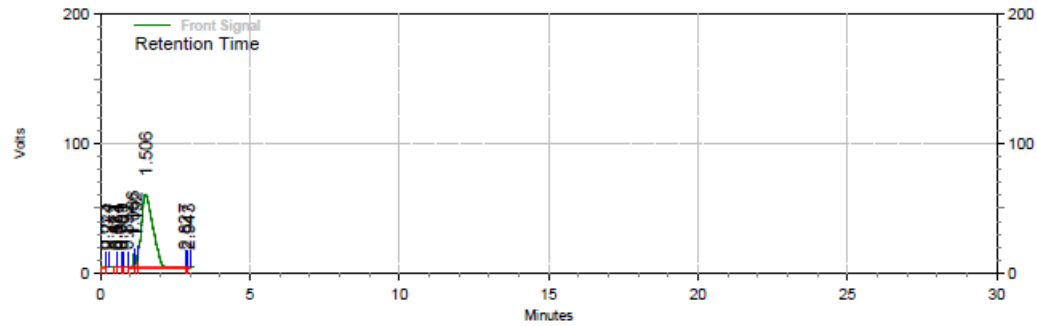
Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.051	5689	0.06	936	0.18
0.219	715	0.01	299	0.06
0.442	33	0.00	99	0.02
0.918	523	0.01	203	0.04
1.086	279358	2.90	103996	20.33
1.192	228205	2.37	84668	16.55
1.515	9126524	94.63	320509	62.65
2.843	2319	0.02	474	0.09
3.042	615	0.01	278	0.05
3.104	473	0.00	146	0.03
Totals	9644454	100.00	511608	100.00

Figura 4-17: Patrón 5.3 ppm(v). Repetición 3.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\met 10,6 ppm 290310 002.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



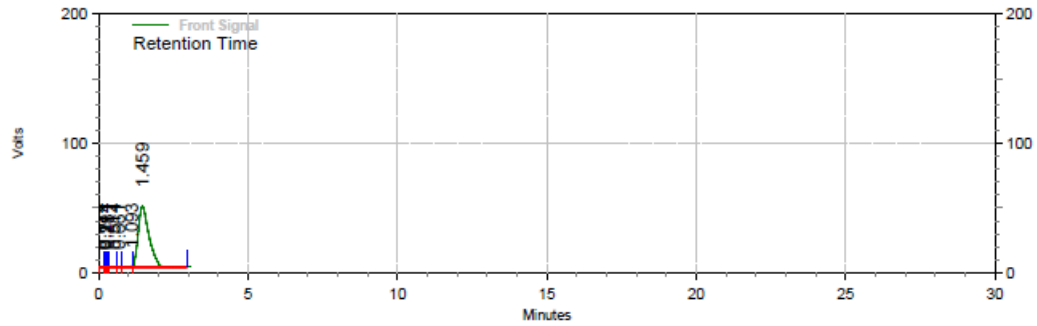
Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.073	5310	0.04	861	0.15
0.224	755	0.01	254	0.04
0.471	404	0.00	209	0.04
0.534	244	0.00	193	0.03
0.651	788	0.01	219	0.04
0.709	370	0.00	285	0.05
0.892	1437	0.01	240	0.04
1.086	195454	1.63	77270	13.17
1.192	188265	1.57	72912	12.43
1.506	11612300	96.71	433749	73.92
2.827	1619	0.01	392	0.07
2.943	434	0.00	227	0.04
Totals	12007380	100.00	586811	100.00

Figura 4-18: Patrón 10.6 ppm(v). Repetición 1.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\met 10,6 ppm 290310 001.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



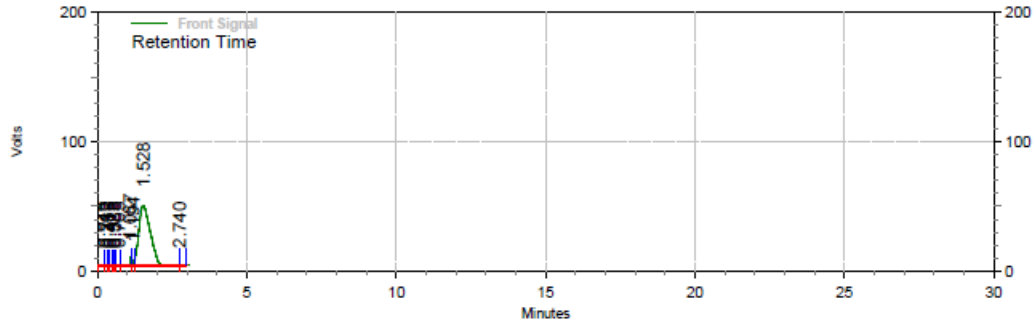
Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.024	2844	0.03	715	0.19
0.171	811	0.01	408	0.11
0.214	1022	0.01	335	0.09
0.281	563	0.01	280	0.08
0.514	3514	0.04	313	0.08
0.661	1469	0.02	301	0.08
1.093	10005	0.11	7313	1.97
1.459	9079573	99.78	360868	97.39
Totals	9099801	100.00	370533	100.00

Figura 4-19: Patrón 10.6 ppm(v). Repetición 2.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\met 10.6 ppm 290310 004.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



Front Signal Results

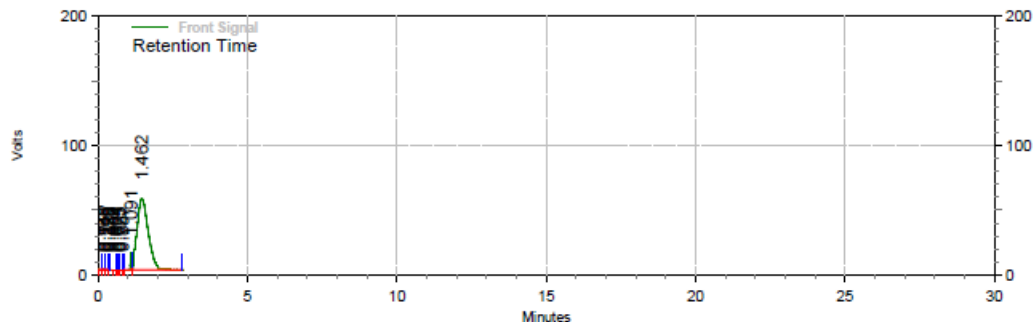
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.024	7195	0.07	936	0.21
0.240	3510	0.04	641	0.14
0.333	1948	0.02	558	0.13
0.415	2186	0.02	581	0.13
0.523	2340	0.02	526	0.12
0.585	1346	0.01	484	0.11
0.705	3499	0.04	474	0.11
1.087	75511	0.78	47949	10.80
1.194	71524	0.74	33808	7.61
1.528	9540958	98.22	357446	80.50
2.740	4305	0.04	641	0.14

Totals	9714322	100.00	444044	100.00
--------	---------	--------	--------	--------

Figura 4-20: Patrón 10.6 ppm(v). Repetición 3.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\Met 15.5 ppm 001.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



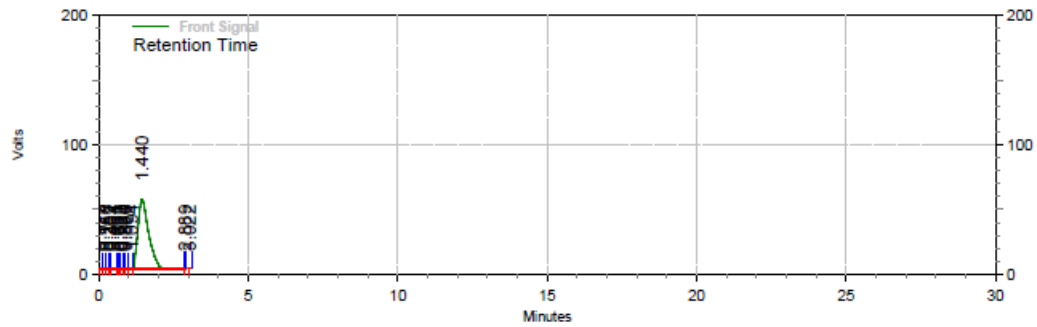
Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.025	3598	0.03	926	0.18
0.168	2032	0.02	449	0.09
0.246	1031	0.01	394	0.08
0.328	440	0.00	236	0.05
0.378	409	0.00	235	0.04
0.500	643	0.01	183	0.03
0.604	513	0.00	183	0.03
0.675	303	0.00	180	0.03
0.725	480	0.00	174	0.03
0.807	404	0.00	205	0.04
1.091	227189	2.03	97201	18.58
1.462	10970586	97.88	422664	80.81
Totals	11207628	100.00	523030	100.00

Figura 4-21: Patrón 15.2 ppm(v). Repetición 1.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\met 15,2 ppm 290310 001.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



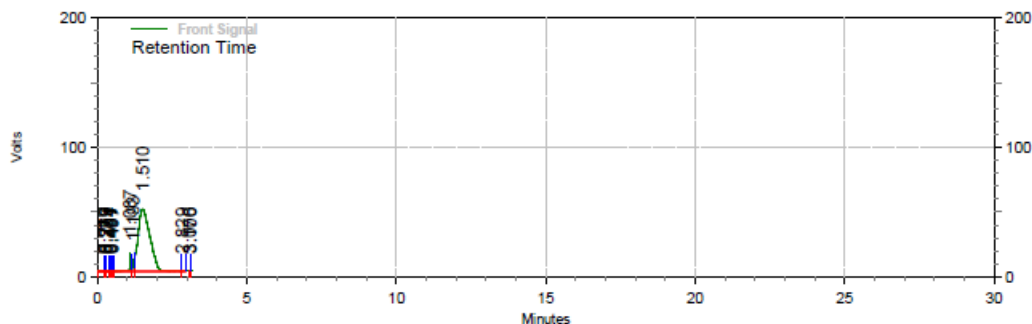
Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.027	2804	0.03	872	0.21
0.129	1931	0.02	472	0.11
0.256	1925	0.02	458	0.11
0.357	1038	0.01	378	0.09
0.464	3341	0.03	391	0.09
0.631	674	0.01	348	0.08
0.692	613	0.01	272	0.07
0.729	860	0.01	278	0.07
0.830	874	0.01	333	0.08
0.896	987	0.01	282	0.07
1.094	2676	0.03	1604	0.38
1.440	10291067	99.82	410573	98.53
2.889	313	0.00	177	0.04
3.022	862	0.01	264	0.06
Totals	10309965	100.00	416702	100.00

Figura 4-22: Patrón 15.2 ppm(v). Repetición 2.

Area % Report

Data File: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Data\met 15,2 ppm 290310 004.dat
 Method: C:\EZChrom Elite\Enterprise\Projects\Default\Method\metano.met



Front Signal Results

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.046	7074	0.07	906	0.16
0.217	1713	0.02	560	0.10
0.279	356	0.00	368	0.07
0.299	1630	0.02	434	0.08
0.404	710	0.01	341	0.06
0.461	819	0.01	300	0.05
0.497	624	0.01	262	0.05
1.087	207546	1.97	110136	19.91
1.193	153850	1.46	71356	12.90
1.510	10152433	96.43	367887	66.51
2.829	1513	0.01	365	0.07
3.076	283	0.00	201	0.04
3.100	1	0.00	0	0.00

Totals	Area	Area %	Height	Height %
	10528552	100.00	553116	100.00

Figura 4-23: Patrón 15.2 ppm(v). Repetición 3.

La muestra de gas inyectada manualmente al GC, fue de 1 ml con jeringa cromatográfica. Una vez procesados los datos de campo en el cromatógrafo, los valores de área proporcionados por el registrador del equipo, fueron convertidos a ppm(v), por medio del factor obtenido a través de la curva de calibración; $f = 1/a$; siendo a la pendiente de la curva.

Con los datos de concentración, se determinó la tasa de cambio de la concentración en función del tiempo de muestreo ($\Delta C/\Delta t$).

Multiplicando $\Delta C/\Delta t$ por la relación V/A , se obtuvo el flujo volumétrico ($\mu\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$).

Realizando las conversiones necesarias y aplicando la ecuación [2], se determinó el

flujo másico de CH₄ expresado en kg CH₄/ha. día.

4.1.10. Metodología AÑO 2:

4.1.10.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.

La segunda campaña arrocerá estudiada (Año 2), se realizó nuevamente dentro del campo experimental de la E.E.A, El Sombrero. INTA. Corrientes; ya citado en el Año 1. Bajo las mismas condiciones de manejo del suelo, es decir con una labranza mínima antes de la siembra y mismas consideraciones al momento de iniciar el riego, se procedió a realizar el estudio.

4.1.10.2. Material Vegetal

La variedad de arroz que se utilizó en el segundo año, fue la variedad TAIM desarrollada por la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA, por sus siglas en portugués), en la ciudad de Pelotas ubicada en el estado de Río Grande do Sur de Brasil.

Este cultivar posee un ciclo biológico de alrededor de 110 días, desde la emergencia hasta la maduración, se caracteriza por plantas de hojas cortas, erectas, de menos de 100 cm de largo, posee una altura promedio de 81 cm y alta capacidad de macollamiento, es decir alta biomasa. Actualmente no es de las variedades más sembradas en Argentina (SISA, 2020).

La densidad de siembra aplicada fue de 80kg de semilla ha⁻¹ a principios de octubre del **Año 2**, la emergencia se dio a los 35 días posteriores a la siembra, mediados de noviembre y el riego se realizó a los 15 días después de emergencia (DDE).

4.1.10.3. Fertilización aplicada

Se realizó una fertilización de base a la siembra de 250kg ha⁻¹ de un formulado de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) con las respectivas proporciones: 2.5% N₂, 18% P como P₂O₅ y 40% K como K₂O. Antes del riego se aplicaron 200kg ha⁻¹ de urea.

4.1.10.4. Diseño experimental y protocolo de muestreo

Se trabajó sobre una parcela experimental de 30 x 35 m. Se aplicó el mismo diseño del

Año 1 para la instalación de bases de apoyo, cámaras y puentes de muestreo. Fueron evaluadas 3 unidades de observación. La toma de muestras se inició dos días posteriores al riego, una vez estabilizado el sistema agua-suelo, con las condiciones necesarias para la generación de CH₄.

Una vez colectadas y acondicionadas las muestras en conservadoras, estas fueron analizadas en la cátedra de Química Física de la UNNE. Los análisis estuvieron a cargo del Dr. Jorge Romero. Se realizó una recalibración de los patrones, en la empresa AGA S.A, División de gases especiales de los patrones de CH₄ de 5,3; 10,6 y 15,2 ppm(v). Los análisis de los patrones se realizaron por triplicado, hasta ajustar una curva de calibración que permitiera la cuantificación en ppm(v) del gas contenido en las muestras.

Posteriormente se determinó el flujo másico de CH₄ con la fórmula de cálculo ajustada y expresado en kg CH₄/ha. día.

Los estudios realizados durante los años 1 y 2, siguieron el mismo protocolo metodológico. No se evaluaron diferencias entre variedades, ya que la planta de arroz es una de las vías de liberación de CH₄ producido por las bacterias metanogénicas, he considerado que la planta de arroz es un vehículo de transporte del gas generado, que no depende de la variedad cultivada, dado que se trata de una variedad del tipo “largo fino”, clasificación de acuerdo al Código Alimentario Argentino (CAA), donde las variedades de este tipo presentan en general biomasa similar.

De acuerdo a los resultados obtenidos se realizó un tercer año de estudio con un protocolo modificado para ajustar de forma más acertada la determinación de la concentración de CH₄, y por ende la cuantificación del flujo producido por el cultivo de arroz, dada la actividad metanogénica autóctona del suelo.

4.1.11. Metodología AÑO 3. Provincia de Entre Ríos.

La Provincia de Entre Ríos, está ubicada al este de la región Centro de Argentina, limita al norte con Corrientes, al este con el Río Uruguay que la separa del vecino país Uruguay, al sur y oeste con el Río Paraná que la separa de la Provincia de Buenos Aires y Santa Fé. Posee una extensión de 78.781 km², es otra de las provincias componente (la más meridional) de la Mesopotamia argentina, conformada por los ríos

Uruguay y Paraná en el Litoral argentino. Posee una extensa red de agua superficial y subterránea, a través de acuíferos, hasta 12 veces mayor que cualquier otra del país. Junto con la provincia de Corrientes es considerada otra de las principales provincias productoras de arroz (<https://www.crea.org.ar>).

4.1.11. 1. Localización geográfica del sitio de muestreo.

Dentro de la cartera de proyectos que se desarrollan en el INTA, fui participante del proyecto estructural (PE), “Mejoramiento genético de arroz”, dentro de las actividades incluidas en el proyecto, se planteó evaluar el impacto ambiental de la variedad de arroz GURI INTA CL. Este trabajo fue desarrollado en la E.E.A. Concepción del Uruguay, considerado **Año 3** dentro de la estructura de la tesis.

La unidad dispone de un campo experimental con una superficie de 1.150 hectáreas (figura 4-24). No posee cursos de agua cercanos al campo de ensayo, por lo que el abastecimiento de agua para el riego se realizó por bombeo de pozos de fuentes subterráneas.



Figura 4-24: Imagen satelital del Campo experimental de arroz. E.E.A. INTA. Concepción del Uruguay. Entre Ríos.

En la figura 4-25 puede observarse un lote sembrado con arroz, dentro del campo experimental de Concepción del Uruguay.

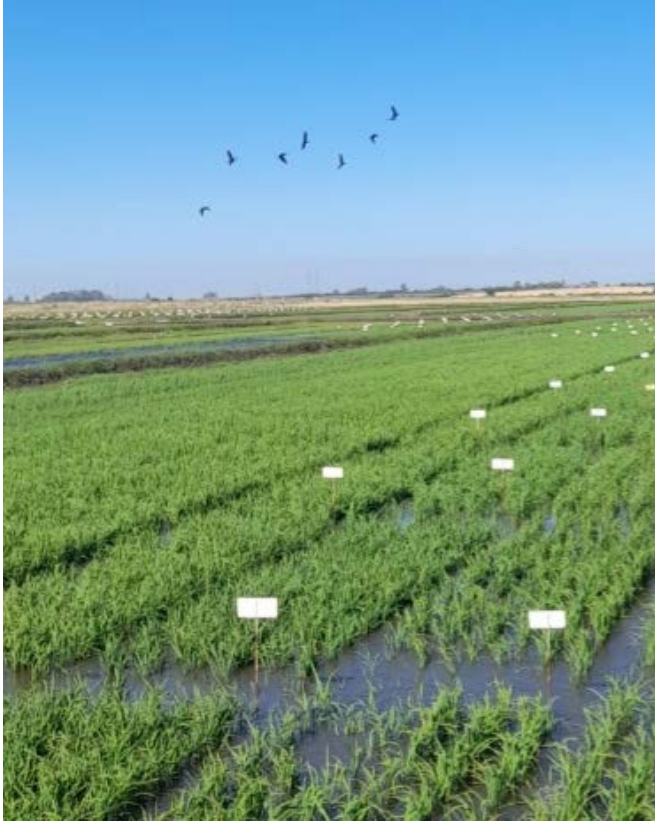


Figura 4-25: Lotes de ensayos de arroz. E. E. A. Concepción de Uruguay. Entre Ríos.

4.1.11. 2. Aspectos geomorfológicos

En la E.E.A Concepción del Uruguay el tipo de suelo pertenece a la serie Bouchel (Bch), son suelos de la familia "franca, mixta, térmica" de los Albacualfes vérticos. Son suelos profundos compuestos por una mezcla de aluviones antiguos sobre limos, y son imperfectamente drenados. A partir de los 40-45 cm aparece un horizonte más arcilloso, con características vérticas y presencia de gravilla, que se extiende en profundidad.

La posición fisiográfica de esta serie determina su variabilidad de rasgos, según se la encuentre en pendientes suaves, lomas bajas y cerca de las líneas de drenaje. Se ha determinado a escala de reconocimiento una fase lentamente drenada (Bch.a).

En cuanto al drenaje, son suelos moderada a imperfectamente drenados; escurrimiento superficial algo lento y de permeabilidad lenta. La napa freática es profunda.

La serie puede estar erosionada por sectores en forma de surcos y pequeñas cárcavas,

donde la pendiente se acentúa. (Carta de suelos de la Provincia de Entre Ríos. 2014).

4.1.11. 3. Características climáticas.

En Concepción del Uruguay, el clima es cálido y templado. Las precipitaciones son significativas, anualmente son de 1.284 mm, incluso durante el mes más seco, que es julio, alcanzando uno 70 mm. Actualmente la provincia de Entre Ríos registra un déficit hídrico de 200 a 350 mm, lo que equivale a una disminución entre 47 a 81% de la precipitación promedio normal. La temperatura promedio es de 18.3 °C. y tiene una evapotranspiración media de 772.80 mm.

<https://es.climate-data.org>

4.1.11. 4. Material Vegetal

Se trabajó sobre la variedad GURI INTA CL, la cual se caracteriza por tener un alto rendimiento agrícola, excelente calidad molinera y culinaria, además de ser resistente a herbicidas del grupo de las Imidazolinonas. Posee una alta capacidad de germinación en siembras tempranas, como ser primeros días de octubre. En madurez fisiológica la planta alcanza una altura de 84 cm promedio. Posee un tallo más grueso y resistente al vuelco en madurez comparado con el cultivar PUITA INTA CL.

Se aconseja como fecha óptima de siembra aconsejada primeros días de octubre hasta mediados de noviembre. Ya en estas últimas fechas el rendimiento del cultivo decae. La reducción de la radiación a partir de mediados de diciembre determina que la capacidad de producir altos rendimientos se reduzca, a medida que se atrase la época de siembra.

Es una variedad de ciclo largo, después de la emergencia de la plántula de arroz, alcanza la floración aproximadamente a los 94 días y 35 días posteriores a esta etapa ya se encuentra en madurez fisiológica. <https://proarroz.com.ar>

4.1.11. 5. Condiciones de manejo y fertilización.

Se realizó un laboreo anticipado, posterior a la cosecha estival, fines de marzo, utilizando un tractor con disco + rastrón, de manera de incorporar el rastrojo de arroz y facilitar su degradación orgánica en la capa superficial del suelo (figura 4-26). Posteriormente se realizaron dos pasadas más de tractor, una para reincorporar el

barbecho emergido y otra para nivelar el suelo antes de sembrar. Los suelos con mayor contenido de arcilla, como los suelos de Entre Ríos, presentan una tendencia a formación de terrones, cuanto mayor es el contenido de arcilla más difícil es el laboreo del suelo y su preparación para la siembra.



Figura 4-26: Tractor con disco + rastrón. Fuente: GBPA. 2016.

Se realizó una fertilización de base (pre-siembra) a finales de septiembre, aplicando 90 kg/ha de fosfato monoamónico y 90 kg/ha de cloruro de potasio. La siembra se realizó la primera semana de octubre (figura 4-27) y antes de iniciar el riego se realizó una aplicación de 240 kg/ha de urea.

La densidad de semilla aplicada fue de 105 kg semilla/ha. El riego se inició 26 días posteriores a la fecha de emergencia.



Figura 4-27: Siembra de la variedad GURI INTA CL. Lote experimental E.E.A. Concepción del Uruguay.

4.1.11. 6. Diseño experimental y protocolo de muestreo

Se instalaron tres estaciones de muestreo a lo largo de una parcela de 200 m²: 20 de largo x 10 m de ancho (figura 4-28), se apoyaron sobre el suelo seis bases metálicas que sirvieron de apoyo para las cámaras (figura 4-29), dos por cada estación de muestreo. Se realizaron seis repeticiones (seis cámaras) sobre el ensayo de la variedad GURI INTA CL, en orden aleatorio completo, de forma que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre las repeticiones. Cuatro días posteriores al riego, se iniciaron los muestreos, siguiendo los lineamientos planteados en el protocolo de la USDA-ARS-GRACE net, ajustando la metodología de acuerdo a los problemas surgidos en los años anteriores de medición.



Figura 4-28: instalación de las estaciones de muestreo



Figura 4-29: instalación de las bases metálicas para apoyo de las cámaras.

Los puntos de muestreo (bases metálicas) se dejaron fijos durante 14 semanas desde su instalación hasta la etapa de madurez fisiológica, donde se cortó el riego y se procedió a desecar el lote.

30 días DDE, y cuatro días posteriores al riego, se comenzó con la toma de muestras (figura 4-30).



Figura 4-30: Inicio del muestreo. E.E.A. Concepción del Uruguay. Entre Ríos.

Los muestreos se realizaron entre las 9:00 y las 10:20 h a intervalos de 20 minutos, se utilizaron jeringas de polipropileno de 20 ml con válvula de cierre de tres vías, una vez extraídas las muestras fueron depositadas en viales de vidrio al vacío de 10 ml, sellados con tapones de butilo de 20 mm y precintos de aluminio. Las muestras se acondicionaron en conservadoras con refrigerantes hasta su envío al Laboratorio de

Servicios Especiales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), para su análisis en un Cromatógrafo Gaseoso (GC), totalmente automatizado correspondiente a la serie 7890 A de la marca Agilent Technologies. Los muestreos finalizaron en etapa de madurez fisiológica a los 136 DDE.

En la figura 4-31, se detalla en forma resumida la línea de tiempo desde la preparación del suelo, inicio de los muestreos en etapa de macollaje hasta su finalización y posterior cosecha.

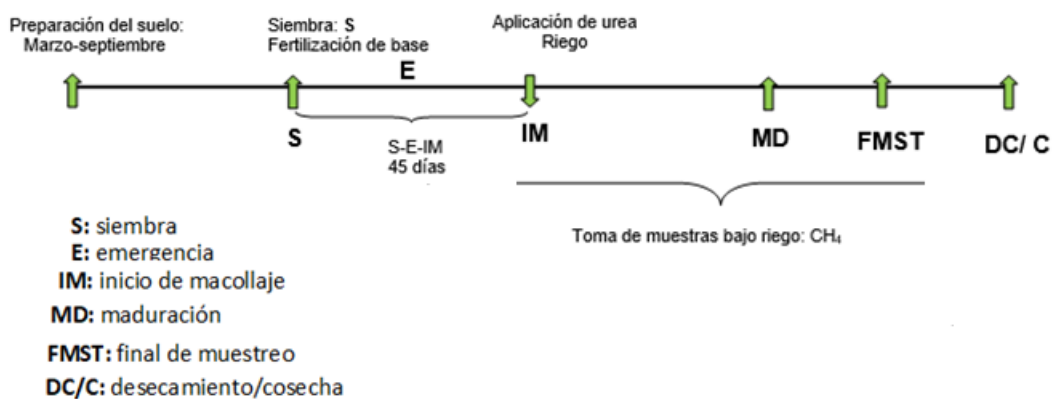


Figura 4-31: etapas del proceso productivo y desarrollo del cultivo.

4.1.11. 7. Toma de muestras gas CH₄

Las cámaras utilizadas de diseño cilíndrico, se apoyaron sobre las bases metálicas acanaladas, que al estar llenas de agua permitían un cierre hidráulico, de esta manera se evitaron los posibles escapes de gas generado y emitido por las bacterias metanogénicas, desde la interfase agua-suelo, en la figura 4-32 se observa un día de muestreo en una etapa de macollaje.



Figura 4-32: Toma de muestras en etapa de macollaje. E.E.A. Concepción del Uruguay. Entre Ríos.

El inicio de los muestreos fue a las 9:00 h, considerado tiempo cero (t_0) finalizando a las 10:20 (t_4) h a intervalos de 20 minutos, por lo cual, por cada cámara, se obtuvieron 5 muestras correspondientes a los tiempos: t_0 , t_1 , t_2 , t_3 y t_4 .

4.1.11. 8. Procedimiento de muestreo:

Al tiempo $t_0 = 9:00$ h, se apoyó la cámara sin conectar la batería, se registró la temperatura de la cámara y se procedió a la extracción del gas. Se introdujo la aguja, con la válvula de 3 vías cerrada, en el septum para toma de muestra, se liberó la válvula para la entrada de gas a la jeringa, se extrajeron los 20 ml de capacidad de la jeringa, se cerró la válvula y se retiró la aguja para posteriormente colectar en el vial al vacío previamente rotulado. Se colectó una cantidad en exceso para tener mayor cantidad de muestra y facilitar su lectura en el GC. El vial con la muestra se refrigeró en conservadoras con refrigerantes hasta su envío al laboratorio de análisis.

IMPORTANTE: cada vez finalizada la colecta de gas, se debe limpiar la jeringa, cargando y descargando con el émbolo, con la válvula abierta en el aire.

Al tiempo $t_1 = 9:20$ h, se conectó la batería aproximadamente unos 30 segundos para

facilitar la mezcla de gases contenidos en el interior de la cámara, se desconectó, se colectó la muestra en el vial correspondiente y luego se registró la temperatura del interior de la cámara. Al mezclar los gases en el interior de la cámara la temperatura disminuye, por lo tanto, se esperó a que se estabilicé el sistema dentro de la cámara y luego se registró la temperatura.

A los tiempos t_2 , t_3 y t_4 , se realizó el mismo procedimiento que en el tiempo t_1 .

4.1.11. 9. Análisis cromatográfico.

Una vez acondicionadas para su traslado, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Servicios Analíticos Especiales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), a cargo de la Dra. Verónica Feuring. El análisis se realizó utilizando un GC 7890A acoplado a un muestreador automático 7697A, ambos de la firma Agilent Technologies.

El GC 7890A cuenta con un sistema de multiválvulas, detector de microcaptura electrónica y metanizador-FID que proporciona el análisis simultáneo de gases efecto invernadero (GEI) en una única inyección y presurizando el total de la muestra contenida en el vial.

El GC posee una elevada sensibilidad del detector μ ECD asegurando la detección del N_2O a niveles de partes por billón (ppb).

Se usa una simple unión basada en Tecnología de Flujo Capilar para conectar las válvulas y el μ ECD, mejorando la eficacia cromatográfica.

Este equipo mide de manera automática más de 100 muestras por día arrojando simultáneamente los datos de concentración de los tres gases en cada determinación.

Es el único laboratorio en Argentina, hasta el momento, que puede realizar el análisis simultáneo de los tres gases (CO_2 , CH_4 y N_2O).

Los tiempos de retención de cada gas fueron los siguientes:

CH_4	3.108 min
CO_2	5.215 min
N_2O	6.673 min

Para la calibración se utilizó un patrón ternario en balance Nitrógeno. (CO_2 600 ppm,

CH₄ 5ppm, N₂O 1 ppm). En las figuras 4-33 a 4-35, se presentan las curvas de calibración correspondientes a cada gas:

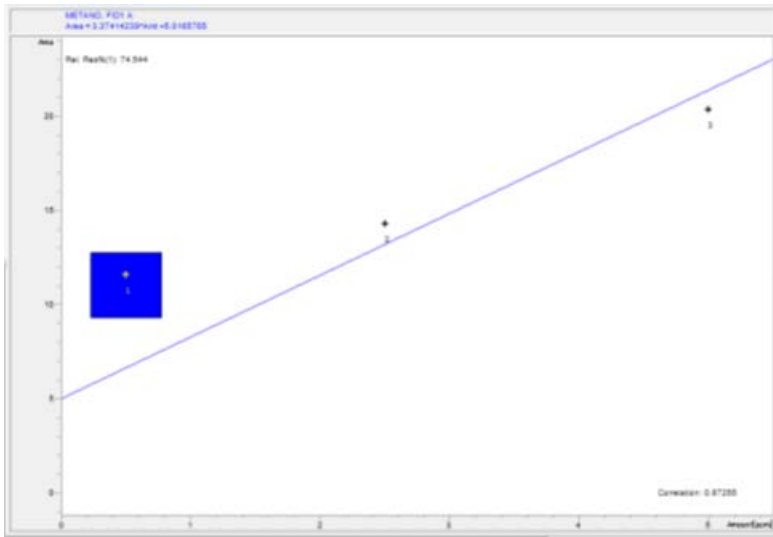


Figura 4-33: curva de calibración correspondiente al CH₄.

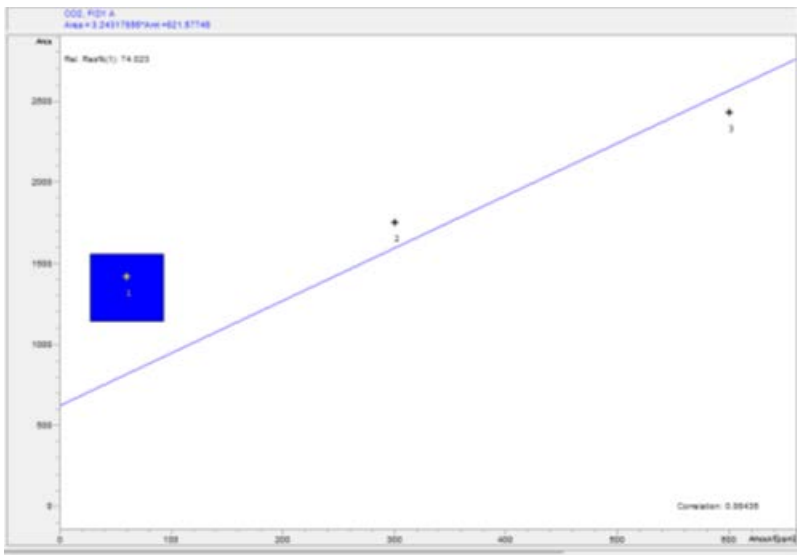


Figura 4-34: curva de calibración correspondiente al CO₂.

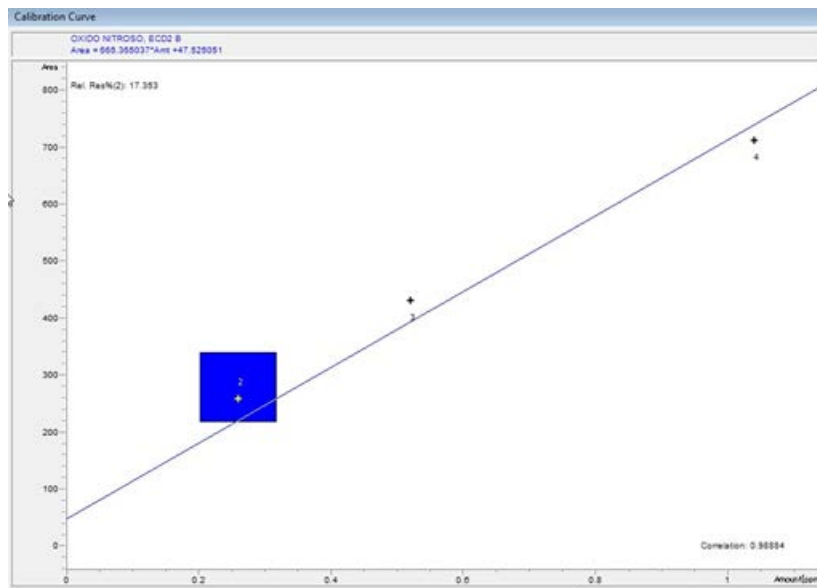


Figura 4-35: curva de calibración correspondiente al N₂O.

Los datos de concentración de CH₄, expresados en ppm(v), proporcionados por el laboratorio, fueron procesados de la siguiente manera:

- 1- se ordenaron los datos de acuerdo a cada cámara,
- 2- se determinó la tasa de cambio de la concentración en función del tiempo de muestreo ($\Delta C/\Delta t$), cuyas unidades fueron $\mu\text{l/l. min}$,
- 3- multiplicando $\Delta C/\Delta t$ por la relación V/A , se obtuvo el flujo volumétrico [$\mu\text{l/m}^2.\text{min}$],
- 4- realizando las correspondientes conversiones de unidades, y aplicando la ecuación [2], se determinó el flujo másico de CH₄ expresado en kg CH₄/ha. día.

$$\text{Flujo CH}_4 [\text{kg. ha}^{-1}. \text{día}^{-1}] = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{P}{R. T} \times \text{PM CH}_4$$

Ecuación [2]

4.1.11. 10. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software InfoStat, desarrollado bajo la plataforma Windows. Se aplicó un modelo que incluyó el efecto de las cámaras y las temperaturas en su interior; y también se aplicó un modelo que evaluó el efecto del flujo y las semanas de muestreo.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. AÑO 1.

5.1.1. Datos climáticos.

Las temperaturas máxima, mínima y media, como también la humedad relativa porcentual, que fueron registradas durante la etapa de anegamiento del cultivo, se presentan en la figura 5-1.

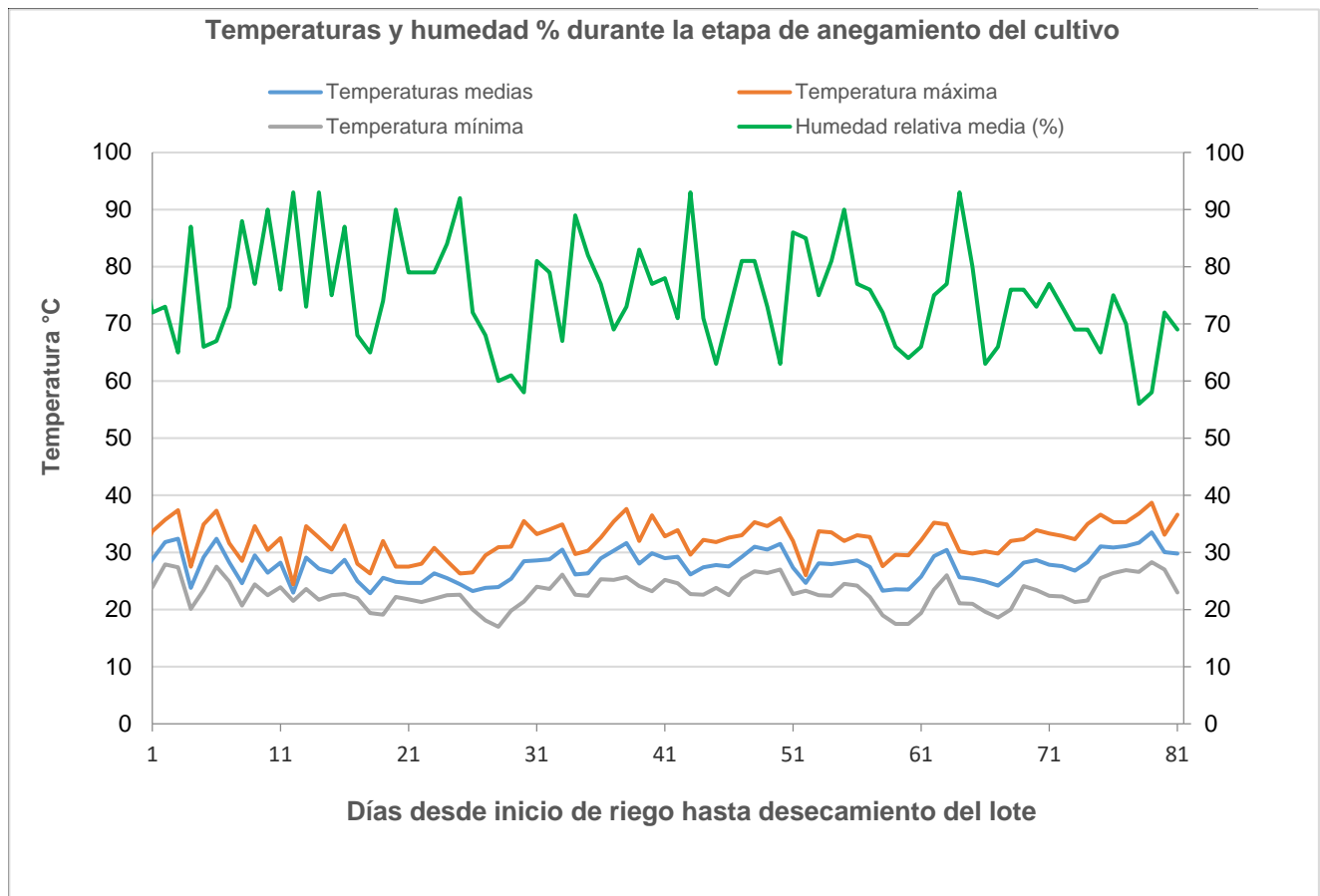


Figura 5-1: variables ambientales durante la etapa de anegamiento del cultivo. Año 1. Fuente: Estación meteorológica automática. Sombrerito. E. E.A. Corrientes. <http://siga.inta.gob.ar>.

Durante el periodo de estudio la temperatura máxima alcanzada fue de 38.7 °C, la mínima de 28.3 °C y una temperatura media de 33.5 °C. La humedad relativa ambiente porcentual presentó un máximo de 93 y un mínimo de 56 durante la etapa de anegamiento del cultivo.

5.1.2. Características edáficas del suelo (bajo cultivo de arroz año 1 y 2).

Las fracciones y partículas, de arena, limo y arcilla, que caracterizan la composición del suelo y que se presentan en distintas combinaciones, determinan su diferente capacidad para la retención de humedad, influyendo además en la capacidad de retención del contenido de materia orgánica presente. Estas condiciones edáficas determinan las buenas prácticas de riego y fertilización de acuerdo al contenido de materia orgánica propia de los suelos. En la tabla 5-1 se presenta la composición porcentual de las diferentes fracciones de los componentes de un suelo del tipo Argiudol ácuico, franco fino mixto, sobre el cual se realizaron los estudios durante los años 1 y 2.

Tabla 5-1: Distribución en porcentaje de las distintas fracciones componentes del suelo.

Horizonte / Profundidad	Textura	Arcilla % (<0,002 mm)	Limo % (0,002- 0,05 mm)	Arena MF % (0,05- 0,10 mm)	Arena F % (0,10-0,25 mm)	Arena ME % (0,25-0,50 mm)	Arena GR % (0,50-1,00 mm)	Arena MG % (1,00- 2,00mm)	Arena total (%)
Ap- 0-18 cm	Franco arenoso	19,4	18,3	2,48	12,66	43,7	3,3	0,16	62,3
A2- 18-33 cm	Arcilloso- arenoso	22,4	19,8	1,6	6,62	45,54	3,78	0,26	57,8

En la tabla 5-2 se presentan las condiciones de fertilidad del suelo bajo cultivo de arroz.

Tabla 5-2: Condiciones de fertilidad de un suelo del tipo Argiudol ácuico, franco fino mixto.

Horizonte / Profundidad	CC (%)	PMP (%)	Agua útil (%)	pH 1:2,5	CE (mmhos. cm ⁻¹) ₁	MO %	CO %	NT %	Potasio K ⁺ (cmol. Kg ⁻¹)
Ap- 0-18 cm	21,53	15,41	6,13	6	0,02	1,38	0,8	0,07	0,08
A2- 18-33 cm	22,44	15,53	6,91	6,26	0,02	0,97	0,56	0,05	0,18

El dato de referencia mínimo del fósforo es de 1ppm, considerándose trazas valores inferiores al mismo. Este tipo de suelos poseen aptitud agrícola, pero limitadas por su susceptibilidad a la erosión hídrica y encharcamientos, esto restringe la elección de uso agrícola, pero dadas las condiciones de inundación y las bajas exigencias del arroz determinan que su cultivo sea posible en suelos considerados no aptos para otros cereales (Escobar, *et al.*, 1996).

La dosis de fertilización utilizada fue considerada no solo en base a los requerimientos nutricionales propios del cultivo, sino también de acuerdo al rendimiento que se quería alcanzar, el cual está condicionado por el clima, genotipo y manejo del riego en el cultivo de arroz.

5.1.3. Regresión lineal. Cálculo de la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$.

La representación gráfica de la concentración de CH₄ en ppm(v) versus el intervalo de tiempo durante el cual se tomaron las muestras se representa en las figuras 5-2 a 5-7.

Cada figura corresponde a las mediciones realizadas en las semanas siguientes al inicio de riego que corresponden al día después de emergencia (DDE) respectivo al estadio fenológico del cultivo.

De las tres repeticiones realizadas, se tomaron los valores promedio de cada tiempo de medición y se representaron aquellos valores de mejor ajuste. La tasa de cambio o incremento del flujo diario de CH₄, se obtuvo gráficamente en unidades de [$\mu\text{l/l. min}$].

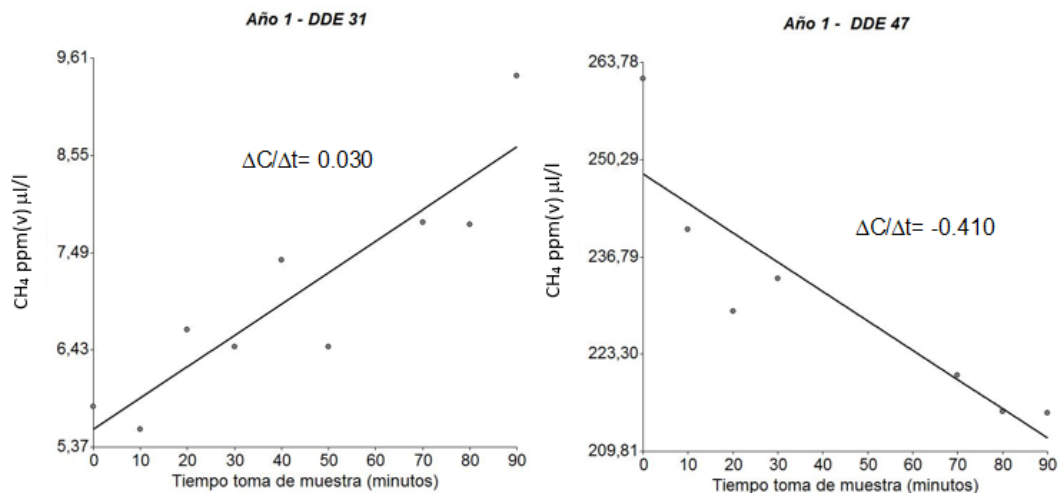


Figura 5-2: Curvas de regresión lineal para DDE 31 y 47. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/minuto.

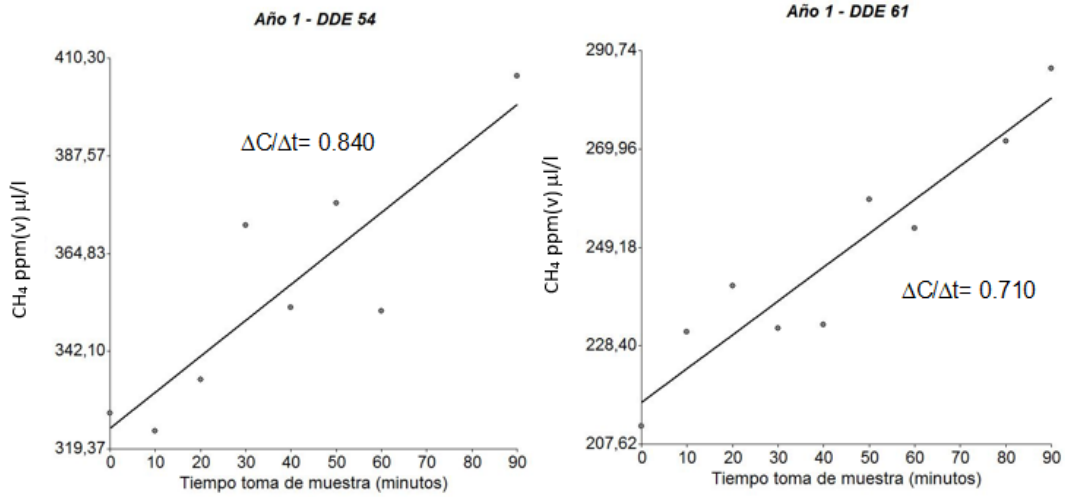


Figura 5-3: Curvas de regresión lineal para DDE 54 y 61. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/minuto.

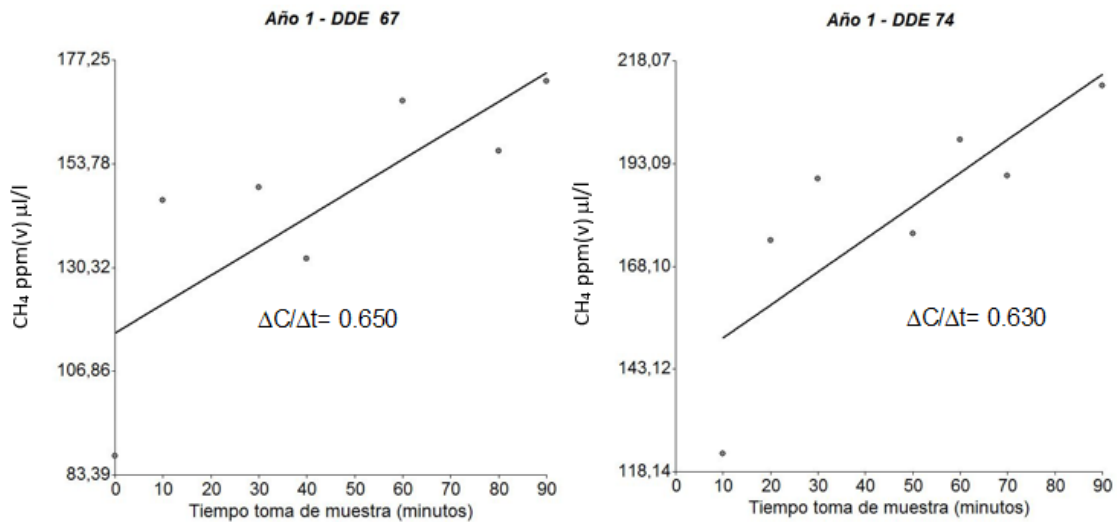


Figura 5-4: Curvas de regresión lineal para DDE 67 y 74. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/minuto.

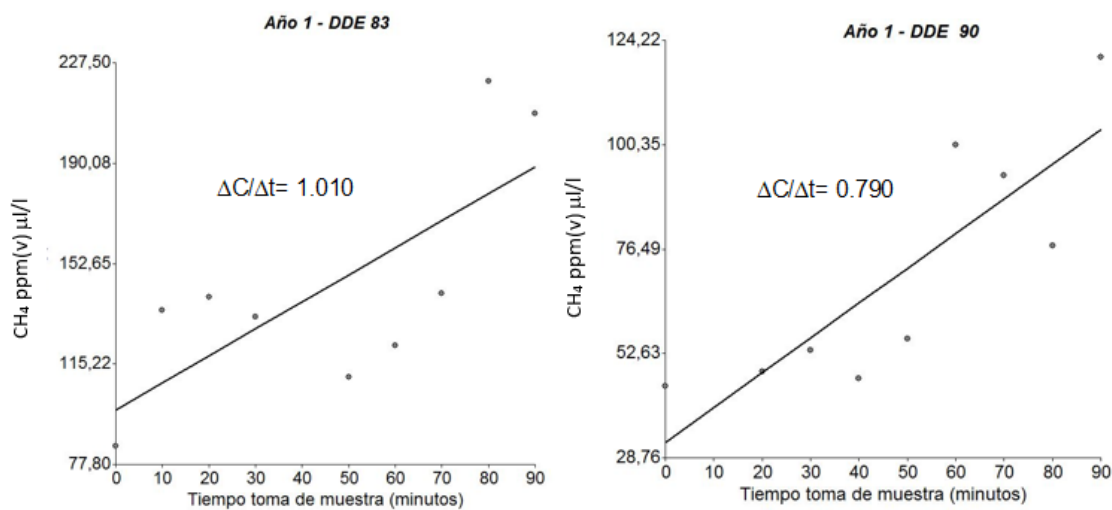


Figura 5-5: Curvas de regresión lineal para DDE 83 y 90. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/minuto.

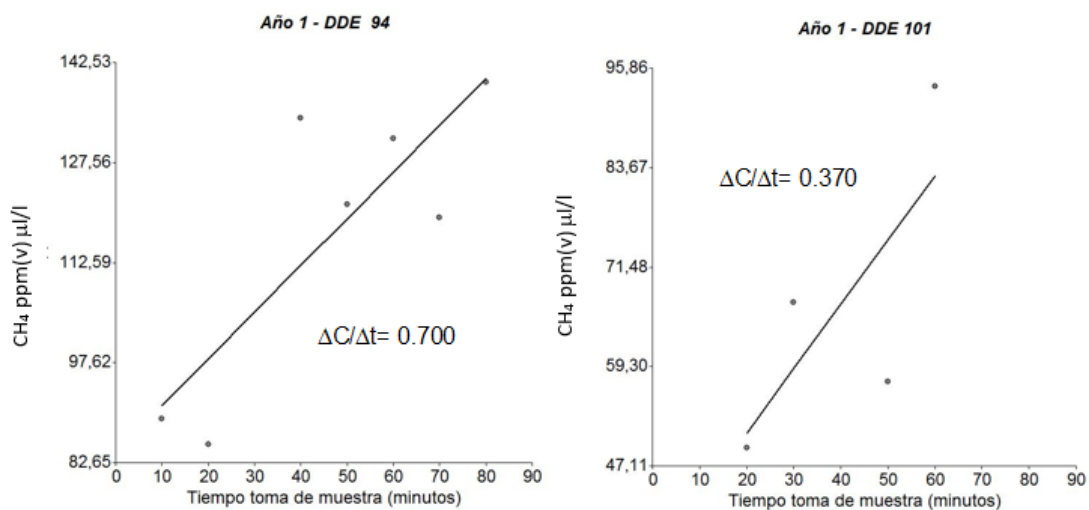


Figura 5-6: Curvas de regresión lineal para DDE 94 y 101. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/minuto.

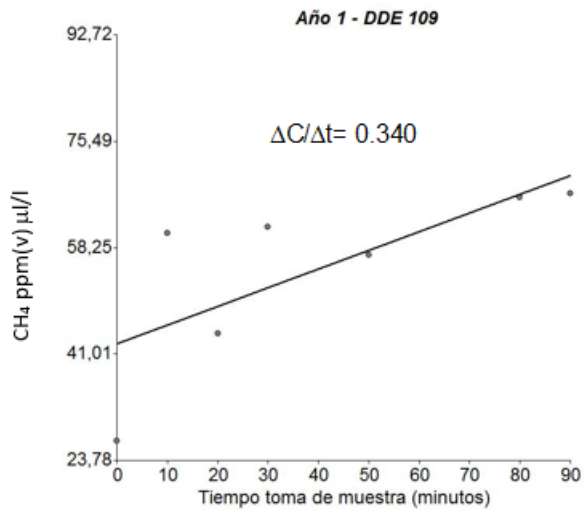


Figura 5-7: Curvas de regresión lineal para DDE 109. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/minuto.

Se realizó un análisis de regresión lineal entre la tasa de emisión (valor de pendiente) y la etapa fenológica (DDE) en la cual se realizaron las medidas de concentración, para evaluar el efecto entre ambas variables. En la tabla 5-3, se presentan los coeficientes de regresión y estadísticos asociados a las variables analizadas.

Tabla 5-3: Parámetros estadísticos asociados a las curvas de regresión lineal para cada etapa fenológica del ciclo (en DDE) analizada.

DDE	Concentración	Pendiente	p-valor pendiente	Bondad de ajuste
31	CH ₄ ppm(v)	0,030	0,008	0,82
47	CH ₄ ppm(v)	-0,410	0,006	0,8
54	CH ₄ ppm(v)	0,840	0,005	0,76
61	CH ₄ ppm(v)	0,710	0,0002	0,88
67	CH ₄ ppm(v)	0,650	0,038	0,61
74	CH ₄ ppm(v)	0,630	0,058	0,48
83	CH ₄ ppm(v)	1,010	0,024	0,54
90	CH ₄ ppm(v)	0,790	0,004	0,71
94	CH ₄ ppm(v)	0,700	0,021	0,69
101	CH ₄ ppm(v)	0,340	0,490	0,17
109	CH ₄ ppm(v)	0,370	0,071	0,44

El p-valor < 0.05 indica que la concentración de CH₄ presenta una relación lineal con el tiempo de medición cuyo valor de pendiente es estadísticamente representativo durante los 90 minutos diarios en que se realizaron las mediciones. El valor de R² de la curva de regresión es la bondad de ajuste informada para el conjunto de datos.

En la tabla 5-4, representa la estadística descriptiva (medidas de resumen) de las variables muestran las medidas de resumen que describe el comportamiento entre las mismas.

Tabla 5-4: Resumen de los parámetros estadísticos que describen las curvas de regresión lineal obtenidas para cada etapa fenológica analizada durante el ciclo del cultivo (DDE).

DDE	Concentración	n	Media	Pendiente	D.E	E.E	CV	MAD
31	CH ₄ ppm(v)	9	7,04	0,030	1,20	0,40	17,03	0,84
47	CH ₄ ppm(v)	7	230,84	-0,410	16,53	6,25	7,16	11,34
54	CH ₄ ppm(v)	8	355,59	0,840	28,00	9,90	7,88	21,87
61	CH ₄ ppm(v)	9	246,63	0,710	23,33	7,78	9,46	12,10
67	CH ₄ ppm(v)	7	144,42	0,650	28,51	10,78	19,74	16,09
74	CH ₄ ppm(v)	7	180,51	0,630	28,63	10,82	15,86	13,30
83	CH ₄ ppm(v)	9	144,03	1,010	43,89	14,63	30,47	13,13
90	CH ₄ ppm(v)	9	71,21	0,790	27,72	9,24	38,93	10,83
94	CH ₄ ppm(v)	7	117,15	0,700	21,59	8,16	18,43	12,95
101	CH ₄ ppm(v)	4	66,9	0,370	19,26	9,63	28,79	8,94
109	CH ₄ ppm(v)	8	59,17	0,340	18,18	6,43	30,72	5,60

D.E: desvío estándar; E.E Error estándar; CV: coeficiente de variación y MAD: desviación media absoluta.

Se observa una gran dispersión de los datos, sobre todo en la etapa de floración, entre los 74 a 90 DDE, que atribuyo al efecto de pérdida de muestra, que pudo deberse a los viales incorrectamente sellados o bien a algún problema en el diseño de las cámaras.

5.1.4. Cálculo del flujo de CH₄. Factor de emisión estacional [kg CH₄/ha. día].

Aplicando la ecuación [2] y con los parámetros $\Delta C/\Delta t$, V/A y temperatura media de cada cámara durante el tiempo de medición, presentados en la tabla 5-5 se obtuvieron los valores de flujo volumétrico ($\mu\text{l}/\text{m}^2.\text{min}$). Realizando las conversiones necesarias y con la fórmula de cálculo de flujo ajustada se determinó el flujo másico de CH₄ expresado en kg CH₄/ha. día. Los parámetros utilizados para el cálculo de flujo se presentan en la tabla 5-5.

Tabla 5-5: Parámetros utilizados para el cálculo de flujo medio diario.

DDE	$\Delta C/\Delta t$	T media de cámara °C	Flujo medio diario kg CH₄/ha. día
31	0,030	31,1	0,088
47	-0,410	27,1	-1,221
54	0,840	28,1	2,494
61	0,710	29,9	2,096
67	0,650	32,7	1,901
74	0,630	31,3	1,851
83	1,010	28,4	2,996
90	0,790	26,5	2,358
94	0,700	26,6	2,089
101	0,340	30,2	1,003
109	0,370	27,3	1,102

En la figura 5-8 se representan los valores promedio de flujo para cada momento de

medición correspondiente a la variable DDE.

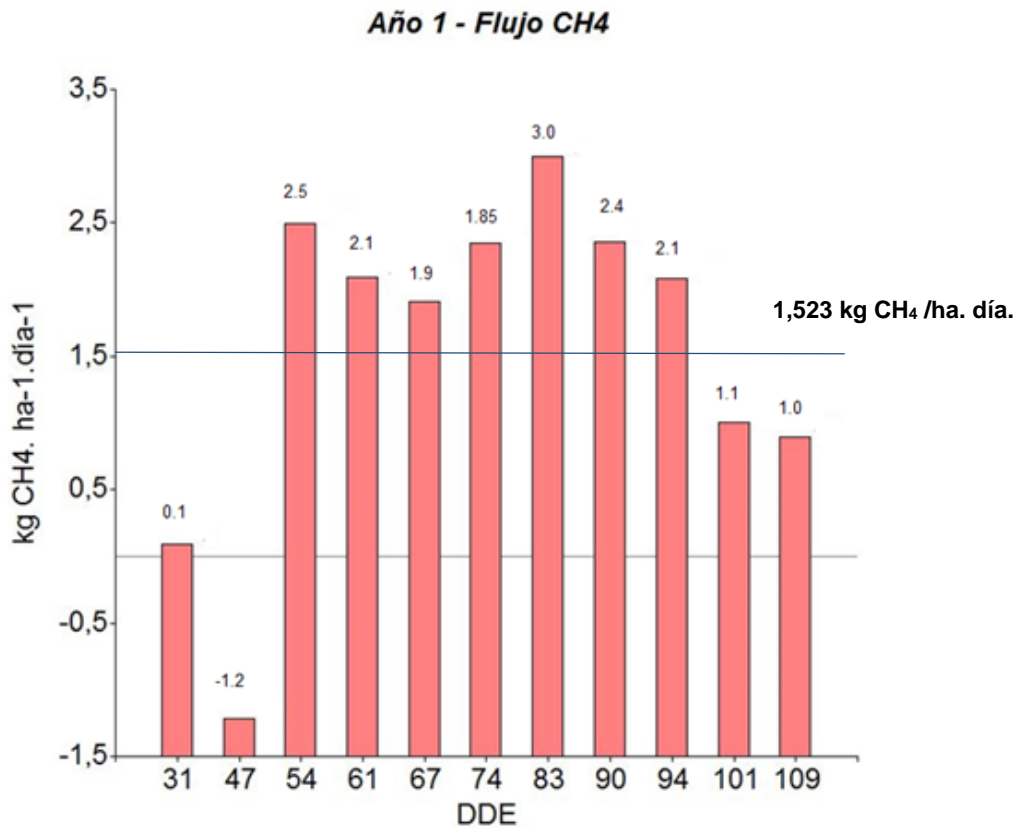


Figura 5-8: Flujo medio diario de CH₄ [kg/ha. día], medidos durante los días después de la emergencia (DDE).

El flujo promedio diario arroja un valor de **1,523 kg CH₄ /ha. día**. Este flujo promedio representa el factor de flujo estacional de CH₄ de la campaña arrocerá evaluada.

En la figura 5-8 se representan los flujos medios de cada etapa fenológica estudiada, los máximos de emisión se observan entre los 74 a 90 DDE, que coinciden con la etapa de floración del cultivo.

5.2. AÑO 2.

5.2.1. Datos climáticos.

Las temperaturas máxima, mínima y media, como también la humedad relativa porcentual, que fueron registradas durante la etapa de anegamiento del cultivo, se presentan en la figura 5-9.

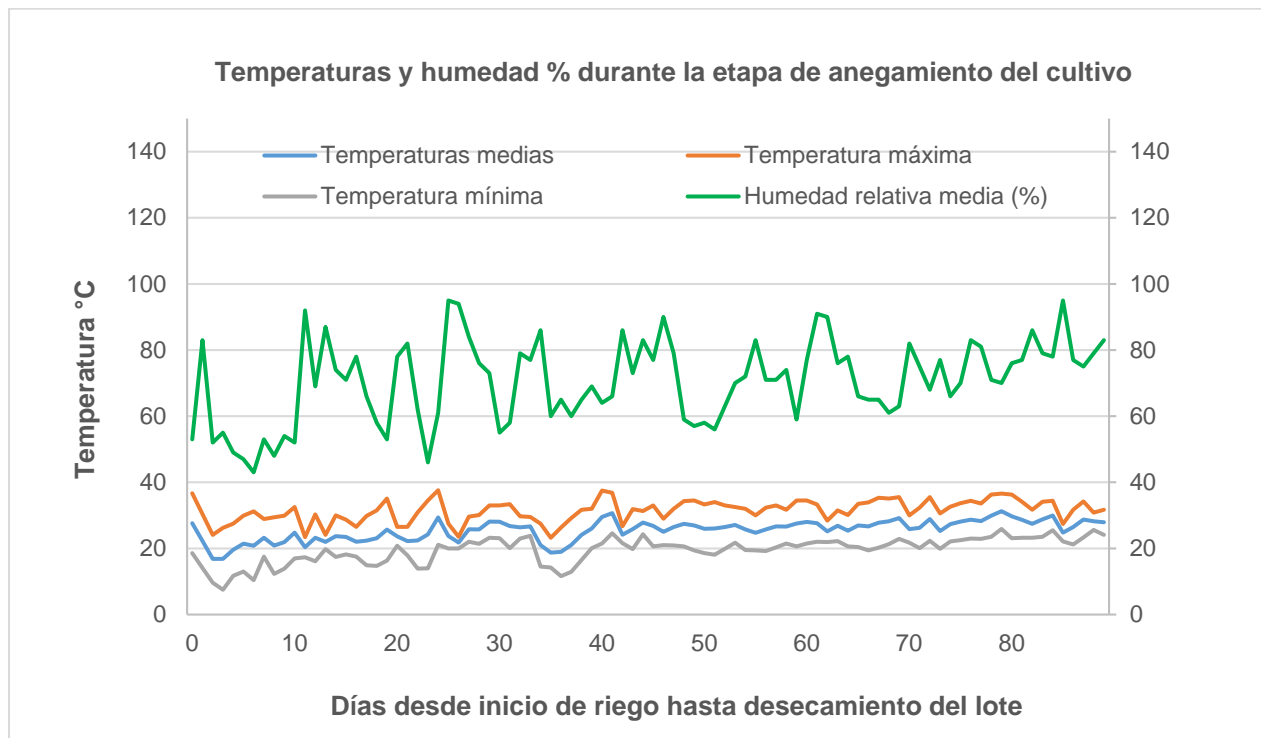


Figura 5-9: variables ambientales durante la etapa de anegamiento del cultivo. Año 2. Fuente: Estación meteorológica automática. Sombrerito. E. E.A. Corrientes. <http://siga.inta.gob.ar>.

Durante el periodo de estudio la temperatura máxima alcanzada fue de 36.7 °C, la mínima de 18.6 °C y una temperatura media de 27.65 °C. La humedad relativa ambiente porcentual presentó un máximo de 95 y un mínimo de 43 durante la etapa de anegamiento del cultivo.

5.2.2. Características edáficas del suelo

Se trabajó sobre el mismo suelo del primer año de estudio (Año 1), un suelo del tipo Argiudol ácuico, franco fino mixto.

5.2.3. Regresión lineal. Cálculo de la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$.

En las figuras 5-10 a 5- , se representan la relación entre la concentración de CH_4 en ppm(v) versus el intervalo de tiempo durante el cual se tomaron las muestras.

Se tomaron valores promedio de cada tiempo de medición, de las repeticiones realizadas (tres en total), y se representaron aquellos valores de mejor ajuste. La tasa de cambio o incremento del flujo diario de CH_4 , se obtuvo gráficamente en unidades de $[\mu\text{l}/\text{l. min}]$.

Cada figura corresponde a las mediciones realizadas en las semanas siguientes al inicio de riego que corresponden al día después de emergencia (DDE) respectivo al estadio fenológico del cultivo.

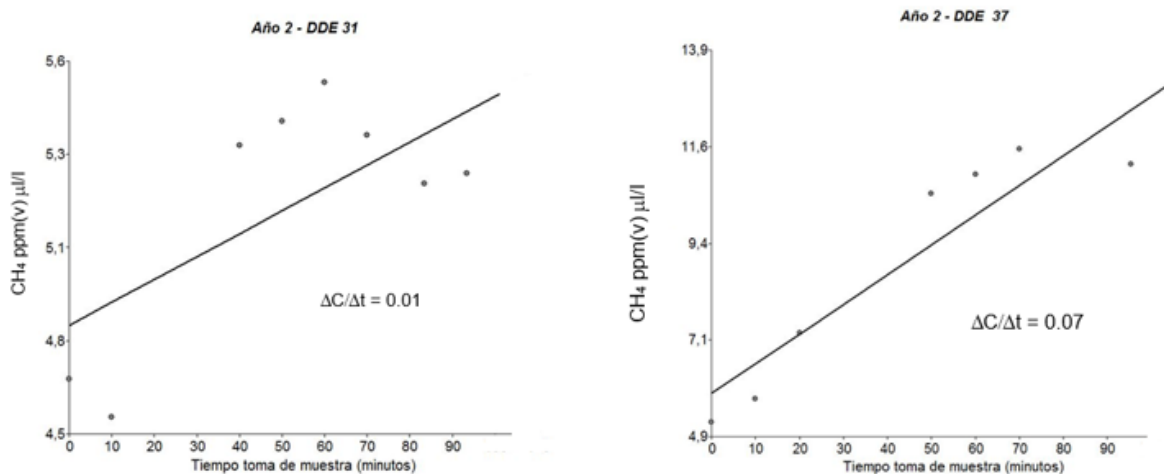


Figura 5-10: Curvas de regresión lineal para DDE 31 y 37. La tasa de cambio diario de la concentración de CH_4 ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l}/\text{l}$) de CH_4/min .

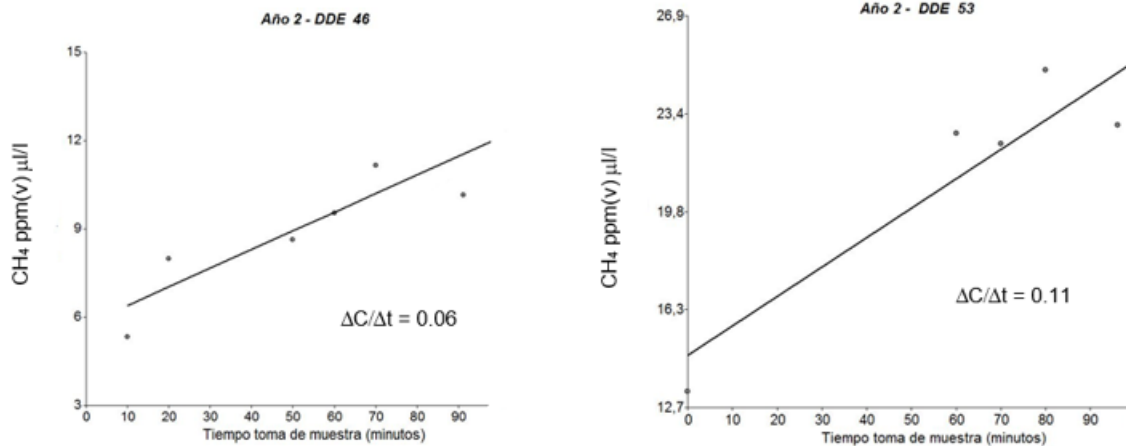


Figura 5-11: Curvas de regresión lineal para DDE 46 y 53. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min.

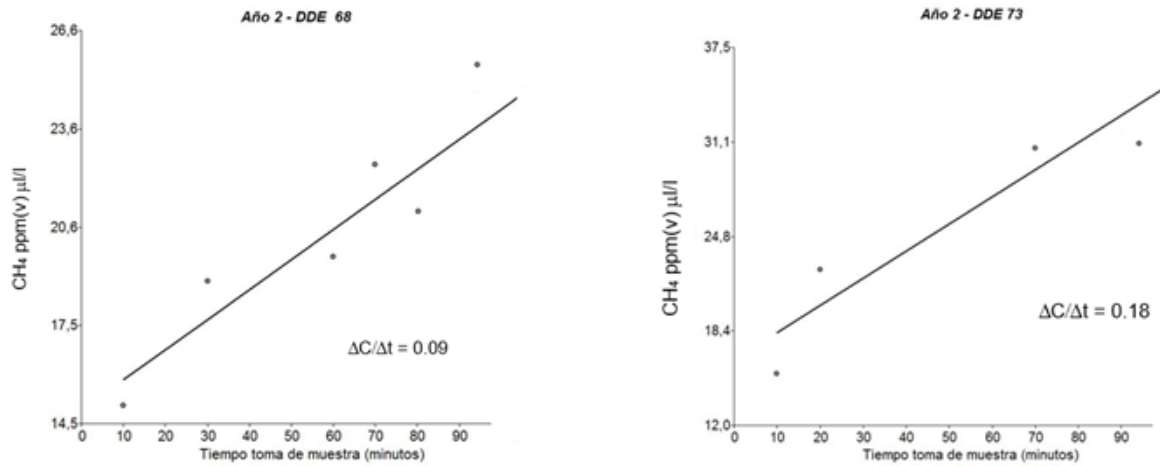


Figura 5-12: Curvas de regresión lineal para DDE 68 y 73. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min.

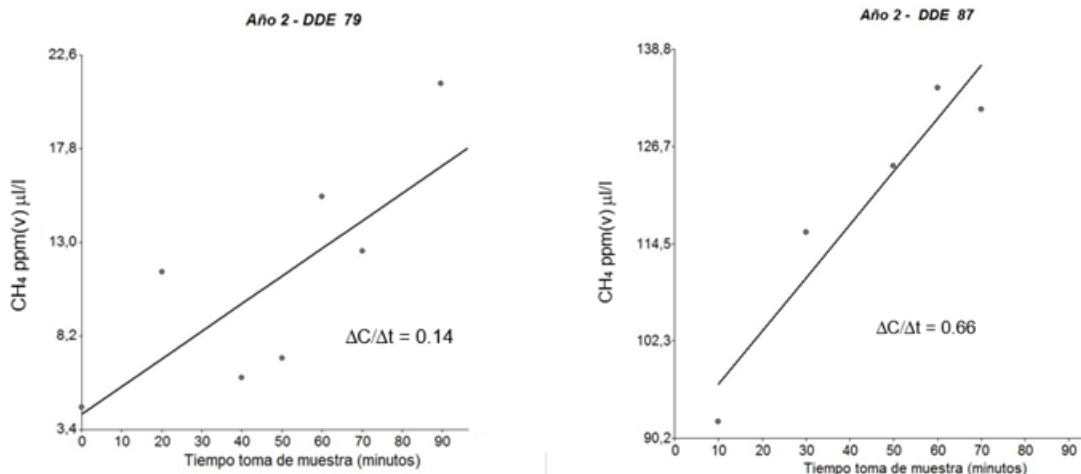


Figura 5-13: Curvas de regresión lineal para DDE 79 y 87. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min.

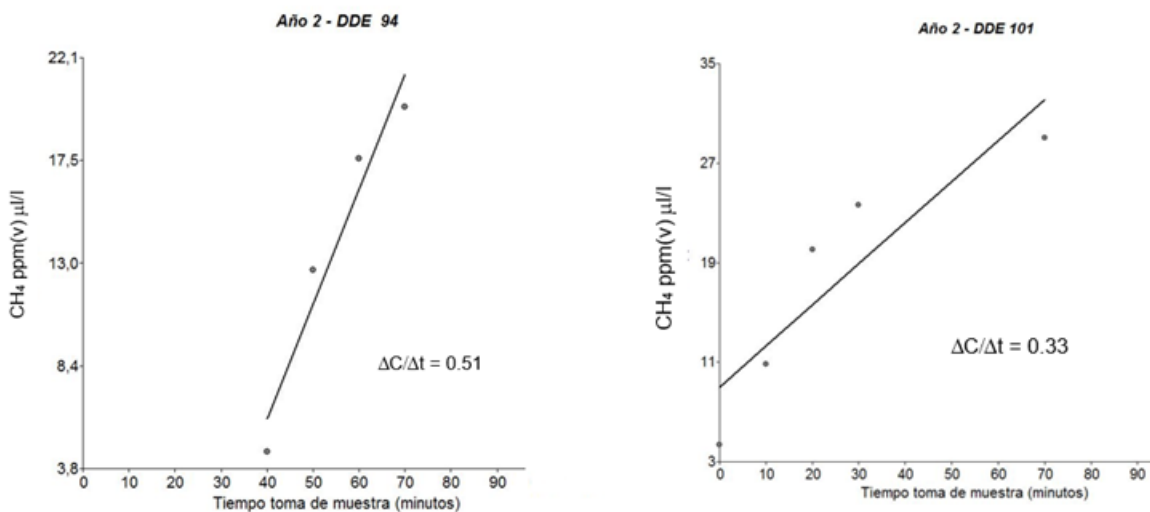


Figura 5-14: Curvas de regresión lineal para DDE 94 y 101. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min.

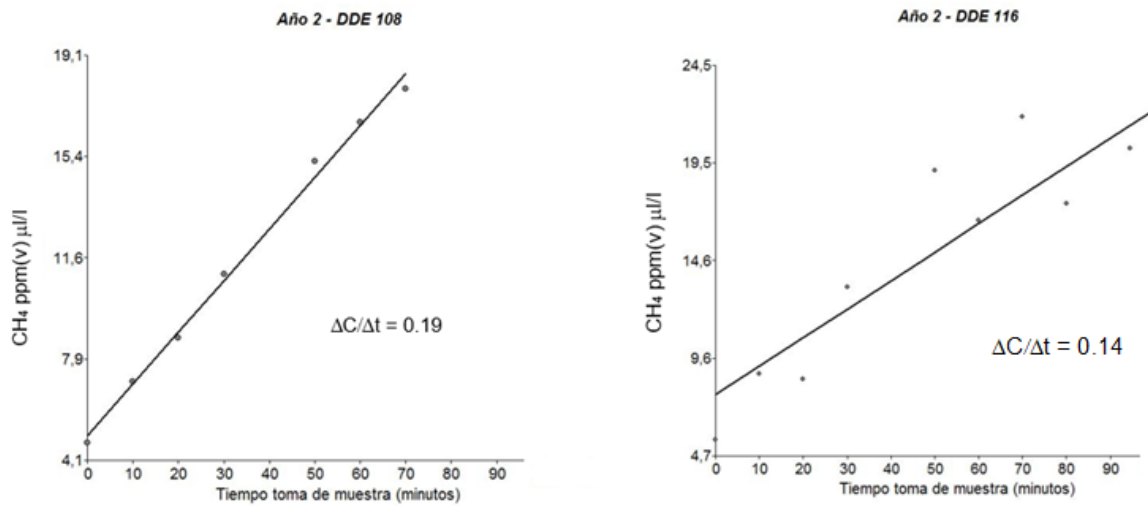


Figura 5-15: Curvas de regresión lineal para DDE 108 y 116. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 90 minutos de muestreo como la pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min.

Se realizó un análisis de regresión lineal entre la tasa de emisión (valor de pendiente) y la etapa fenológica (DDE) en la cual se realizaron las medidas de concentración, para evaluar el efecto entre ambas variables. En la tabla 5-6, se presentan los coeficientes de regresión y estadísticos asociados a las variables analizadas.

Tabla 5-6: Parámetros estadísticos asociados a las curvas de regresión lineal para cada etapa fenológica del ciclo (en DDE) analizada.

DDE	Concentración	Pendiente	<i>p</i> -valor	Bondad
			pendiente	de ajuste r^2
31	CH ₄ ppm(v)	0,010	0,048	0,5
37	CH ₄ ppm(v)	0,070	0,002	0,87
46	CH ₄ ppm(v)	0,060	0,004	0,89
53	CH ₄ ppm(v)	0,110	0,027	0,85
68	CH ₄ ppm(v)	0,090	0,004	0,9
73	CH ₄ ppm(v)	0,180	0,036	0,93
79	CH ₄ ppm(v)	0,140	0,019	0,7
87	CH ₄ ppm(v)	0,660	0,012	0,91
94	CH ₄ ppm(v)	0,510	0,031	0,94
101	CH ₄ ppm(v)	0,330	0,038	0,81
108	CH ₄ ppm(v)	0,190	< 0,0001	0,99
116	CH ₄ ppm(v)	0,140	0,0008	0,82

El *p*-valor < 0.05 indica que la concentración de CH₄ presenta una relación lineal con el tiempo de medición cuyo valor de pendiente es estadísticamente representativo durante los 90 minutos diarios en que se realizaron las mediciones. El valor de R² de la curva de regresión es la bondad de ajuste informada para el conjunto de datos.

Se realizó una estadística descriptiva entre las variables cuyo efecto se analizó. En la tabla 5-7, se muestran las medidas de resumen que describe el comportamiento entre las mismas.

Tabla 5-7: Resumen de los parámetros estadísticos que describen las curvas de regresión lineal obtenidas para cada etapa fenológica analizada durante el ciclo del cultivo (DDE).

DDE	Concentración	n	Media	Pendiente	D.E	E.E	CV	MAD
31	CH ₄ ppm(v)	8	5,20	0,010	0,36	0,13	6,93	0,06
37	CH ₄ ppm(v)	7	9,05	0,070	2,89	1,09	31,90	1,43
46	CH ₄ ppm(v)	6	9,14	0,060	2,44	0,99	26,64	1,59
53	CH ₄ ppm(v)	5	21,44	0,110	4,68	2,09	21,84	1,34
68	CH ₄ ppm(v)	6	20,79	0,090	3,78	1,54	18,20	1,87
73	CH ₄ ppm(v)	4	26,05	0,180	8,83	4,42	33,91	6,49
79	CH ₄ ppm(v)	7	11,27	0,140	6,02	2,28	53,44	4,42
87	CH ₄ ppm(v)	5	119,54	0,660	16,76	7,50	14,03	8,31
94	CH ₄ ppm(v)	4	13,70	0,510	6,79	3,40	49,58	3,63
101	CH ₄ ppm(v)	5	17,58	0,330	9,92	4,44	56,43	8,98
108	CH ₄ ppm(v)	7	11,60	0,190	5,07	1,92	43,69	4,18
116	CH ₄ ppm(v)	9	15,02	0,140	6,20	2,07	41,27	5,26

D.E: desvío estándar; E.E Error estándar; CV: coeficiente de variación y MAD: desviación media absoluta.

Se observa una gran dispersión de los datos, en la etapa inicial de macollaje correspondiente a los 37 y 46 DDE y luego en etapa de floración entre 73 y 79 DDE, estos altos valores de dispersión se atribuyen al efecto de pérdida de muestra, por presentar los viales un mal sellado. También se tuvo en cuenta que, a diferencia del año 1, los valores de emisión bajaron, siendo que las condiciones ambientales y de manejo fueron similares, por estas razones se atribuyen los bajos valores al efecto de pérdida de muestra.

5.2.4. Cálculo del flujo de CH₄. Factor de emisión estacional [kg CH₄/ha. día].

Multiplicando la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$ obtenida por la relación entre el volumen de la cámara y el área ocupada por la misma, V/A , se obtuvo el flujo volumétrico [$\mu\text{l}/\text{m}^2.\text{min}$]. Realizando las conversiones necesarias y con la fórmula de cálculo de flujo ajustada se determinó el flujo másico de CH₄ expresado en kg CH₄/ha. día. En la tabla 5-8, se presentan los valores de flujo medio diario.

Tabla 5-8: Parámetros utilizados para el cálculo de flujo medio diario.

DDE	$\Delta C/\Delta t$	Tº media de cámara	Flujo medio diario kg CH ₄ /ha.día
31	0,010	20,9	0,030
37	0,070	26,9	0,209
46	0,060	26,93	0,179
53	0,110	31,86	0,323
68	0,090	31,18	0,265
73	0,180	29,94	0,531
79	0,140	29,84	0,413
87	0,660	28,73	1,956
94	0,510	27,36	1,518
101	0,330	31,65	0,968
108	0,190	30,59	0,560
116	0,140	31,38	0,411

El flujo promedio diario arroja un valor de **0.614 kg CH₄ /ha. día**. Este flujo promedio representa el factor de flujo estacional de CH₄ de la campaña arrocerca evaluada.

En la figura 5-16, se representan los flujos medios de cada etapa fenológica evaluada, los máximos de emisión se observan entre los 87 y 94 DDE, que coinciden con la etapa de floración del cultivo.

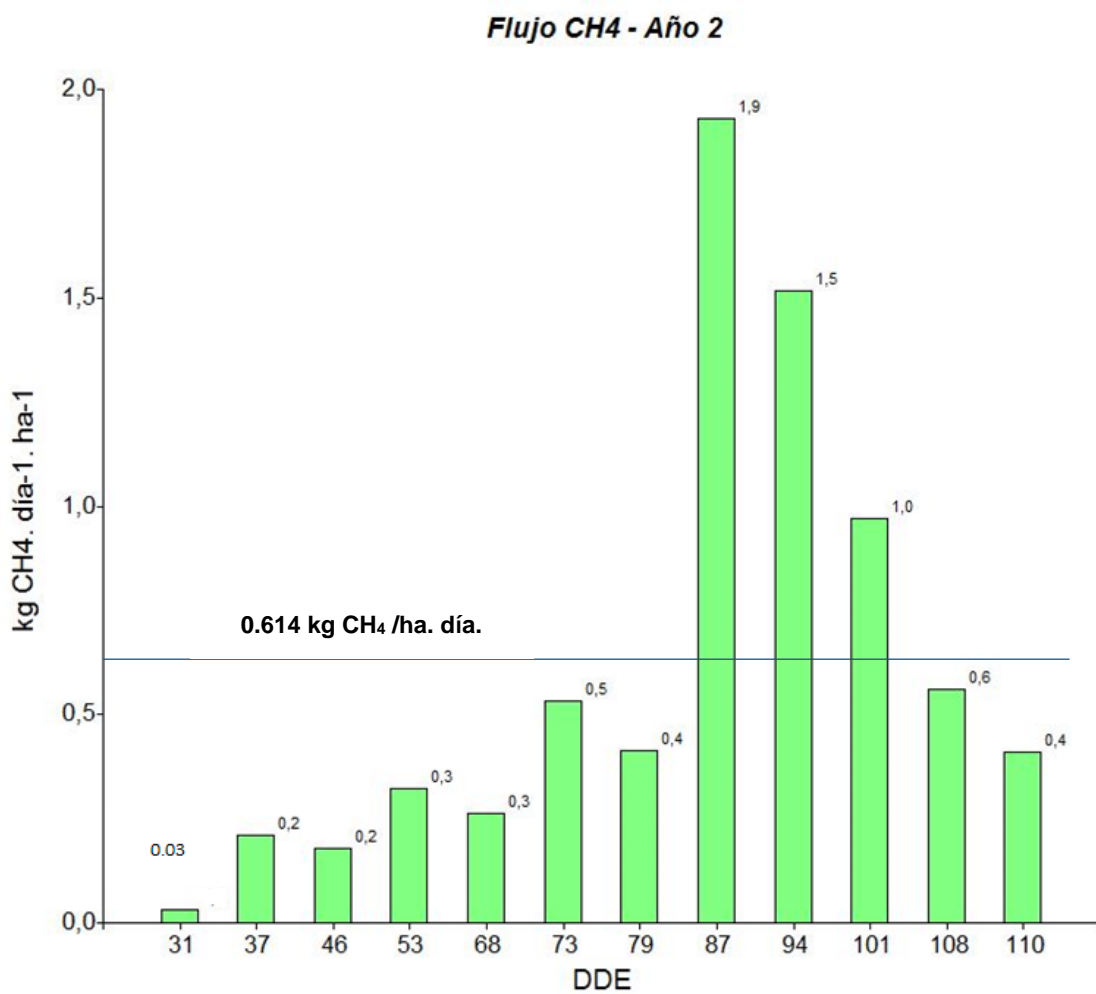


Figura 5-16: Flujo medio diario de CH₄ [kg/ha. día], cuantificados durante los días después de la emergencia (DDE).

5.3. AÑO 3.

5.3.1. Datos climáticos.

Las temperaturas máxima, mínima y media, como también la humedad relativa porcentual, que fueron registradas durante la etapa de anegamiento del cultivo, se presentan en la figura 5-17.

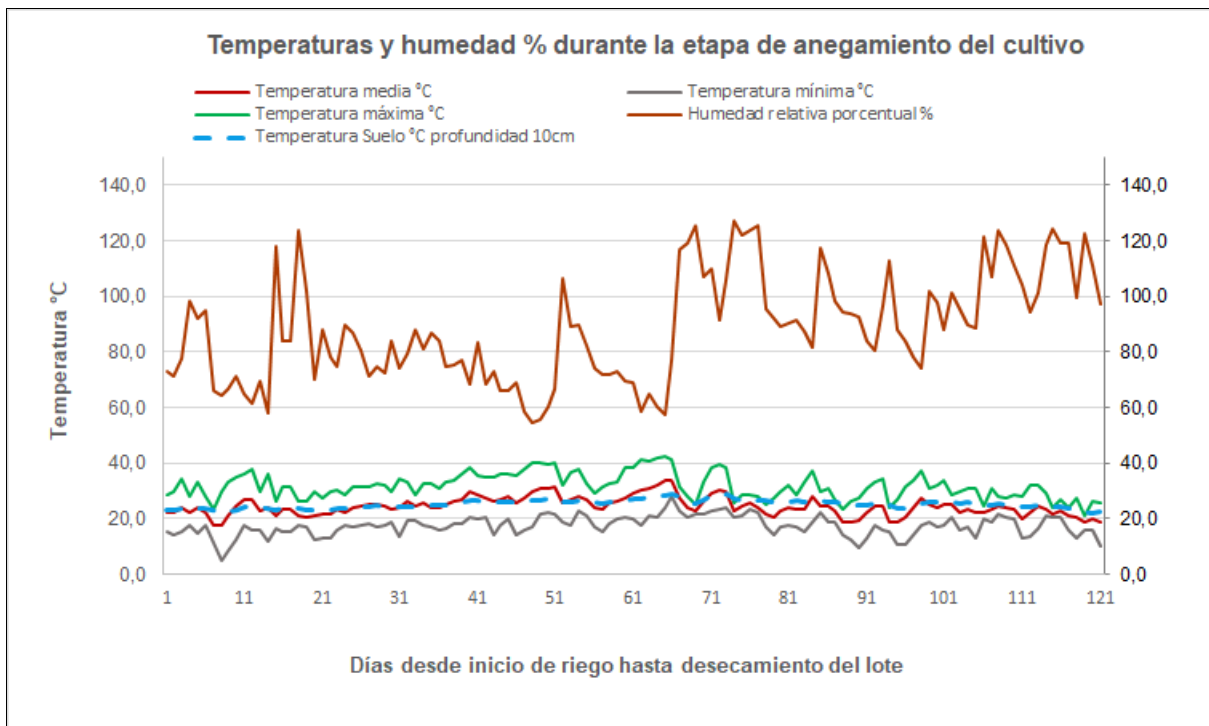


Figura 5-17: variables ambientales durante la etapa de anegamiento del cultivo. Año 3. Fuente: Concepción – E.E.A. Concepción del Uruguay. Entre Ríos. <http://siga.inta.gob.ar>.

Durante el periodo de estudio la temperatura máxima alcanzada fue de 42.5 °C, la mínima de 24.2 °C y una temperatura media de 33.8 °C. La humedad relativa ambiente porcentual presentó un máximo de 100 y un mínimo de 28 durante la etapa de anegamiento del cultivo.

5.3.2. Características edáficas del suelo

Se trabajó sobre la serie de suelos Bouchel, de textura franca, mixta, térmica de los Albacualfes vérticos. Son suelos profundos compuesto por una mezcla de aluviones antiguos sobre limos, e imperfectamente drenados. En la tabla 5-9, se expone la

composición porcentual de las diferentes fracciones de los componentes de suelo sobre el cual se realizaron los estudios de acuerdo a la Carta de Suelos de la provincia de Entre Ríos.

Tabla 5-9: Textura y composición del suelo hasta 30 cm de profundidad

Horizonte / Profundidad	Textura	Arcilla % (<0,002 mm)	Limo % (0,002-0,02 mm)	Arena MF % (0,05-0,10 mm)	Arena ME % (0,1-0,50 mm)	Arena GR % (0,50-1,00 mm)
A11- 0-7cm	Franco arenoso, ligeramente adhesivo y plástico	11,9	10,9	1,6	24	40,9
A12- 7-30 cm	Franco arenoso, ligeramente adhesivo y plástico	9,3	8,8	1,6	24,7	42,8

Las condiciones de fertilidad del suelo bajo cultivo de arroz, se presentan en la tabla 5-10.

Tabla 5-10: fertilidad del suelo hasta 30 cm de profundidad

Horizonte / Profundidad	CIC (m.e/100g)	pH/agua	MO %	C (%)	N (%)	C/N	Equiv.de humedad (%)
A11- 0-7cm	14,9	5	4,76	2,77	0,276	10	14,3
A12- 7-30 cm	14,2	4,6	2,84	1,57	0,164	10	10,3

5.3.3. Regresión lineal. Cálculo de la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$.

En las figuras 5-18 a 5-31, se representan la relación entre la concentración de CH₄ en ppm(v) versus el intervalo de tiempo durante el cual se tomaron las muestras.

Se tomaron valores promedio de cada tiempo de medición, de las repeticiones realizadas (tres en total), y se representaron aquellos valores de mejor ajuste. La tasa de cambio o incremento del flujo diario de CH₄, se obtuvo gráficamente en unidades de [μl/l. min].

Cada figura corresponde a las mediciones realizadas en las semanas siguientes al inicio de riego que corresponden al día después de emergencia (DDE) respectivo al estadio fenológico del cultivo.

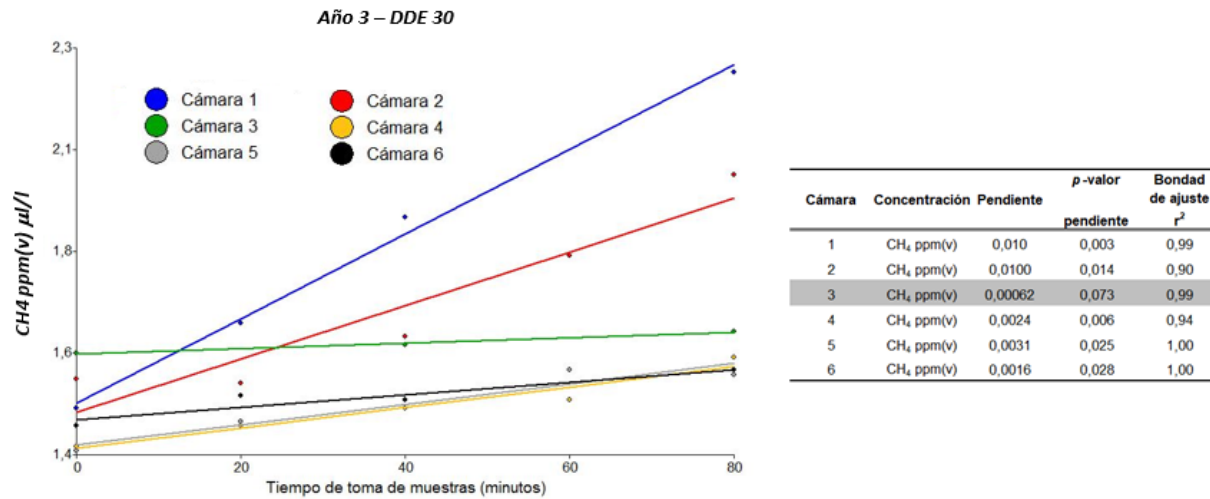


Figura 5-18: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 30. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

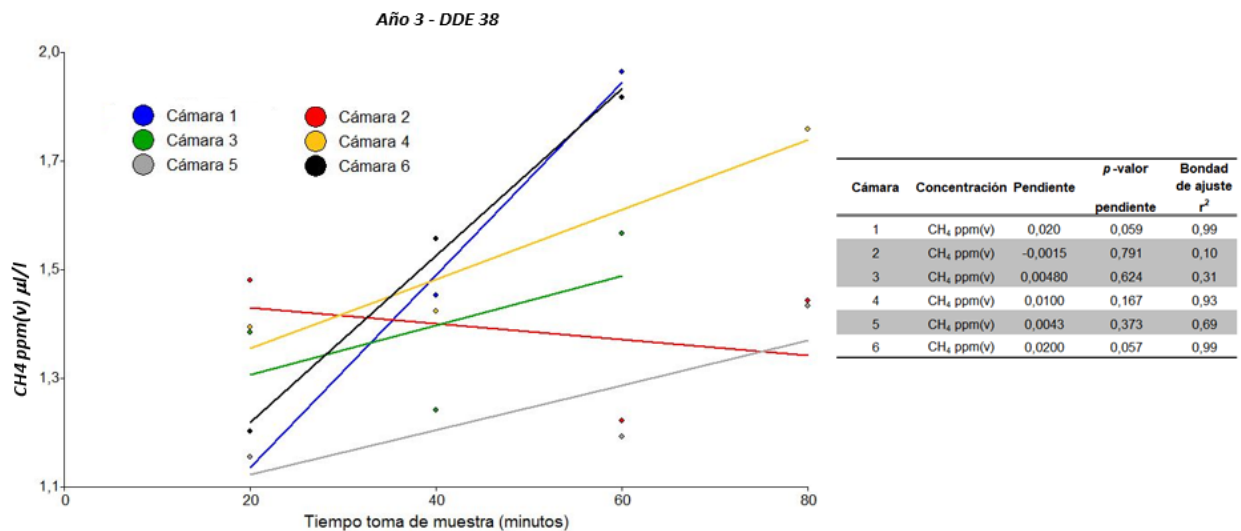


Figura 5-19: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 38. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

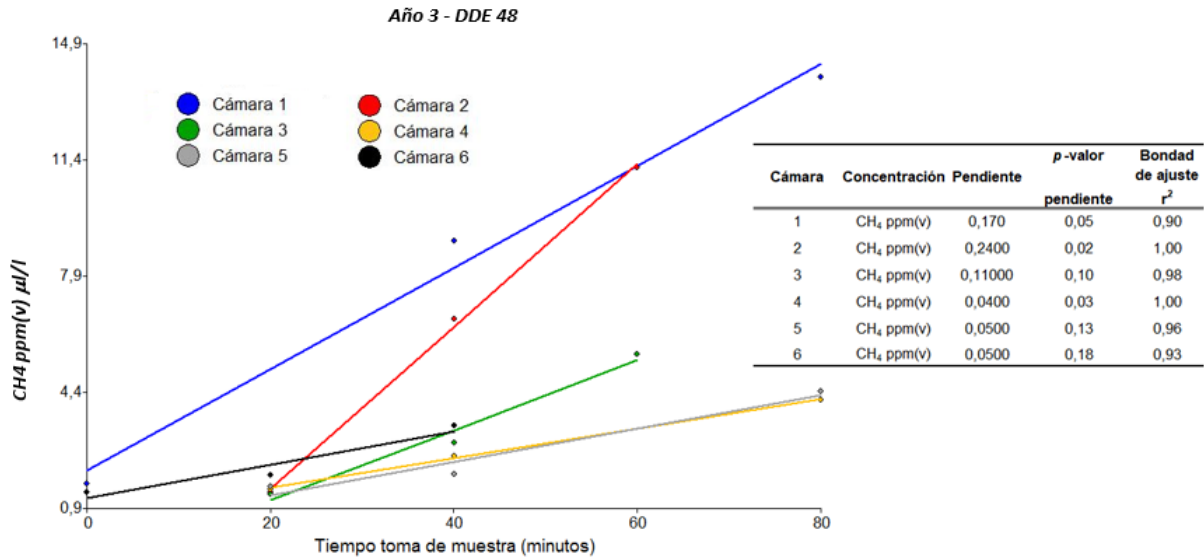


Figura 5-20: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 48. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

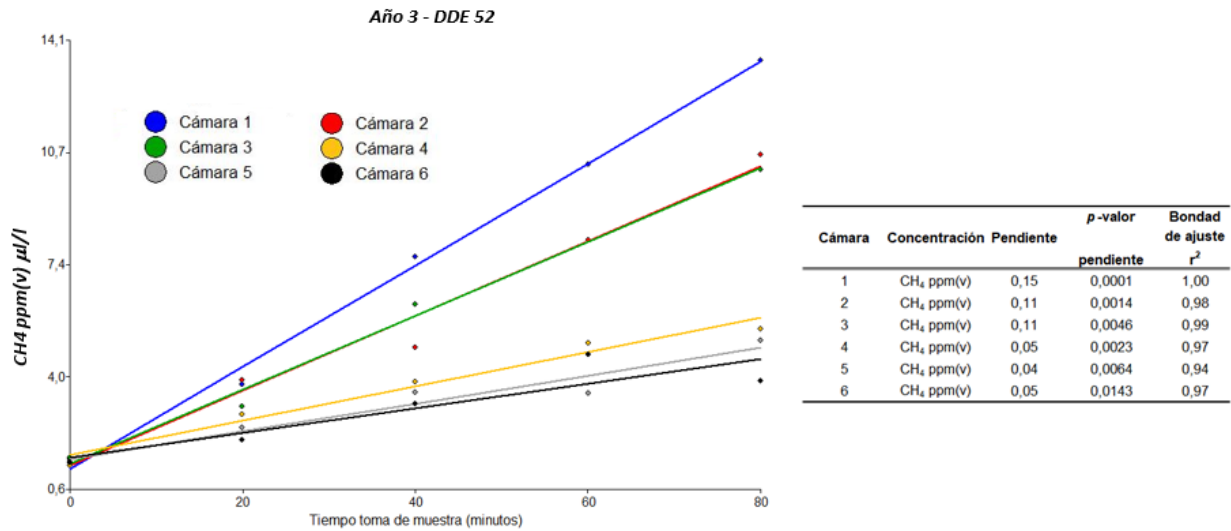


Figura 5-21: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 52. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

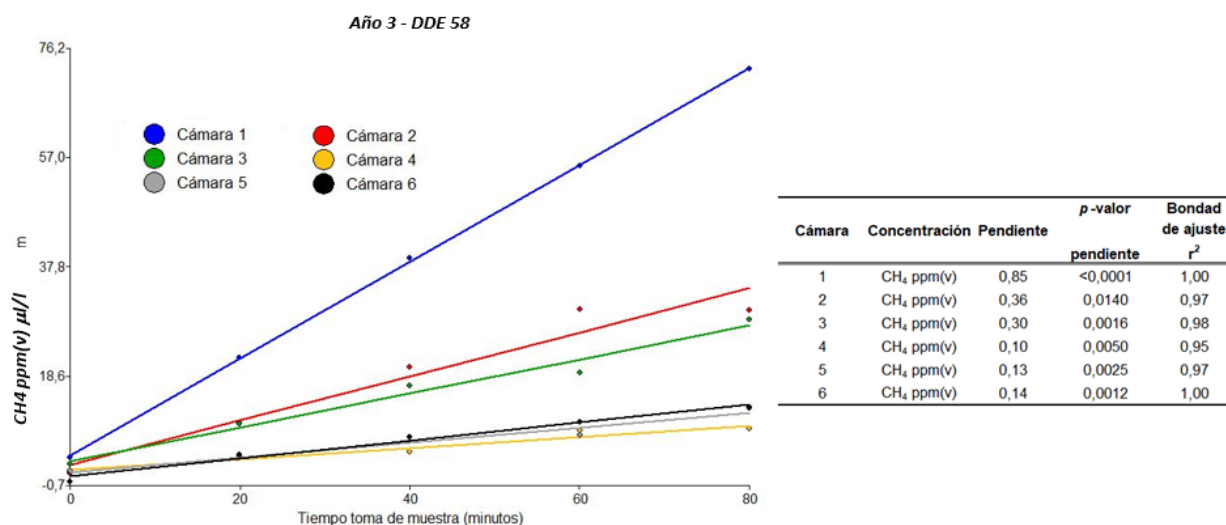


Figura 5-22: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 58. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r^2 .

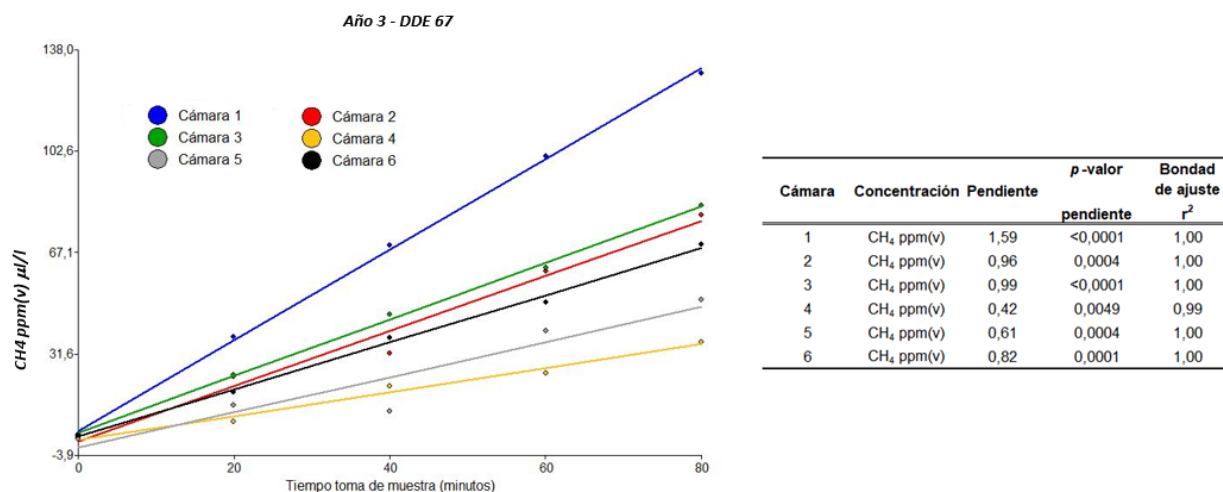


Figura 5-23: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 67. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r^2 .

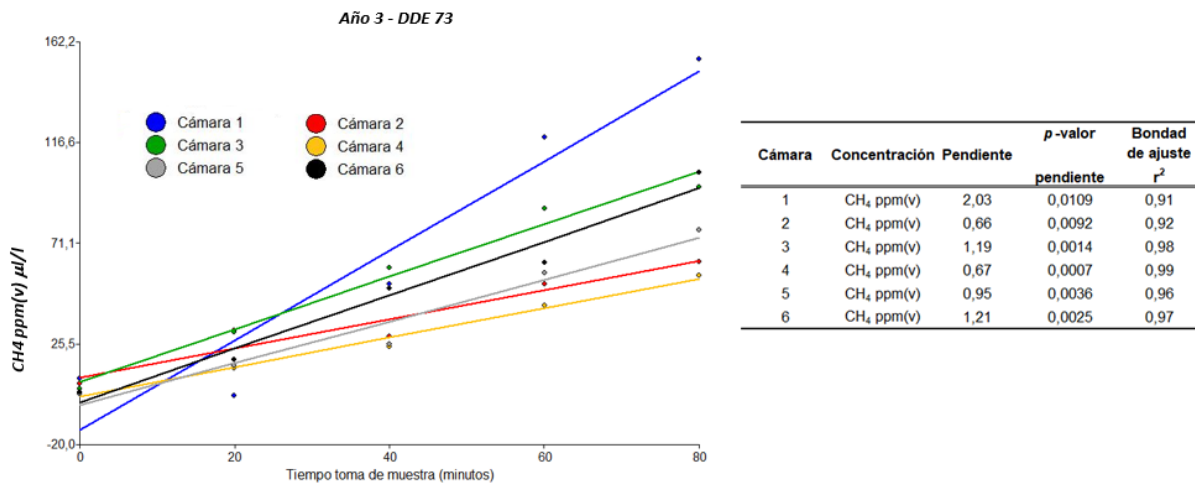


Figura 5-24: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 73. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

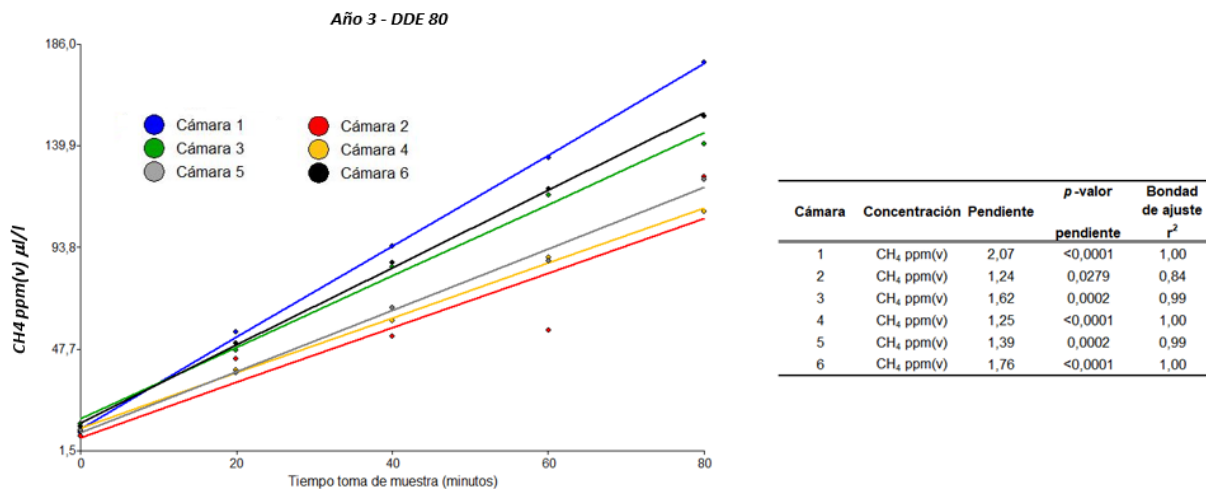


Figura 5-25: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 80. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

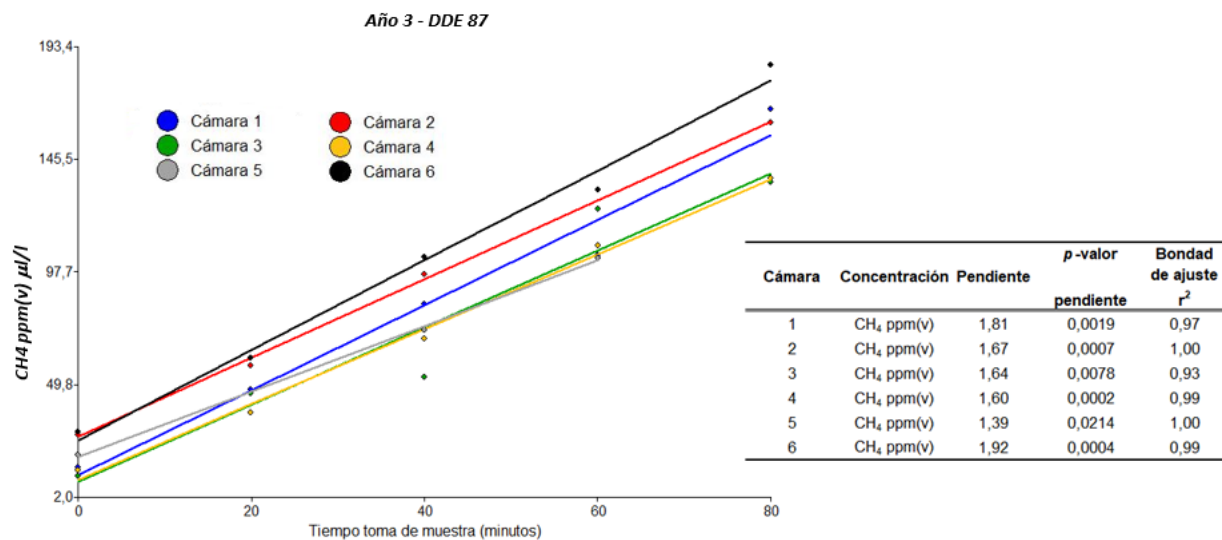


Figura 5-26: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 87. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

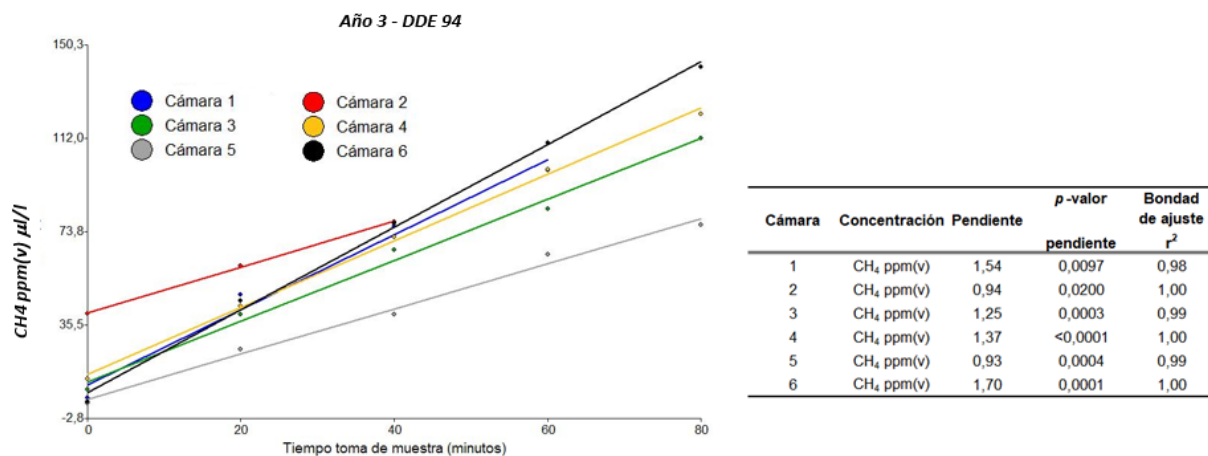


Figura 5-27: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 94. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

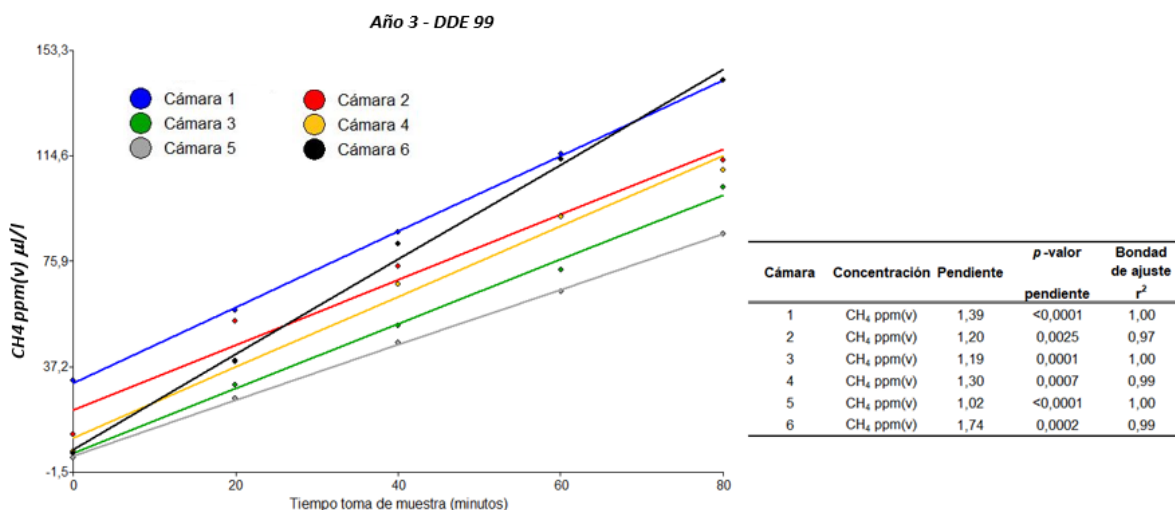


Figura 5-28: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 99. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r^2 .

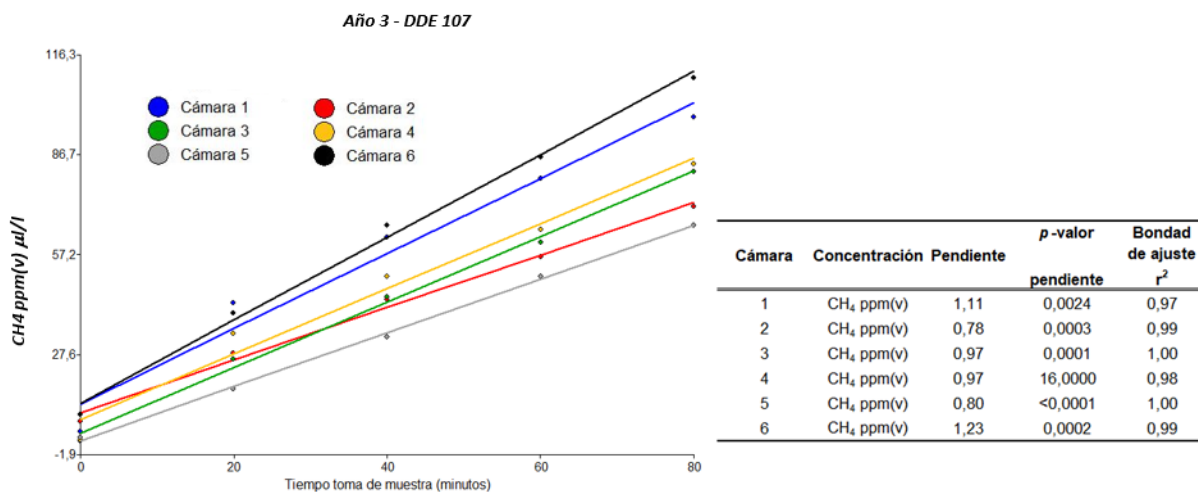


Figura 5-29: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 107. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r^2 .

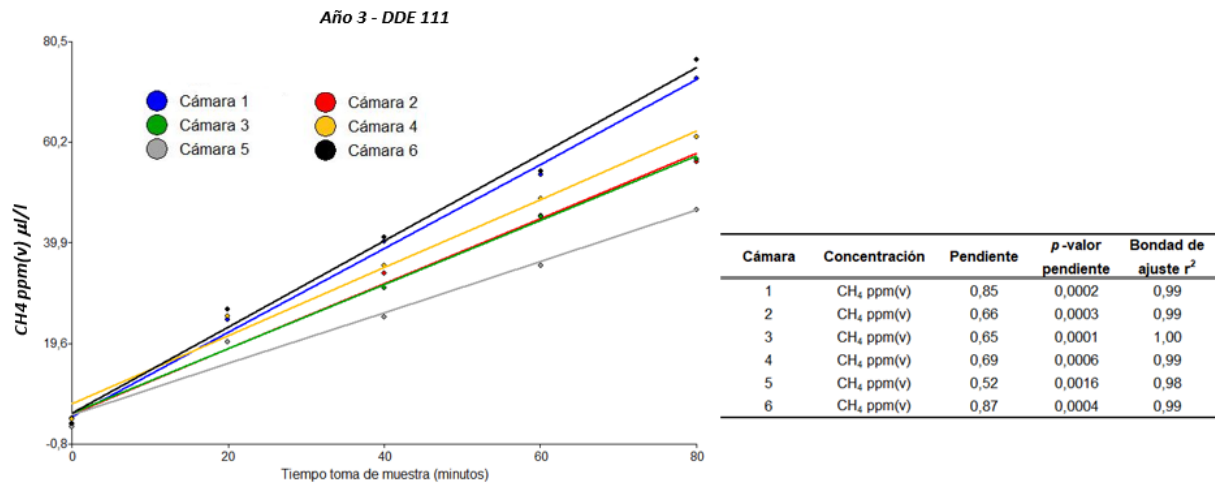


Figura 5-30: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 11. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

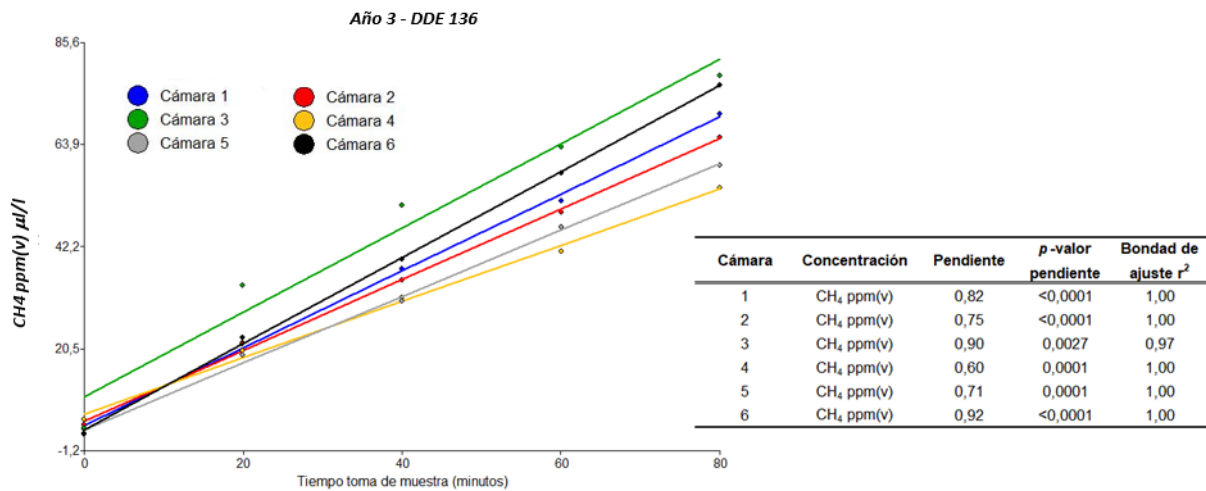


Figura 5-31: Curvas de regresión lineal de seis repeticiones para DDE 136. La tasa de cambio diario de la concentración de CH₄ ($\Delta C/\Delta t$) fue obtenida durante 80 minutos de muestreo como cada pendiente en unidades de ppm(v) ($\mu\text{l/l}$) de CH₄/min. Valores de pendiente y r².

Se realizó una estadística descriptiva para evaluar el efecto de la variable DDE con respecto al valor de flujo o emisión de CH₄. En la tabla 5-11, se muestran las medidas de resumen que describe el comportamiento entre las mismas. Se observan desvíos estándar (D.E) bajos en relación al valor medio y un coeficiente de variación CV)

Tabla 5-11: Resumen de los parámetros estadísticos que describen las curvas de regresión lineal obtenidas para cada etapa fenológica analizada durante el ciclo del cultivo (DDE).

DDE	Flujo	n	Media	Pendiente	D.E	CV
30	kg/ha. día	5	0,02	0,01	0,01	79,44
38	kg/ha. día	3	0,05	0,02	0,02	34,64
48	kg/ha. día	6	0,31	0,11	0,23	73,49
52	kg/ha. día	6	0,24	0,09	0,13	52,71
58	kg/ha. día	6	0,90	0,31	0,81	90,40
67	kg/ha. día	6	2,52	0,90	1,14	44,98
73	kg/ha. día	6	3,12	1,12	1,42	45,60
80	kg/ha. día	6	4,39	1,56	0,93	21,09
87	kg/ha. día	6	4,68	1,67	0,52	11,11
94	kg/ha. día	6	3,73	1,29	0,91	24,45
99	kg/ha. día	6	3,72	1,31	0,71	19,02
107	kg/ha. día	6	2,81	0,98	0,50	17,95
111	kg/ha. día	6	2,04	0,71	0,38	18,82
136	kg/ha. día	6	2,22	0,78	0,35	15,65

5.2.4. Cálculo del flujo de CH₄. Factor de emisión estacional [kg CH₄/ha. día].

Multiplicando la tasa de emisión $\Delta C/\Delta t$ obtenida por la relación entre el volumen de la cámara y el área ocupada por la misma, V/A , se obtuvo el flujo volumétrico [$\mu\text{l}/\text{m}^2.\text{min}$]. Realizando las conversiones necesarias y con la fórmula de cálculo de flujo ajustada se determinó el flujo másico de CH₄ expresado en kg CH₄/ha. día. En la tabla 5-12, se presentan la tasa de cambio promedio de las seis repeticiones obtenida en cada etapa fenológica (DDE), las temperaturas medias del interior de las cámaras (°C) y el flujo medio diario obtenido, utilizando estos parámetros para su cálculo. Se elaboró una gráfica que muestra como incide el estadio fenológico (DDE) del cultivo en el flujo medio diario. (figura 5-32).

Tabla 5-12: Parámetros medios semanales, correspondientes a las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

DDE	$\Delta C/\Delta t$	Tº media	Flujo medio
		de cámara	diario kg CH ₄ /ha.día
30	0,01	29,21	0,015
38	0,02	21,63	0,047
48	0,11	27,07	0,310
52	0,09	27,71	0,239
58	0,31	26,3	0,877
67	0,90	32,27	2,506
73	1,12	34,02	3,110
80	1,56	30,47	4,310
87	1,67	33,03	4,618
94	1,29	23,29	3,548
99	1,31	28,5	3,587
107	0,98	25,11	2,672
111	0,71	23,82	1,927
136	0,78	29,59	2,130

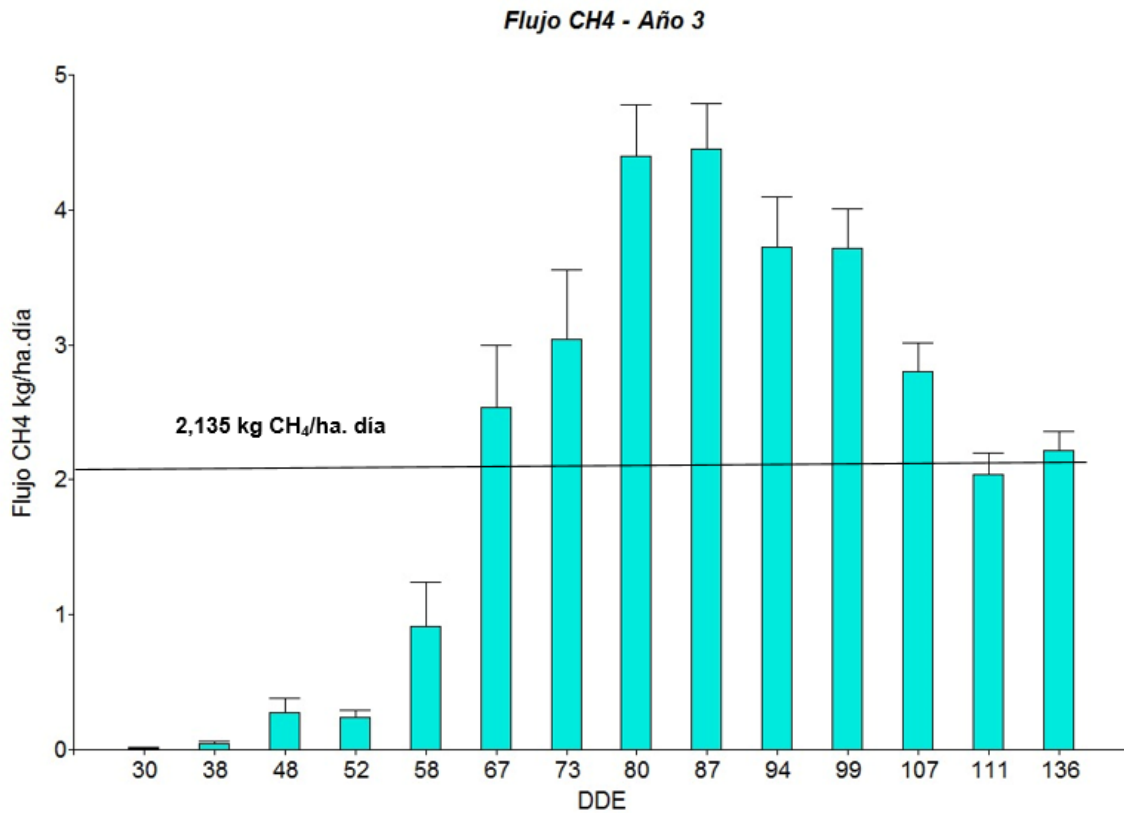


Figura 5-32: Correspondencia entre los DDE y el flujo obtenido.

El flujo promedio diario arroja un valor de **2.135 kg CH₄ /ha. día**. Este flujo promedio representa el factor de flujo estacional de CH₄ de la campaña arrocera evaluada.

Los máximos de emisión se observan entre los 73 y 94 DDE, que coinciden con la etapa reproductiva del cultivo en estado de floración.

En la figura 5-33, se representa mediante un modelo de cajas, los valores de flujo medio de cada repetición y los puntos outliers.

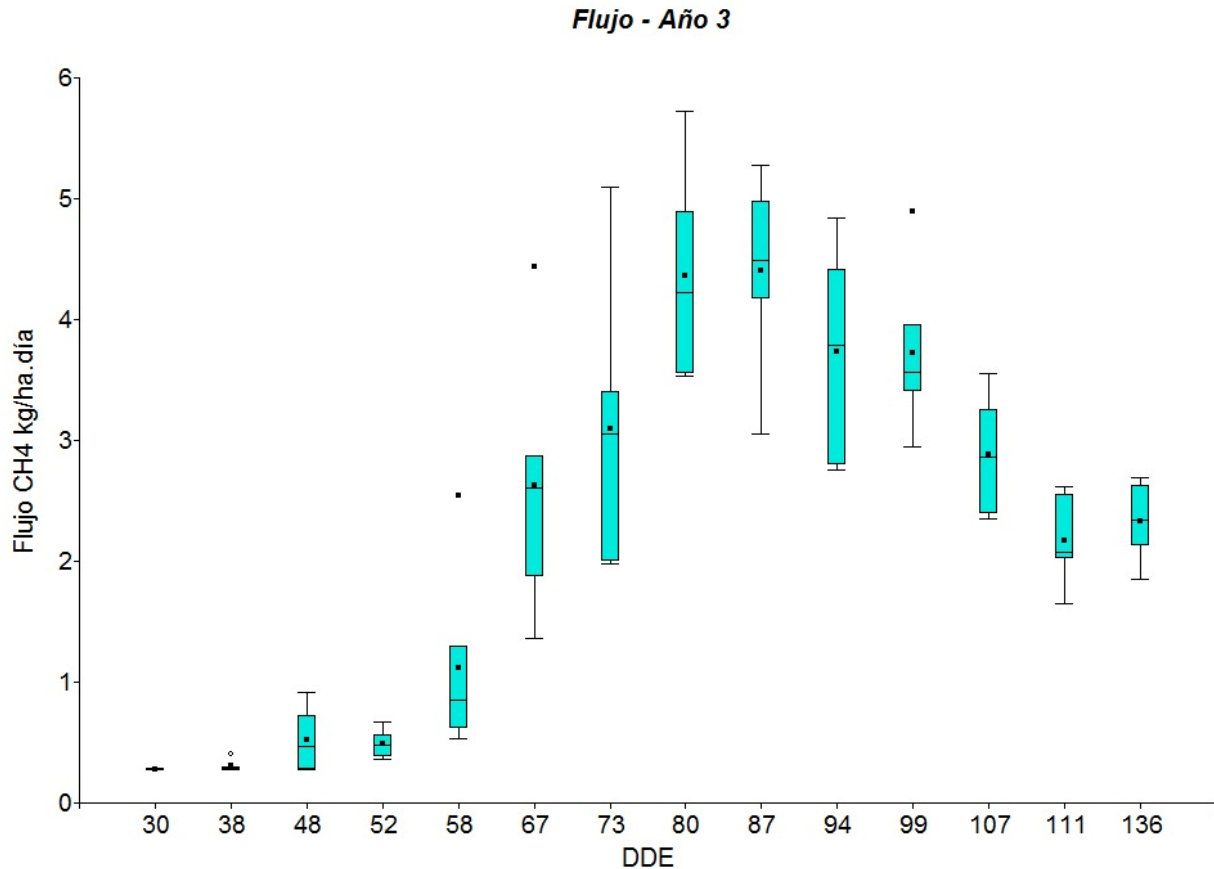


Figura 5-33: Flujo medio diario de CH₄ [kg/ha. día], cuantificados durante los días después de la emergencia (DDE).

5.4. Discusión de resultados

Se pudo observar que los máximos de emisión de CH₄ obtenidos durante los tres años de estudio ocurrieron durante la etapa reproductiva. Al inicio de esta fase se comienza a formar la panícula que posteriormente dará lugar a las panojas que alojan las vainas para la formación del grano de arroz. La etapa reproductiva se da entre los 45 a 100 días DDE, en la cual la planta exuda compuestos orgánicos, acompañado de la descomposición de las raíces (Waschütza et al., 1992). Kerdchoechuen (2005), propone que la composición de estos exudados puede variar en función del estado fenológico de la planta incidiendo en la producción de CH₄ diferencialmente, dado que la adición al suelo de sustrato orgánico, favorece la fermentación anaeróbica por parte de las bacterias metanógenas.

Los microorganismos metanogénicos tienen mejores condiciones de crecimiento y desarrollo de su actividad entre 30 y 35°C (Chernicharo, 2007). Durante la etapa de medición, se alcanzaron las temperaturas máximas de 38.7°C, 36,7°C y 42.5 °C para los años 1, 2 y 3 respectivamente.

La diferencia encontrada entre los factores de emisión, calculados en los diferentes años, se atribuye a los potenciales problemas que surgieron al implementar como metodología de medición la técnica de cámara cerrada. Estos problemas, que fueron surgiendo durante los años de medición, pudieron disminuirse al mejorar los insumos utilizados para la toma de muestra como la adopción de equipamiento con mejor tecnología de análisis cromatográfico.

Los valores obtenidos para los años de estudio fueron los siguientes:

Año 1: 1,523 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹

Año 2: 0,614 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹

Año 3: 2,135 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹

En base a los parámetros estadísticos de mejor ajuste, se obtuvieron mejores resultados en las tasas de emisión, durante el año 3; por lo tanto, se adopta como factor de emisión estacional el valor resultante del año 3.

En el año 2019 se publica un Refinamiento a la Directrices del IPCC de 2006 para la realización de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>); en el cual se actualiza y ajusta el factor básico y por defecto de emisión de CH₄ para el cultivo de arroz irrigado bajo riego continuo, sin abonos orgánicos al valor de 1,48 kg CH₄/ha. día, con un rango de error de 0,80 – 2,20 (Yan *et al.*, 2005).

La incertidumbre asociada a los factores de emisión y de ajuste se puede ver influenciada por la variabilidad natural, como la del clima y la que se produce dentro de unidades que se suponen homogéneas, como la variabilidad espacial en una unidad de campo o de suelo (IPCC,2019).

En los primeros años de evaluación 1 y 2, las muestras fueron por procesadas por cromatografía de inyección manual, en cambio se logró un mejor ajuste al utilizar un equipo de inyección automática, más allá del cambio en los viales para coleccionar las muestras.

De acuerdo al protocolo de la USDA-GRACE-Net, la implementación de la técnica de cámara cerrada acarrea una serie de problemas potenciales que surgieron en los primeros años y que pudieron minimizarse en el último año de estudio.

El quinto informe de evaluación del IPCC incluye la oxidación del CH₄ como un efecto indirecto adicional en los valores del potencial de calentamiento global (GWP) y el potencial de temperatura global (GTP) para el CH₄, y discrimina su GWP en cuanto a su fuente de emisión: biogénica o fósil. Para el CH₄ biogénico (proveniente de la descomposición de materia orgánica, de los suelos anegados), se toma como GWP el valor de 27,75 para equipar a la unidad de referencia utilizada que es kg CO₂ equivalente.

6) *CONCLUSIONES*

6. Conclusiones.

De acuerdo a la hipótesis planteada y objetivos propuestos podemos concluir que:

1. La incorporación del rastrojo de arroz al suelo (manejo que se implementa en el 50% de la producción arroceras a nivel nacional), durante la estación estival precedente, favorece la descomposición del mismo en los primeros 30 cm del horizonte del suelo, esta degradación de materia orgánica del remanente de la planta posterior a la cosecha *aporta nutrientes* al suelo en la capa superficial. Con este tipo de laboreo previo se llega al momento de la siembra con el suelo cubierto por tapiz vegetal. Nada podemos decir sobre si las emisiones de CH₄ con este tipo de manejo son menores a aquellas que derivan de un sistema de producción que deja el rastrojo en pie sin su incorporación, que se conoce como labranza cero o siembra directa; dado que es necesario medir las emisiones en ambos sistemas de manejo para poder compararlas.

2. La calibración del protocolo implementado a lo largo de los tres años de estudio, permitió minimizar los problemas que se fueron presentando en la práctica, al usar la técnica de cámara cerrada desarrollada. Con ello, se pudieron medir tasas de emisión de mejor ajuste para obtener un factor de emisión estacional de CH₄ del cultivo de arroz a nivel local.

3. Los valores de emisión obtenidos para los años de estudio fueron los siguientes:

Año 1: 1,523 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹.

Año 2: 0,614 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹.

Año 3: 2,135 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹.

El protocolo implementado en el año 3, dio mejores ajustes en las tasas de cambio de concentración de CH₄ en función del tiempo de medición, en comparación con los años anteriores, lo que permitió determinar con mayor certeza el factor de flujo estacional de nuestra región.

4. Se considera como factor de emisión estacional de CH₄ del cultivo de arroz continuamente irrigado y bajo un manejo agrícola de labranza reducida o anticipada, al calculado durante el tercer año de estudio, que arrojó un valor de 2,135 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹. No se considera un valor unívoco, ya que la cuantificación depende de factores ambientales y de la fisiología de la planta evaluada.

5. Siguiendo el protocolo calibrado para la cuantificación de CH₄ en el cultivo de arroz,

se propone continuar con los estudios durante varios años, lo que nos permitirá definir un valor promedio del factor de emisión estacional.

6. El parámetro que tiene mayor incidencia sobre la emisión de CH₄ es el estado fenológico de la planta. En base a los resultados obtenidos se observó que, durante los tres años de estudio, la mayor emisión (picos de emisión) se produce durante la etapa reproductiva del cultivo, etapa en la cual la planta exuda componentes orgánicos al suelo favoreciendo el sustrato para la generación de CH₄, por parte de las bacterias metanogénicas, lo que produce un aumento en la emisión de dicho gas.

7. Siguiendo los lineamientos propuestos por la USDA- ARS GRACE “net Project Protocols”, que relaciona el cambio de la concentración de los gases, emitidos desde una superficie, durante un período de tiempo determinado, dentro de un volumen de aire definido, se adecuo una fórmula para el cálculo de flujo de CH₄ en unidades de kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹.

8. El Cuarto informe bienal de la Argentina, presentado en el año 2022, pone en agenda la necesidad de desarrollar factores de emisión con datos locales (nivel metodológico 2 del IPCC, 2019) de fuentes identificadas como categorías principales, siendo una de ellas el cultivo de arroz.

9. El valor de 2,135 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹, considerado en el presente estudio como el factor de emisión a nivel local, difiere en un valor superior de 0,655 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹, con respecto al valor ajustado propuesto por el IPCC en su informe del año 2019, para cultivos de arroz con irrigación continua, siendo este un valor promedio de la información a campo disponible a nivel global, con un valor de 1,48 kg CH₄. ha⁻¹. día⁻¹.

10. 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 intensivo de la misma, pero a su vez la mayor producción no ha significado mayores niveles de emisiones.

11. Es importante considerar como medidas urgentes para la mitigación del efecto climático de las generaciones futuras, la protección de nuestros bosques nativos, la

implantación de árboles y la reforestación, dado que absorben y almacenan el CO₂, principal gas de efecto invernadero, de manera de contrarrestar el efecto climático adverso que ya se está manifestando a nivel global.

12. Ante los eventos climáticos extremos como olas de calor, sequías, lluvias intensas, deshielos, nevadas intensas y el drástico crecimiento poblacional a futuro pelagra la producción de alimentos a nivel mundial, dado que estos eventos tienen un impacto directo sobre la producción agrícola y pecuaria.

13. Las preocupaciones sobre el cambio climático no son menores y las medidas de mitigación deben ser inmediatas.

7)REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. Referencias bibliográficas

ACPA y Bolsa de Cereales de Entre Ríos, 2018/2019. Recuperada de: www.acpaarrozcorrientes.org.ar. Fecha: junio de 2022.

Altor, A. E. & Mitsch, W. J. (2006). Methane flux from created riparian marshes: relationship to intermittent versus continuous inundation and emergent macrophytes. *Ecological Engineering*. Volume 28, Issue 3, Pages 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.06.006>

Aselmann, I., & Crutzen, P. J. (1989). Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions. *Journal of Atmospheric chemistry*, 8, 307-358. <https://doi.org/10.1007/BF00052709>

Bergman, I., Klarqvist, M., & Nilsson, M. (2000). Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: effects of temperature and substrate quality. *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 33, Issue 3, Pages 181–189. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2000.tb00740.x>

Bodelier, P. L. (2011). Interactions between nitrogenous fertilizers and methane cycling in wetland and upland soils. *Current opinion in environmental sustainability*, Volume 3, Issue 5, Pages 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.06.002>

Boeckx, P., Van Cleemput, O. & Villaralvo, I. (1997). Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 91–95. <https://doi.org/10.1023/A:1009706324386>

Bolsa de Comercio de Rosario. 2022. Dirección de informaciones y estudios económicos. Informativo semanal. ISSN 2796-7824.

Borrajo, C. I., Barbera, P., Bendersky, D., Pizzio, R., Ramírez M., Maidana, C., Zapata, P., Ramírez, R., Fernández, J.R. 2011. Verdeos de invierno en Corrientes. Estación Experimental Agropecuaria Mercedes, Corrientes. Serie Técnica N° 49.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp_inta_verdeos_serie_tcnica_n_49_parte_1.pdf

Brooks, P. D., Herman, D. J., Atkins, G. J., Prosser, S. J., & Barrie, A. (1993). Rapid, isotopic analysis of selected soil gases at atmospheric concentrations. *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*, 55, 193-202.
<https://doi.org/10.2134/asaspepub55.c14>

Calvo Buendía, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019. "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Published: IPCC, Switzerland. ISBN 978-4-88788-232-4.

Carta de suelos de la Provincia de Entre Ríos. Escala 1:100.000. 2014. E.E.A. INTA. Paraná. Grupo de Recursos Naturales y Factores Abióticos.
<http://www.geointa.inta.gob.ar/2014/04/22/cartas-de-suelos-de-entre-rios/>

Chan, A. S. K., & Parkin, T. B. (2001). Effect of land use on methane flux from soil. *Journal of Environmental Quality*, 30(3), 786-797.
<https://doi.org/10.2134/jeq2001.303786x>

Chandler, R. F. Jr. (1979). Rice in the tropics: a guide to the development of national programs. Interagriculture Development Service. Westview, CO, EE.UU. 256 pages. ISBN 0-89158-362-9 pbk.

Chernicharo, C. A. (1997). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias (Vol. 5). Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitaria y ambiental. ISBN-10: 8570411308.

Christensen, T. R., Panikov, N., Mastepanov, M., Joabsson, A., Stewart, A., Öquist, M. & Svensson, B. (2003). Biotic controls on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands—a closed environment study. *Biogeochemistry*, 64, 337-354.
<https://doi.org/10.1023/A:1024913730848>

Cicerone, R. J., & Oremland, R. S. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global biogeochemical cycles*, 2(4), 299-327.
<https://doi.org/10.1029/GB002i004p00299>

Climate Change Indicators in the United States, 2nd edition. 2012. Washington, DC, USA: p.3. EPA 430-R-12-001.

Conrad, R. (1995). Soil Microbial Processes Involved in Production and Consumption of Atmospheric Trace Gases. In: Jones, J.G. (eds) *Advances in Microbial Ecology*. *Advances in Microbial Ecology*, vol 14. Springer, Boston, MA.
https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7724-5_5

Counce, P. A., Keisling, T. C., & Mitchell, A. J. (2000). A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*, 40(2), 436-443.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>

De Bernardi, L. A. 2017. Perfil del mercado de arroz. Recuperado de Ministerio de Agroindustria:
<http://www.agroindustria.gob.ar/new/0-0/programas/dma/granos/Perfil%20de%20Mercado%20de%20Arroz%202017.pdf> –

De Souza Costal, F; Bayer, Cimelio; De Lima, M.A; Toyoko Shiraishi Frighetto, R; Mussoi Macedo, V.R; Marcolin, E. (2008). Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. *Ciência Rural*, Santa María, v.38, n.7, p.2049-2053. ISSN 0103-8478.

Dickinson, R., Cicerone, R. Future global warming from atmospheric trace gases. *Nature* 319, 109–115 (1986). <https://doi.org/10.1038/319109a0>

Environmental Laboratory. 1987. Corps of engineer wetlands delineation manual. Technical report Y-87-1. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS, USA. ISBN-10. 1304110761.

Escobar, E.H.; Ligier, H.D; Melgar, R.; Matteio, H y Vallejos O. (1996). Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500.000. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2016/09/23/suelos-de-la-provincia-de-corrientes-1500-000/>

González, M. R. M., Padrino, M. V. C., Ramírez, E. M., & García, M. F. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*, (4), 14-18. ISSN: 1692-9918

Goulding, K. W. T., Willison, T. W., Webster, C. P., & Powlson, D. S. (1996). Methane fluxes in aerobic soils. *Environmental monitoring and assessment*, 42, 175-187. <https://doi.org/10.1007/BF00394049>

Graham, S. A., Craft, C. B., McCormick, P. V., & Aldous, A. (2005). Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands—Upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Wetlands*, 25(3), 594-606. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2005\)025\[0594:FAAOSP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2005)025[0594:FAAOSP]2.0.CO;2)

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

Holzappel-Pschorn, A., Conrad, R., & Seiler, W. (1986). Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant and soil*, 92, 223-233. <https://doi.org/10.1007/BF02372636>

Hou, A. X., Chen, G. X., Wang, Z. P., Van Cleemput, O., & Patrick Jr, W. H. (2000). Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 2180-2186. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462180x>

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.

Insam, H., & Wett, B. (2008). Control of GHG emission at the microbial community level. *Waste Management*, 28(4), 699-706. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.036>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). E.E.A. Corrientes, Recursos Naturales. (2016). Relevamiento de suelos y aptitud de tierras en los departamentos Monte Caseros y Empedrado. Provincia de Corrientes. <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/relevamiento-de-suelos-y-aptitud-de-tierras-en-los-departamentos-de-monte-caseros-y-empedrado-provincia-de-corrientes/>

Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Argentina. (2021). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. ISBN 978-987-8959-10-8.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs. ISBN 978-92-9169-343-6.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento Global de 1.5°C. Un informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales y las vías de emisión de gases de efecto invernadero relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta global a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, PR Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, JBR Matthews, Y. Chen, X. Zhou, MI Gomis, E Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., págs. 3-24, doi: 10.1017/9781009157940.001.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. ISBN 978-4-88788-232-4.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático y Tierra: un informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de la tierra, la gestión sostenible de la tierra, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [PR Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson -Delmotte, H.- O. Pörtner, DC Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal

Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. En prensa.
<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2020). Informe especial sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. ISBN 978-92-9169-354-2

Jacobson, M. Z. (2002). Atmospheric pollution: history, science, and regulation. Cambridge University Press. ISBN 0-5218117-6.

Kerdchoechuen, O. (2005). Methane emission 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.004>

Laing, C. G., Shreeve, T. G., & Pearce, D. M. E. (2008). Methane bubbles in surface peat cores: in situ measurements. Global Change Biology, 14(4), 916-924. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01534.x>

López de Sabando, M. (2021). Suelos de mar y sierras. Partido de Tandil. INTA Ediciones. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Agencia de Extensión Rural Tandil. ISBN. 978-987-8333-89-2

Macalady, J. L., McMillan, A. M., Dickens, A. F., Tyler, S. C., & Scow, K. M. (2002). Population dynamics of type I and II methanotrophic bacteria in rice soils. Environmental Microbiology, 4(3), 148-157. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2002.00278.x>

MAyDS, 2020. Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/contribucion-nacional>

MAYDS. (2021). Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/4to_informe_bienal_de_la_republica_argentina.pdf

McCaughey, W. P., Wittenberg, K., & Corrigan, D. (1997). Methane production by steers on pasture. *Canadian Journal of Animal Science*, 77(3), 519-524. <https://doi.org/10.4141/A96-137>

McCaughey, W. P., Wittenberg, K., & Corrigan, D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 79(2), 221-226. <https://doi.org/10.4141/A98-107>

Mitsch, W. J. & J. G. Gosselink. 2000. *Wetlands*. 3rd. ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA. ISBN 978-0-470-28630-2.

Mosier, A. R. (1990). Gas flux measurement techniques with special reference to techniques suitable for measurements over large ecologically uniform areas. *Soils and the greenhouse effect*. 289-301. ISBN: 0471923958

Neue, H.U., Wassmann, R., Lantin, R.S. (2000). Methane Efflux from Wetland Rice Fields. In: Yunus, M., Singh, N., de Kok, L.J. (eds) *Environmental Stress: Indication, Mitigation and Eco-conservation*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9532-2_28

Nouchi, I., Mariko, S., & Aoki, K. (1990). Mechanism of methane transport from the rhizosphere to the atmosphere through rice plants. *Plant Physiology*, 94(1), 59-66. <https://doi.org/10.1104/pp.94.1.59>

Orge, M. D. R., Cobelas, M. Á., Riobos, P., & Cirujano, S. (2004). Descomposición de helófitos en un humedal semiárido hipertrófico. In *Anales del Jardín Botánico de Madrid*

(Vol. 61, No. 1, pp. 53-61). <https://doi.org/10.3989/ajbm.2004.v61.i1.66>

Preston, T. R., & Leng, R. A. (1989). The greenhouse effect and its implications for world agriculture. The need for environmentally friendly development. Livestock research for rural development, volume 1, Issue 1, Number 1, 21-30. ISSN 0121-3784.

Primavesi, O., Frighetto, R. T. S., Pedreira, M. D. S., Lima, M. A. D., Berchielli, T. T., & Barbosa, P. F. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. Pesquisa agropecuária brasileira, 39, 277-283. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>

Ramanathan, V., Cicerone, R.J., Singh, H.B. and Kiehl, J.T. 1985. Trace gas trends and their potential role in climate change. Journal of Geophysical Research 90: doi: 10.1029/JD090iD03p05547. ISSN: 0148-0227.

Recuperado de <http://aportesacademicosagropecuario.blogspot.com/2017/07/arroz.html>. Fecha de consulta: diciembre 2021.

Recuperado de <https://inta.gob.ar/variedades/puita-inta-cl>. Fecha de consulta: abril 2022.

Recuperado de <https://medios.unne.edu.ar/2022/02/22/sequia-la-superficie-cubierta-por-agua-en-corrientes-estaria-por-debajo-del-10-respecto-al-40-habitual/>. Link Charla: <https://www.youtube.com/watch?v=1uUPo7smFjU>. Fecha de consulta: enero 2023.

Recuperado de <https://proarroz.com.ar/informacion-de-interes/variedades-de-arroz/guri-inta-cl>. Fecha de consulta: abril 2022.

Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8247/4/T3gascromat.pdf>. Fecha de consulta: diciembre 2021.

Recuperado de <https://www.crea.org.ar>. Fecha de consulta: enero 2023.

Recuperado de <https://www.fao.org/3/x8234s/x8234s09.htm>. Fecha de consulta: febrero 2023.

Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf>. Fecha de consulta: noviembre 2021.

Recuperado de <https://www.tarpurisunchis.org/AgroEcologiaOriginal/pp/Labranza.pdf>. Fecha de consulta: noviembre 2021.

Recuperado de <https://www.un.org/es/global-issues/population>. Fecha de consulta: enero 2023.

Recuperado de www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico. Fecha de consulta: enero 2023.

Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>. Fecha de consulta: octubre de 2022.

Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>. Fecha de consulta: enero de 2023.

Rejmánková, E., & Houdková, K. (2006). Wetland plant decomposition under different nutrient conditions: what is more important, litter quality or site quality? *Biogeochemistry*, 80, 245-262. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9021-y>

Ribeiro Orge, MD, Álvarez Cobelas, M., Riobos, P., & Cirujano, S. (2004). Descomposición de helófitos en un humedal semiárido hipertrófico. *Anales Del Jardín Botánico De Madrid*, 61 (1), 53–61. <https://doi.org/10.3989/ajbm.2004.v61.i1.66>.

Rochette, P., Bertrand, N., Carter, M., & Gregorich, E. G. (2008). Soil-surface gas emissions. Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, 851-861. ISBN-13: 978-0-8493-3586-0

Sanchis, E., Ferrer, M., Torres, A., et al. 2012. Effect of water and straw management practices on methane emissions from rice fields: a review through a meta-analysis. Environ. Eng. Sci. 29 (12):1053-1062. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0006>

Sass, R. L., Fisher, F. M., Harcombe, P. A., & Turner, F. T. (1991). Mitigation of methane emissions from rice fields: Possible adverse effects of incorporated rice straw. Global Biogeochemical Cycles, 5(3), 275-287. <https://doi.org/10.1029/91GB01304>

Schütz, H., Seiler, W., & Conrad, R. (1989). Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. Biogeochemistry, 7, 33-53. <https://doi.org/10.1007/BF00000896>

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons. ISBN 9781119221166.

Sistema de Información Simplificado Agrícola (SISA). 2020-202. Arroz. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa_if_arroz_2021.pdf

Smialek, J., Bouchard, V., Lippmann, B., Quigley, M., Granata, T., Martin, J., & Brown, L. (2006). Effect of a woody (*Salix nigra*) and an herbaceous (*Juncus effusus*) macrophyte species on methane dynamics and denitrification. Wetlands, 26(2), 509-517. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2006\)26\[509:EOAWSN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2006)26[509:EOAWSN]2.0.CO;2)

Smith, P., Martino, Z., & Cai, D. (2007). 'Agriculture', in Climate change 2007: mitigation. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB2013201586>

Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI). (2018). Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (32.:2018: Farroupilha, RS). ISBN: 978-85-54856-29-8.

Tauchnitz, N., Brumme, R., Bernsdorf, S., & Meissner, R. (2008). Nitrous oxide and methane fluxes of a pristine slope mire in the German National Park Harz Mountains. *Plant and soil*, 303, 131-138. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9493-0>

Towprayoon, S., Smakgahn, K., & Poonkaew, S. (2005). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. *Chemosphere*, 59(11), 1547-1556. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.009>

US EPA. Climate Change Indicators in the United States, 2nd edition. 2012. Washington, DC, USA: p.3. EPA 430-R-12-001. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2010>

Van Bodegom, P., Stams, F., Mollema, L., Boeke, S., & Leffelaar, P. (2001). Methane oxidation and the competition for oxygen in the rice rhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(8), 3586-3597. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.8.3586-3597.2001>

Waschütza, S., Hofmnn, N., Niemann, E.G, Fendrik, I. (1992). Investigations on root exudates of Korean rice. *Symbiosis* 13: 181-189. ISSN: 0334-5114.

Washington H. & Cook J. (2011). 1st. Edition. Climate Change Denial Heads in the Sand.192 Pages. ISBN 9781849713368.

Watanabe, I., Hashimoto, T., & Shimoyama, A. (1997). Methane-oxidizing activities and methanotrophic populations associated with wetland rice plants. *Biology and Fertility of Soils*, 24, 261-265. <https://doi.org/10.1007/s003740050241>

Yagi, K., Tsuruta, H., & Minami, K. (1997). Possible options for mitigating methane emission from rice cultivation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49, 213-220. <https://doi.org/10.1023/A:1009743909716>

Yan, X., Akiyama, H., Yagi, K., & Akimoto, H. (2009). Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines. *Global biogeochemical cycles*, 23(2). <https://doi.org/10.1029/2008GB003299>

Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H., & Akimoto, H. (2005). Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology*, 11(7), 1131-114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00976.x>

Zhaoqian, W. (1986). Rice-based systems in subtropical China. In *International Conference on Wetland Utilization for Rice Production in Subsaharan Africa, Ibadan, Oyo State (Nigeria)*, 4-8 Nov 1985. The International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

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 of Environmental management*, 85(4), 936-943. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.004>