



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

MODALIDAD PASANTÍA

Modelación de emisiones de gases de efecto invernadero en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en la provincia de Corrientes

ALUMNO: Roberto Julián Antonelli Roch.

ASESOR: Ing. Agr. (Dra.) Fernández López, Carolina.

LUGAR DE TRABAJO: RRNN - Estación experimental agropecuaria INTA Corrientes.

TRIBUNAL: Ing. Agr. (Mgter.) Federico Antonio Paredes

Ing. Agr. (Mgter.) Mauro Masakichi J.Shindoi

Ing. Agr. Griselda Rita Romina Bóbeda

- 2017 -

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al equipo de Recursos Naturales de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Corrientes que con sus experiencias me guiaron en mi primera experiencia laboral.

A Raúl Barrios por su participación constante en cuestiones de programación.

Al ingeniero Ditmar Kurtz por ofrecerme la posibilidad de realizar este trabajo.

Y agradecimientos en especial a mi directora Carolina Fernández López por ayudarme a interpretar cuestiones diarias, guiarme constantemente y ser de apoyo en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

<i>Antecedentes</i>	-4-
<i>Objetivos</i>	-7-
<i>Materiales y métodos</i>	-7-
<i>Lugar de Trabajo</i>	-8-
<i>Descripción de las Tareas Desarrolladas</i>	-8-
<i>Resultados</i>	-19-
<i>Comentarios</i>	-25-
<i>Bibliografía</i>	-26-
<i>Opinión del asesor</i>	-28-

ANTECEDENTES:

El metano (CH₄) representa el 21% de las emisiones totales de Gases con Efecto Invernadero (GEI) en la Argentina (MAyDS, 2017); la zona arrocerá, está concentrada en el Noreste, Corrientes es la mayor productora de arroz con alrededor de 100.000 hectáreas sembradas cada año (ACPA-BCER, 2013). La provincia de Corrientes lidera a nivel nacional en cultivo de arroz (*Oryza sativa*), tanto en la producción como en el área sembrada (Kurtz *et al.*, 2016). La importancia del cultivo bajo riego y su adaptación a diversos ambientes, incluye aspectos vinculados, principalmente al agua y al suelo, como así también la vocación agrícola y las tecnologías aplicadas (Ligier, 2008). La superficie total cosechada en la provincia en la campaña 2015/16 fue de 87.020 hectáreas. En todas las zonas productivas se observó una disminución del área cosechada respecto a la campaña anterior. El rendimiento promedio provincial del arroz Largo Fino fue de 6,6 Tn/ha y el del Largo Ancho de 4,2 Tn/ha, llevando la producción provincial a un total de 557.289 toneladas (ACPA, 2016).

La provincia de Corrientes, posee un clima subtropical, muy cálido en verano, pero con heladas en invierno. Tiene características de clima húmedo, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera; con moderados y eventuales déficit en invierno y verano (Escobar *et al.*, 1996). A la provincia le atraviesan seis isohietas medias anuales, que oscilan entre 1.100 y 1.600 mm, siendo la tendencia creciente de dirección SO a NE. La distribución anual de precipitaciones tiene dos máximos, en primavera y en otoño, y un mínimo en invierno. En todas las localidades se han registrado varios meses del año sin lluvias (Escobar *et al.*, 1996). Las máximas mensuales absolutas registradas están entre 400 y 700 mm. El número de días con precipitaciones varía muy poco entre los meses del año; entre 6 y 8 al mes, con un total de alrededor de 80 a 100 días de ocurrencia de lluvias por año, evidenciándose una inclinación del aumento de las cifras en dirección oeste a este (Escobar *et al.*, 1996).

La temperatura media anual en la provincia se caracteriza por variar entre 20 °C y 22 °C. Como consecuencia principalmente de la latitud, las temperaturas disminuyen de norte a sur; con una cierta tendencia de aumento este a oeste, debido a la mayor continentalidad. Las isotermas del mes más cálido del verano varían entre 32° y 34 °C, y las del mes más frío del invierno entre 8 °C y 12 °C. Los rangos de la amplitud anual de la temperatura media, observadas en la provincia son entre 10° y 14 °C, aumentando hacia el sur (Murphy *et al.*, 2008). Las temperaturas máximas absolutas en la provincia de Corrientes oscilan entre 40° y 44 °C y las mínimas absolutas entre -2 °C y -4 °C (Escobar *et al.*, 1996).

La gran heterogeneidad de suelos se refleja en los siete Órdenes reconocidos en Corrientes: los Alfisoles ocupan el primer lugar de la superficie provincial (29,40 %) y seguidos de: Molisoles (28,30 %) > Entisoles (18,80 %) > Inceptisoles (7 %) > Vertisoles (6,30 %) > Ultisoles (4,20%) > Histosoles (3,90 %). El exceso de agua, es común en Corrientes, debido a su fisiografía, clima y suelos; el 59,50 % de la superficie provincial está ocupada por cuerpos de agua y suelos de régimen ácuico con encharcamientos e inundaciones de distinta intensidad (Escobar *et al.*, 1996).

Al observar datos propios de Argentina, se registran cambios en el clima desde la segunda mitad del siglo pasado que, según las proyecciones de los modelos climáticos, en general se intensificarían, o no se revertirían en este siglo. Estos cambios han causado impactos sobre los sistemas naturales y humanos reflejándose en variaciones respecto a las medias históricas consideradas para clasificación climática (Barros y Vera, 2015).

A nivel mundial, existe preocupación sobre los efectos del aumento de la “Concentración de gases con efecto invernadero” (GEI) en la atmósfera (que se ha detectado desde la revolución industrial) sobre algunos parámetros climáticos, como la temperatura del aire, la ocurrencia de eventos extremos y las alteraciones en los regímenes de lluvias (Serio, 2006). Esta preocupación ha fomentado la necesidad de contar con información sobre las emisiones generadas por las distintas actividades productivas, entre las cuales las actividades agropecuarias son relativamente muy importantes en los países como el nuestro (MAyDS, 2017). Muchas de las economías de los países de América Latina se basan en la exportación de materias primas o productos elaborados hacia países desarrollados. Los mercados internacionales han empezado a solicitar el cálculo de las emisiones ocurridas como consecuencia del proceso productivo completo, lo que se denomina “huella de carbono” y “huella hídrica” de cada producto. En poco tiempo, en algunos sectores el medio ambiente, el cambio climático, las emisiones GEI y la huella de carbono se han convertido en elementos importantes de marketing de los productos y comunicación a todo nivel (IPCC, 2007).

Los GEI son aquellos gases que absorben la radiación infrarroja, atrapando calor y calentando la superficie de la tierra. Uno de los compromisos primarios que la República Argentina ha asumido, es la elaboración, actualización periódica, publicación y presentación a la Conferencia de las Partes (COP) de los inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas detallando según las fuentes, y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal (IPCC, 2007).

Los principales GEI del sector agropecuario son: Dióxido de carbono (CO_2), provenientes por ejemplo de la quema de rastrojos y la deforestación, desmonte, y roturación de pastizales y pasturas para utilizar con cultivos; Óxido nitroso (N_2O): proviene de reacciones biológicas que utilizan el nitrógeno de los suelos que ingresa por los fertilizaciones o por la degradación de materiales vegetales residuales y Metano (CH_4): Este gas es emitido por procesos fermentativos en cultivos de arroz inundados, en el rumen del ganado doméstico y en el estiércol de los animales que se maneja en condiciones anaeróbicas (Snyder *et al.*, 2007).

Dada la importancia que tiene el cultivo de arroz en la provincia de Corrientes, y debido a la expansión del cultivo en los últimos años, hay una creciente necesidad de estudiar las emisiones de CH_4 y desarrollar así alternativas de mitigación de GEI. Teniendo en cuenta que el potencial de calentamiento

global del CH₄ es 25 veces superior al CO₂, es importante estudiar opciones de adaptación y mitigación frente al cambio climático en las tierras destinadas al cultivo de arroz (Kurtz *et al.*, 2016).

Además de los compuestos con carbono, el N₂O es un gas con efecto invernadero con un poder de calentamiento 297 veces superior al CO₂, establecido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2001). Se estima que el 70 % del N₂O emitido por la biosfera a la atmósfera proviene del suelo (Bouwman, 1996). La agricultura contribuye con un 65-80 % de éste en emisiones antropogénicas y la dinámica de su producción está determinada en gran medida por la fertilización nitrogenada.

En el cultivo de arroz el fertilizante nitrogenado aplicado se pierde por nitrificación-desnitrificación, y por procesos fisicoquímicos como volatilización y lavado. En un ensayo realizado en la Estación Experimental de Paso de la Laguna- INIA Treinta y Tres, con fertilizante enriquecido en 15N se estimaron pérdidas del 57 % del nutriente cuando el nitrógeno se aplicaba en una sola dosis a la siembra (Irisarri *et al.*, 2007).

El modelo Desnitrificación-Descomposición DNDC® (Li *et al.*, 2000) se basa en procesos bioquímicos y geoquímicos. Presenta dos componentes, uno de descomposición de materia orgánica del suelo (MOS) a partir de parámetros ecológicos y un segundo componente de nitrificación, desnitrificación y fermentación, que predice los flujos de NO, N₂O, N₂, CH₄ y NH₃ basándose en los factores ambientales modeladores del suelo (Li *et al.*, 1992). El modelo predice la biogeoquímica del C y N en ecosistemas agrícolas en un sitio o a escala regional. Para considerar el sitio los usuarios necesitan cargar todos los parámetros requeridos a través de la interfaz de entrada. Para simulaciones “regionales”, DNDC ® toma todos los parámetros requeridos desde una base de datos preajustada que contiene la información diferenciada espacialmente del tiempo, suelo, vegetación y manejo sobre un polígono o celdas de una cuadrícula base para el dominio del modelo (Li *et al.*, 2000).

El DNDC ® lleva a cabo simulaciones regionales mediante la ejecución de cada sistema de cultivo en cada unidad en todo el dominio de destino. Durante la simulación regional, DNDC ® toma todos los datos de entrada de diez archivos GIS preestablecidos para cada celda de la cuadrícula y, a continuación, reorganiza la información en los archivos internos DNDC ® necesarios para conducir la simulación en el sitio (Gilhespy *et al.*, 2014). Utilizando los datos registrados en los archivos en conjunto con los datos de superficie en los archivos de referencia, las acumulaciones totales o flujos pueden ser calculados para un sistema de cultivo, un sitio específico, o toda la región. Este cálculo posterior a la simulación se puede lograr con un software de hoja de cálculo (Gilhespy *et al.*, 2014).

La simulación de los mismos elementos, pero con cuatro escenarios de combinación suelo-riego diferentes, es una información que brinda a los usuarios la oportunidad para que: 1) cuantifiquen la incertidumbre inducida por la simulación de escala y, 2) estimen los efectos de riego sobre los rendimientos de los cultivos o estudien la biogeoquímica del suelo a nivel de escala regional (Li *et al.*, 1992).

OBJETIVO GENERAL:

- Adquirir destrezas para evaluar las emisiones de gases efecto invernadero originadas potencialmente por el cultivo de arroz en la provincia de Corrientes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Analizar e interpretar los resultados obtenidos para:

- Proyectar las estimaciones de gases efecto invernadero respecto a los compromisos firmados por Argentina frente al Panel Intergubernamental.
- Estimar medidas de mitigación respecto a los gases efecto invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Se realizaron procesamientos de las series de datos edafológicos y climáticos en relación a los requerimientos del cultivo de arroz seleccionado para las regiones arroceras de la provincia de Corrientes, utilizando el software DNDC® Versión 9.5

El programa recibió información de una base de datos, creada a partir de referencias de suelos y clima tomadas de la EEA-INTA Corrientes. Dicha base está subdividida en diez archivos de referencia en formato de texto (.txt) y una biblioteca climática que contiene datos meteorológicos para un año en particular los cuales están contenidos en archivos individuales en dicha biblioteca.

- Recopilación de datos primarios:
 - Datos históricos de clima de la provincia de Corrientes tomados de la base SIGA 2 (2017).
 - Temperaturas máximas y mínimas del aire.
 - Precipitaciones.
 - Datos de suelos de la provincia de Corrientes tomados de la base SiSINTA (2017).
 - Referencias Latitud y longitud de las distintas regiones.
 - Contenido máximo y mínimo de carbono orgánico del suelo.
 - Contenido máximo y mínimo de arcilla.
 - Valor máximo y mínimo de pH.
 - Máxima y mínima densidad aparente.
 - Pendiente.
 - Datos de la asociación Correntina de Plantadores de Arroz (ACPA, 2016).
 - N° de regiones arroceras
 - Área total de las regiones arroceras en hectáreas.
 - Parámetros del cultivo: basados en tres parámetros principales (ACPA, 2016).
 - Máximo rendimiento del cultivo.
 - Tiempo térmico del cultivo.

- Requerimiento de agua.
 - Fecha de siembra y cosecha del cultivo.
 - Sistema de riego y fecha de inicio y corte del mismo.
 - Manejo del rastrojo.
 - Sistema de labranza.
- Procesamiento de datos
- Una vez obtenidos los datos correspondientes, se procedió a cargarlos en los archivos anteriormente mencionados. Estos sirvieron de referencia para poner en funcionamiento el modelo de simulación.
- Resultados esperados
- Con la simulación se obtuvo la información necesaria para poder evaluar las emisiones de N₂O, CO₂ y CH₄ y poder realizar un análisis posterior para mitigar su efecto en las zonas arroceras de la provincia.

LUGAR DE REALIZACION

Grupo de Recursos Naturales de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Corrientes; en la Localidad El Sombrero sobre RN 12 Km 1008, Argentina.

DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DESARROLLADAS

Recopilación de datos primarios

Para poner en funcionamiento el programa DNDC®, en principio, es necesario obtener la información necesaria para poder cargar la base de datos de la misma.

La base de datos del DNDC® consiste en un conjunto de archivos en formato de texto. Estos archivos contienen toda la información necesaria relevante referida a las variables climáticas, edafológicas, de cultivo, geográficas, etc. para que el programa pueda codificarlos y así arrojar los resultados modelados según dicha información aportada.

Cabe destacar que los datos no están dispersos sino que corresponden a los archivos “SIG” del programa. Cada archivo “SIG” requirió de la siguiente recopilación de información primaria:

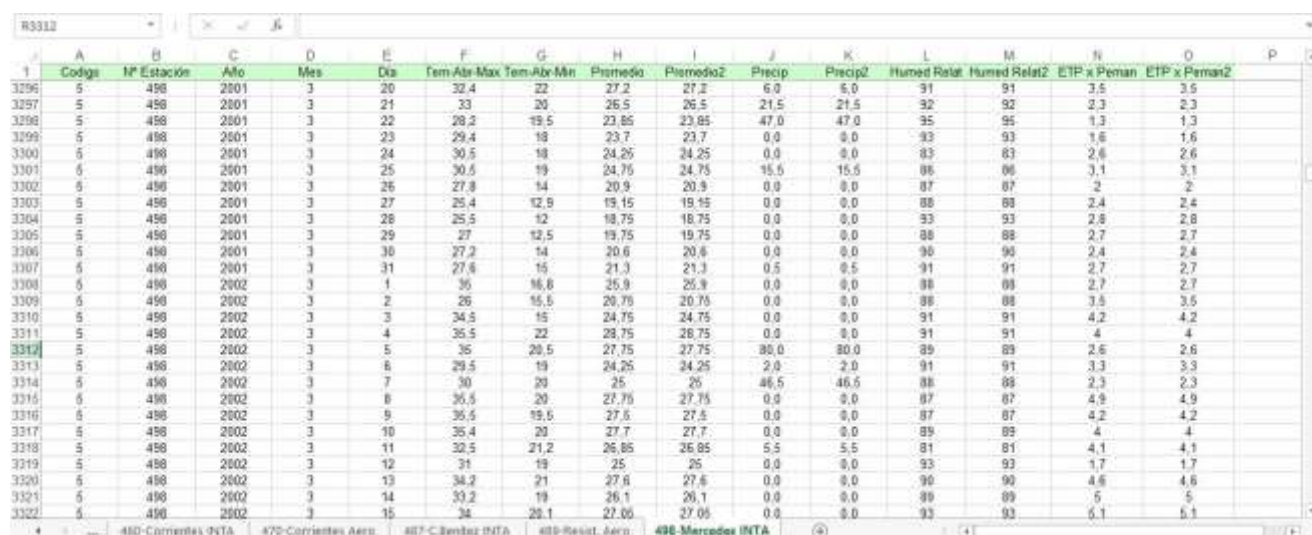
La toma de datos se basó en la recopilación de diferentes fuentes de información provenientes de las distintas instituciones (estatales o privadas) que realizaron un activo seguimiento de las variables edáficas, climáticas y del cultivo de arroz, citadas con anterioridad, a lo largo de los años. En lo que respecta, se cuenta con una base de datos de las cuales se extrae lo necesario para poder procesar la información (comunicación personal RRNN, Inta El sombrero).

Esta información procesada se la utiliza para luego cargar los datos al DNDC®, simular el escenario planteado y recoger los resultados obtenidos para posteriormente analizarlos.

Datos históricos del clima de la provincia de Corrientes

Para la simulación necesaria se analizaron los datos climáticos de las campañas arroceras desde el 2000/01 al 2003/04. Dicha información se extrajo de la base de datos climáticos de “RRNN INTA Corrientes” (Figura 1). La base posee los datos de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones diarias de todos los años en estudio provenientes de estaciones meteorológicas en la provincia de Corrientes.

Luego se ordenaron los datos y se procedió a la captura de los datos de forma organizada de manera que se tengan los datos primarios para la posterior carga al sistema de datos.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Código	Nº Estación	Año	Mes	Día	Tem.Abr-Max	Tem.Abr-Min	Promedio	Promedio2	Precip	Precip2	Humed Relat	Humed Relat2	ETP x Peman	ETP x Peman2	
3296	5	498	2001	3	20	32.4	22	27.2	27.2	6.0	6.0	91	91	3.5	3.5	
3297	5	498	2001	3	21	33	20	26.5	26.5	21.5	21.5	92	92	2.3	2.3	
3298	5	498	2001	3	22	28.2	19.5	23.85	23.85	47.0	47.0	95	95	1.3	1.3	
3299	5	498	2001	3	23	29.4	18	23.7	23.7	0.0	0.0	93	93	1.6	1.6	
3300	5	498	2001	3	24	30.5	18	24.25	24.25	0.0	0.0	83	83	2.6	2.6	
3301	5	498	2001	3	25	30.5	19	24.75	24.75	15.5	15.5	86	86	3.1	3.1	
3302	5	498	2001	3	26	27.8	14	20.9	20.9	0.0	0.0	87	87	2	2	
3303	5	498	2001	3	27	25.4	12.8	19.15	19.15	0.0	0.0	88	88	2.4	2.4	
3304	5	498	2001	3	28	25.5	12	18.75	18.75	0.0	0.0	93	93	2.8	2.8	
3305	5	498	2001	3	29	27	12.5	19.75	19.75	0.0	0.0	88	88	2.7	2.7	
3306	5	498	2001	3	30	27.2	14	20.6	20.6	0.0	0.0	90	90	2.4	2.4	
3307	5	498	2001	3	31	27.6	15	21.3	21.3	0.5	0.5	91	91	2.7	2.7	
3308	5	498	2002	3	1	35	16.6	25.9	25.9	0.0	0.0	88	88	2.7	2.7	
3309	5	498	2002	3	2	26	15.5	20.75	20.75	0.0	0.0	88	88	3.5	3.5	
3310	5	498	2002	3	3	34.5	15	24.75	24.75	0.0	0.0	91	91	4.2	4.2	
3311	5	498	2002	3	4	35.5	22	28.75	28.75	0.0	0.0	91	91	4	4	
3312	5	498	2002	3	5	35	20.5	27.75	27.75	80.0	80.0	89	89	2.6	2.6	
3313	5	498	2002	3	6	29.5	19	24.25	24.25	2.0	2.0	91	91	3.3	3.3	
3314	5	498	2002	3	7	30	20	25	25	46.5	46.5	88	88	2.3	2.3	
3315	5	498	2002	3	8	35.5	20	27.75	27.75	0.0	0.0	87	87	4.9	4.9	
3316	5	498	2002	3	9	35.5	19.5	27.5	27.5	0.0	0.0	87	87	4.2	4.2	
3317	5	498	2002	3	10	35.4	20	27.7	27.7	0.0	0.0	89	89	4	4	
3318	5	498	2002	3	11	32.5	21.2	26.85	26.85	5.5	5.5	81	81	4.1	4.1	
3319	5	498	2002	3	12	31	19	25	25	0.0	0.0	93	93	1.7	1.7	
3320	5	498	2002	3	13	34.2	21	27.6	27.6	0.0	0.0	90	90	4.6	4.6	
3321	5	498	2002	3	14	33.2	19	26.1	26.1	0.0	0.0	89	89	5	5	
3322	5	498	2002	3	15	34	20.1	27.05	27.05	0.0	0.0	93	93	5.1	5.1	

Figura 1: Tabla Excel de datos existentes de las diferentes estaciones meteorológicas provenientes de la base de datos meteorológicos “RRNN INTA”.

El programa DNDC® no tiene en cuenta los meses del año, sino que toma los días como días julianos. Por lo tanto, se debió transformar la variable y así realizar el análisis para poder cargarlos al sistema (Figura 2).

Día	Tmax	Tmin	Precip
1	26	15,7	0,0
2	28,2	16,7	0,0
3	31,7	20,2	0,0
4	31,8	24,3	0,0
5	30,5	24,7	0,0
6	33,2	23,9	0,0
7	34	24,9	0,0
8	33	23	4,5
9	34,9	24	0,0
10	35	24,7	0,0
11	31	23	0,0
12	31	21	0,0
13	32	21,7	0,0
14	31,2	21	0,0
15	33,6	21	0,0
16	31	19,7	0,0
17	32	20,8	0,0
18	33	22,6	0,0
19	34	25,2	0,0
20	34	22,3	0,0
21	33,2	21	2,0
22	33,9	23,7	0,0
23	33	20,7	0,0
24	33,2	21,8	0,0
25	33,2	23,6	0,0

Figura 2: Tabla de datos climáticos ordenados en días julianos para la posterior carga a la base de datos del programa DNDC®.

Una vez obtenidas las variables climáticas de las distintas estaciones meteorológicas, se guardaron en archivos Excel para su posterior carga a la base de datos del programa DNDC®.

Datos de fertilización

Para la obtención de los datos de fertilización se partió de la misma base de datos de INTA RRNN (Comunicación personal, 2017), con lo cual se tenía un censo de los años 2000 a 2004 de todos los fertilizantes aplicados para cada lote arrocero provenientes de la superficie arrocera censada. Éstos se encontraban en una tabla Excel determinando el tipo de fertilizante, momento de aplicación, dosis, etc., en los diferentes lotes arroceros.

Se analizaron todas las aplicaciones pero del conjunto total de información se discriminaron los valores y se priorizaron las medias y modas por departamento. De manera de tener información más representativa acorde a los casos en estudio.

Para ello, se partió de la tabla de datos Excel original y se determinaron todas las aplicaciones (correspondientes al mismo tipo de fertilizante, misma dosis y mismo momento de aplicación) que se utilizaron en cada uno de los departamentos.

Una vez determinadas todas las aplicaciones diferentes, se asignaron códigos para cada una. Estos códigos permitieron simplificar los datos aún más para apreciarlos mejor y diferenciarlos más fácilmente, de manera así, agrupar todos los mismos tipos de aplicaciones que se realizaban en cada uno de los lotes arroceros de cada departamento.

La finalidad de agrupar las mismas aplicaciones es visualizar la cantidad de veces que se repiten y a su vez determinar la cantidad de hectáreas que se utilizó esa alternativa (Tabla 1).

Tabla 1: Ej.: Departamento Bella Vista. Aplicaciones utilizadas establecidas en códigos (código “53020-150-70” indica una aplicación antes del riego de un fertilizante NPK “5-30-20” en una dosis de 150 Kg/ha; seguido de una aplicación de Urea de 70 kg/ha en diferenciación).

Departamento	Código	Repeticiones	Sup_ha
BELLA VISTA	53020-150-70	8	282,3
BELLA VISTA	FD-50-60	2	113,5
BELLA VISTA	FD-70-0	1	118,9
BELLA VISTA	FD-70-50	3	142,8
BELLA VISTA	FD-100-50	6	545,4
BELLA VISTA	0	3	102,0
BELLA VISTA	-50	4	181,4

El DNDC® analiza los datos de fertilizantes teniendo solo en cuenta la cantidad de Nitrógeno aplicado por ha (N/ha.), de manera que se tuvo que determinar el contenido de Nitrógeno en los diferentes tipos de fertilizantes aplicados en los lotes arroceros, mostrando así su contenido de Nitrógeno total.

Esto a su vez permite relacionar todos los fertilizantes utilizados como un tipo único de fertilizante aplicado como N/ha.; y obtener una dosis promedio representativa por departamento (Kg N/ha/Departamento.)

Se determinó el contenido de nitrógeno total de cada una de las aplicaciones utilizadas.

- Para el caso de los fertilizantes formulados NPK, conociendo la dosis aplicada se determina la cantidad de nitrógeno.
- Para el caso de otros tipos de fertilizantes, como el fosfato diamónico, monoamónico o urea, se determinó el contenido de nitrógeno de cada fertilizante. El contenido de nitrógeno de cada fertilizante variará según su composición química.

Una vez determinado el contenido de Nitrógeno de cada aplicación se “cruzó” con la cantidad de hectáreas aplicadas por cada situación. Obteniendo la suma total de N por tipo de fertilizante. Se sumó el total de Nitrógeno de cada formulado de cada departamento y se dividió por la cantidad de hectáreas fertilizadas obteniendo así el resultado esperado. Es decir, el promedio de N/ha/Departamento.

También, para el modelo, se necesita conocer la fecha de aplicación, por lo que se determinó de manera teórica, considerando la fecha de siembra y emergencia del cultivo de arroz a lo largo de las diferentes campañas.

Datos de suelo-sitio

En el caso de los datos de suelo necesarios para poder modelar las emisiones con el programa, es primordial conocer los parámetros necesarios, determinados por el mismo. Estos parámetros se encuentran

definidos en un archivo de texto provenientes a los datos “SIG” del programa, anteriormente mencionados, combinados con parámetros espaciales. Es decir, que el programa integra los datos de suelo y de sitio en un mismo archivo. De esta forma se simplifica conocer las características de los distintos suelos pertenecientes a la región en estudio y bajo qué estación meteorológica estarían influenciadas.

DNDC® reconoce la región en estudio como un conjunto de sitios establecidos en el mapa. Sabiendo que la provincia de Corrientes está determinada por una gran variedad de series de suelos, lo más adecuado fue asignar esos sitios y definirlos como los departamentos que pertenecen a la provincia. De esta manera, las características de suelos, definidas por los parámetros necesarios del programa, pertenecerían a las características de los suelos de cada departamento.

Ahora bien, cada departamento posee varias series de suelo. El procedimiento adecuado para conocer las características de suelo más representativas de cada departamento es conocer las series más repetitivas y seleccionarlas, de esta manera así, poder extraer de éstas aquellas características necesarias para el programa y así poder modelar (Tabla 2).

Tabla 2: Parámetros requeridos por el programa en la primera fila. En la segunda fila se ejemplifica un departamento con las características edáficas y de posición propias de la localidad.

<i>Departamento</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>COS máx.</i>	<i>COS mín.</i>	<i>Fracción de arcilla Máx.</i>	<i>Fracción de arcilla Min.</i>	<i>pH Máx.</i>	<i>pH Min.</i>	<i>Dens. Ap. Max.</i>	<i>Dens. Ap. Min.</i>
Capital	-58.8333	-27.4667	0.021	0.004	0.33	0.09	6.3	4.4	1.58	1.47

Referencias:

- Departamento: departamentos de la provincia de corrientes donde se cultivó arroz.
- Longitud: longitud del departamento en cuestión.
- Latitud: latitud del departamento en cuestión.
- COS máximo: valor de la serie de suelo, correspondiente al departamento en cuestión, que presenta el mayor contenido de carbono orgánico.
- COS mínimo: valor de la serie de suelo, que presenta el menor contenido de carbono orgánico.
- Fracción de arcilla máxima: valor de la serie de suelo, que presenta la mayor fracción de arcilla.
- Fracción de arcilla mínima: valor de la serie de suelo, que presenta la menor fracción de arcilla.
- pH máximo: valor de la serie de suelo, que presenta el mayor valor de pH.
- pH mínimo: valor de la serie de suelo, que presenta el menor valor de pH.
- Densidad aparente máxima: valor de la serie de suelo, que presenta la mayor densidad aparente.
- Densidad aparente mínima: valor de la serie de suelo, que presenta la menor densidad aparente.

Los suelos arroceros de la provincia de Corrientes fueron identificados en el mapa de suelo proveniente del SiSINTA en escala 1:500.000. Ubicándose las mismas en cada departamento utilizando la herramienta Google Earth. Ésta permite cargar archivos “.kmz” y poder superponer el mapa de suelos de la provincia de Corrientes con los lotes arroceros de las campañas 2000 a 2004 (Figura 3).

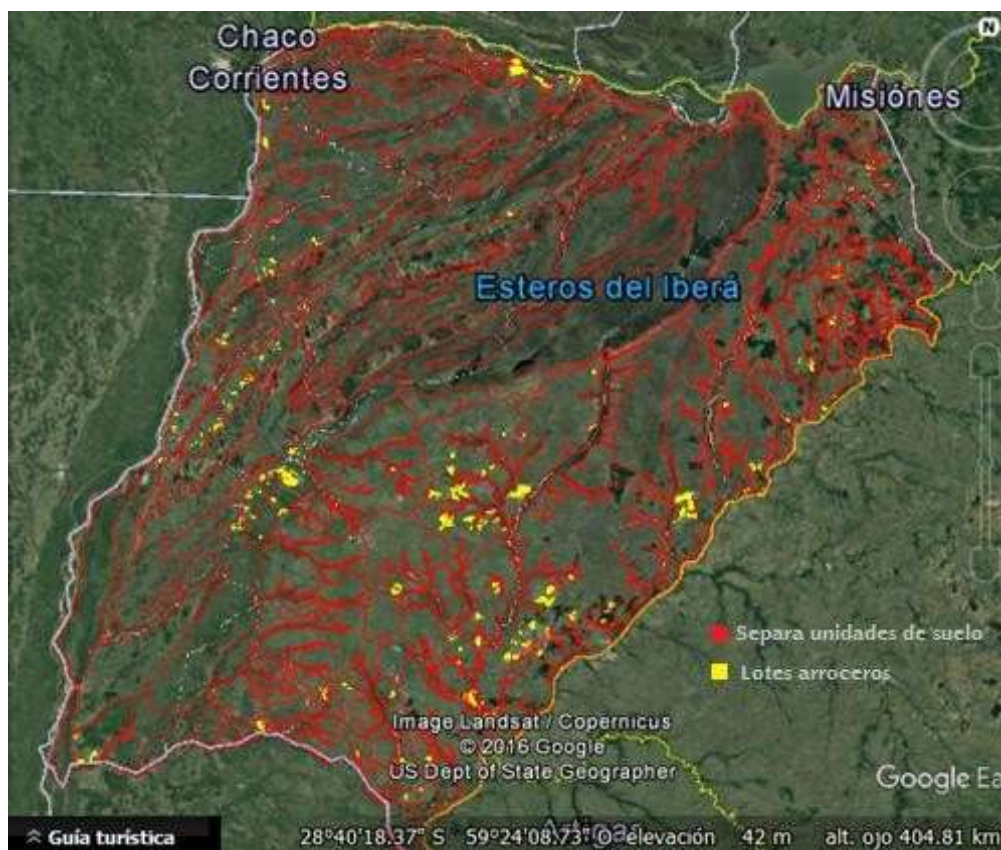


Figura 3: Superposición del mapa de suelo con lotes arroceros de la provincia correspondientes a la campaña 2000/2001.

Con el mapa de suelos, seleccionando los puntos indican la unidad cartográfica a la que pertenecen. De esta manera ubicándonos en el lote podemos determinar en qué tipo de suelo fue sembrado. Cada unidad cartográfica me indica tres series y su respectivo porcentaje de influencia que abarcan en el área (Figura 4).

Ctes_suelos_500:UC	86
Ctes_suelos_500:Sup_Ha	162718.0000000000000000
Ctes_suelos_500:Paisaje	PLANICIE SUAVEMENTE ONDULADA
Ctes_suelos_500:Nombre_S1	SERRANO
Ctes_suelos_500:Porcent_S1	50
Ctes_suelos_500:CU_S1	IV
Ctes_suelos_500:IP_S1	23
Ctes_suelos_500:Limit_S1	SUSCEPTIBILIDAD A EROSION HIDRICA
Ctes_suelos_500:Nombre_S2	RINCON DE YEGUAS
Ctes_suelos_500:Porcent_S2	30
Ctes_suelos_500:CU_S2	III
Ctes_suelos_500:IP_S2	27
Ctes_suelos_500:Limit_S2	DRENAJE DEFICIENTE
Ctes_suelos_500:Nombre_S3	PUESTO COLONIA
Ctes_suelos_500:Porcent_S3	20
Ctes_suelos_500:CU_S3	III
Ctes_suelos_500:IP_S3	44

Figura 4: Unidad cartográfica indicada en el mapa del suelo (UC 86). <http://wms.sig-ctes.inta.gob.ar/files/86.pdf>

Una vez realizada esta actividad, se pasó a calcular el área de cada lote arrocerero por departamento y ubicar en qué serie de suelo están ubicados, para determinar en qué proporción se encuentran y que porcentaje de influencia corresponde a cada lote para luego cargar todos los datos en una tabla Excel y geoposicionarlos (Figura 5).



Figura 5: Se aprecian las arroceras 1 y 2 del departamento de Capital.

Tabla 3: Ejemplo; en Capital se encuentran dos arroceras. Cada arroceras se indica el porcentaje de series a la cual le corresponde y las superficies en hectáreas determinadas por su porcentaje correspondiente.

Depto.	Arroceras	SUP. (has)	% SERIE DE SUELO			TOTAL SUP. POR DEPT	has de cada SERIE		
		Campañas 01-04	50	30	20		S1	S2	S3
Capital	Arroceras 1	600	TREVIÑO VALENCIA	TALA		730	300	180	120
	Arroceras 2	130	TREVIÑO VALENCIA	TALA			65	39	26

Cuando se cargaron el total de lotes arroceros en la tabla Excel, se determinaron la cantidad de hectáreas que ocupa cada serie de suelo en cada departamento. Luego se seleccionaron las tres series de suelos con mayor superficie y se tomaron sus valores analíticos correspondiendo así a los valores de cada departamento.

Datos del área arroceras

Las áreas arroceras se determinaron anteriormente con el cálculo de las diferentes áreas en toda la provincia a través del Google Earth®.

También se compararon con las publicaciones del INTA de “Proyecto Arroz” donde detallan la cantidad de hectáreas sembradas de las Campañas 2000/01 a 2003/04 de cada departamento de la provincia.

Parámetros del cultivo

El programa también requiere de información ecofisiológica del cultivo de arroz. Esta información corresponde a:

- Demanda de agua
- Tiempo térmico
- Máximo rendimiento del cultivo

Demanda de agua:

Hace referencia a requerimiento de agua por kilogramo de materia seca. El programa ya tiene tabulado el valor para el caso del arroz cascara: 350 kg H₂O/ Kg MS.

En este caso es un valor fijo y corresponde a variedades de ciclo medio. Variedades las cuales se seleccionaron para la modelación por ser las más sembradas en la provincia en las cuatro campañas. La variedad de ciclo medio más sembrada corresponde a la variedad Taím.

Tiempo térmico:

Corresponde a la sumatoria de grados días (GD) desde la siembra hasta su madurez. (Wang, 1960).

El cálculo de los GD (Ec. 1) se determinó seleccionando una variedad de ciclo medio de 145 días de emergencia a cosecha por ser la más sembrada en la provincia.

Se toman los valores de siembra y cosecha. Sabiendo ésto y conociendo las temperaturas diarias de los días en que el cultivo cumple todo su ciclo se puede calcular los grados días mediante la fórmula:

$$^{\circ}D = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - T_b \quad \text{Ec. 1}$$

Máximo rendimiento del cultivo:

Se refiere al mayor rinde que se obtuvo en la campaña en toda la localidad. Los valores fueron seleccionados de la base de datos del INTA “RRNN”. Al tener los datos de cosecha de todas los lotes arroceros en las cuatro campañas solo se tuvieron que seleccionar los mayores rindes por departamento. Estos valores se hallan en Kg/ha. y se deben transformar en Kg de C/ha. Lo cual el programa nos indica que hay que multiplicar el valor del rendimiento por el factor 0,4 para saber el valor en carbono del grano de arroz (DNDC, 2012).

FECHAS DE SIEMBRA Y COSECHA

Se tomó una fecha de siembra y cosecha representativa para cada campaña en estudio. Correspondiente a la fecha en que se sembró y cosechó el grueso del cultivo. Los datos fueron extraídos de la base de datos INTA Corrientes “RRNN”.

INSTALACION DEL PROGRAMA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez recopilado los datos necesarios se procedió a la instalación del programa y el procesamiento de datos. Este último hace referencia a la conversión de estos valores que se encontraba “en bruto” en archivos Excel, en valores que sean legibles para el programa DNDC®.

El programa requiere que la instalación sea en el disco duro “C” o disco principal. Y la base de datos del programa debe estar ubicado en la carpeta “Database” del programa, de manera que pueda reconocer los datos y realizar la modelación.

Para el procesamiento de datos se tomaron los valores que se encontraban en formato Excel y se los exportaron a archivos en formato .txt; ya que es la forma adecuada que nos pide el programa para poder almacenar en la base de datos del programa.

La exportación de los valores recopilados requiere previamente respetar las tabulaciones de los archivos .txt. Para ello se hizo uso del programa “ConText®” lo cual me permitió cargar los datos exportados a formato de texto y tabularlos correctamente. Es necesario respetar dichas tabulaciones, debido a que el programa lee los valores siguiendo las mismas (Figura 6).

Modelación de las emisiones de gases efecto invernadero en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en la provincia de Corrientes.

Grid_ID	System_ID	SystemName	Area	Year	Strub	SOC0-10cm	SOC10-20cm	SOC20-30cm	SOC30-40cm	SOC40-50cm	T
230101	20	Rice	10429	1	0	13192	13116	10749	5797	4007	4680
230102	20	Rice	11489	1	0	32469	32387	24919	12828	7412	11001
230103	20	Rice	7745	1	0	17878	17843	14093	7456	5170	6243
230104	20	Rice	4027	1	0	13320	13294	10498	5562	3825	4649
230105	20	Rice	4320	1	0	20094	20055	16464	8797	6122	7153
230106	20	Rice	1650	1	0	20323	20495	16202	5572	3900	7189
230107	20	Rice	4862	1	0	7992	7984	7097	4080	3595	3074
230108	20	Rice	2024	1	0	7468	7434	6293	3280	2301	2677
230109	20	Rice	3683	1	0	13212	13185	10404	5501	3795	4610
230110	20	Rice	112	1	0	12066	12049	10729	6187	5428	4645
230201	20	Rice	930	1	0	23183	23129	18987	10147	7085	8232
230301	20	Rice	925	1	0	16376	16355	12827	6860	4716	5721
230302	20	Rice	1209	1	0	25095	25089	19843	10503	7244	8777
230303	20	Rice	1246	1	0	20474	20403	15875	8373	5245	7047
230304	20	Rice	872	1	0	25623	25575	20042	10804	6601	8828
230305	20	Rice	1058	1	0	12485	12454	9824	5195	3584	4354
230306	20	Rice	1336	1	0	32054	32044	25341	13408	9223	11207
230307	20	Rice	318	1	0	12366	12317	10097	5390	3744	4391
230308	20	Rice	495	1	0	17157	17143	13545	7147	4941	5995
230309	20	Rice	1542	1	0	7712	7700	6835	3923	2437	2860
230310	20	Rice	634	1	0	10942	10908	9147	4795	3360	3896

Figura 6: Diagramación en formato de texto

Después de su correcta presentación se procedió a guardar los archivos en la “Database” lo cual permite proceder con la ejecución del programa y posterior modelación de la situación en estudio.

General information of grid cells: location, climate station ID, and soil properties

	Country	Country-name	Lon	Lat	Climate-file	N-dep	SOCmax	SOCmin	Claymax	Claymin	pHmax	pHmin	Densmax	Densmin
230101	101	Mercedes	-580.833	-29.200	56763	0.84	0.016	0.006	0.51	0.14	7.5	4.9	1.32	1.15
230102	101	Curuzu	-580.500	-29.783	56763	0.84	0.049	0.007	0.64	0.31	7.5	4.9	1.32	1.15
230103	101	Paso Libres	-570.833	-29.716	56763	0.85	0.024	0.002	0.30	0.09	8.0	4.0	1.32	1.15
230104	101	Beron Astrada	-575.333	-27.550	56763	0.85	0.018	0.001	0.49	0.01	5.7	4.3	1.32	1.15
230105	101	Santo Tome	-560.500	-28.550	56763	0.85	0.028	0.003	0.39	0.16	4.8	3.9	1.32	1.19
230106	101	Monte Caseros	-576.500	-30.250	56763	0.84	0.028	0.002	0.47	0.04	7.3	4.9	1.32	1.19
230107	101	San Martin	-566.500	-29.183	56763	0.96	0.011	0.003	0.17	0.04	5.2	4.0	1.32	1.15
230108	101	Lavalle	-591.833	-29.016	56763	0.96	0.009	0.002	0.32	0.04	6.9	5.1	1.32	1.19
230109	101	San Roque	-588.282	-28.796	56763	1.01	0.016	0.003	0.41	0.06	6.9	4.5	1.32	1.15
230110	101	General Paz	-576.167	-27.750	56763	0.84	0.018	0.001	0.21	0.01	5.7	4.3	1.49	1.15
230201	101	General Alv	-565.500	-29.100	56684	1.08	0.031	0.003	0.46	0.16	5.3	3.9	1.49	1.15
230301	101	Empedrado	-588.000	-27.950	56586	1.24	0.021	0.004	0.33	0.09	6.3	4.4	1.49	1.19
230302	101	Saladas	-586.333	-28.250	56586	1.24	0.036	0.002	0.29	0.12	7.3	5.3	1.49	1.19
230303	101	Sauce	-590.833	-30.200	56684	1.08	0.028	0.005	0.60	0.22	8.0	4.6	1.49	1.15
230304	101	Ituzaingo	-566.833	-27.600	56485	1.58	0.028	0.010	0.67	0.16	5.8	3.9	1.49	1.15
230305	101	Bella Vista	-590.500	-28.500	56586	1.24	0.016	0.002	0.41	0.09	6.2	4.5	1.49	1.15
230306	101	Esquina	-595.333	-30.016	56485	1.24	0.046	0.003	0.43	0.08	7.5	5.3	1.49	1.15
230307	101	Itati	-582.500	-27.266	56485	1.33	0.017	0.001	0.49	0.07	7.8	5.6	1.49	1.15
230308	101	Capital	-588.333	-27.466	56586	1.47	0.021	0.004	0.33	0.09	6.3	4.4	1.32	1.15
230309	101	Goya	-592.667	-29.133	56586	1.47	0.011	0.001	0.17	0.03	9.8	5.1	1.32	1.15
230310	101	San Miguel	-576.333	-28.066	57608	1.44	0.018	0.001	0.32	0.01	7.5	4.3	1.32	1.15
230311	101	Concepcion	-584.741	-28.285	57608	1.44	0.014	0.002	0.41	0.00	7.9	4.9	1.32	1.15

Figura 7: Archivo .txt tabulado

Modelación

Para el análisis evaluador, se tomaron cuatro escenarios diferentes. Estos permiten comparar e inferir sobre los resultados hallados para posteriormente realizar una apreciación del aporte de gases de efecto invernadero que se encuentran emitiendo en cada uno de los escenarios y extraer una conclusión correspondiente a los objetivos propuestos.

Los escenarios corresponden a diferentes situaciones de riego y de manejo de suelo:

- Escenario 1: Labranza convencional bajo riego continuo (100 días).
- Escenario 2: Labranza convencional bajo riego intermitente.
- Escenario 3: Siembra directa bajo riego continuo.
- Escenario 4: Siembra directa bajo riego intermitente.

Éstos se obtuvieron estableciendo los archivos SIG que corresponden al modo de riego y manejo de suelo que se realizan en cada situación.

Al haber cuatro escenarios posibles, se debieron realizar cuatro modelaciones pertinentes y obtener los diferentes aportes de emisión de GEI para compararlos, de manera de concluir cual sería el escenario más adecuado para la mitigación de los mismos.

Una vez establecidos los escenarios se procede a la realización de las diferentes modelaciones. Cuando los archivos de la GIS y de la biblioteca climática de cada escenario se hallan preparados y localizados en los directorios correctos se procede a realizar las simulaciones regionales. Para ello, en principio, se debe ingresar la información de entrada relevante.

Se tilda el botón “Input” correspondiente al modo regional. Una vez allí se carga la información de entrada lo cual permite al programa buscar en el directorio la información correspondiente al escenario en estudio, además de referenciar las diferentes situaciones propuestas para el análisis de gases de efecto invernadero en el cultivo de arroz.

Una vez allí, aparece una plataforma de entrada lo cual se especifica la información para cada uno de los escenarios:

- Lugar y nombre donde se encuentra almacenada la información correspondiente a GIS
- Nombre del escenario
- Años de simulación
- Año de inicio de la simulación
- Mayor pertinencia: Hace referencia a que variable se le concede más importancia. Para el caso del arroz la emisión de metano es prioritaria, por lo tanto, se eligió la misma.
- Sitio de la región donde empieza la simulación.
- Número de sitios que se encuentran en la región especificada en el SIG.
- Número de sitios que van a simularse.

Además se encuentra la entrada “Opciones de Simulación”, una opción de simulación que permite realizar la simulación en base a cuatro opciones diferentes. De manera de otorgar mayor flexibilidad sobre los riesgos ambientales, y dar un menor valor de incertidumbre. Estas opciones hacen referencia a tomar los valores asociados como mínimos y máximos, con uso de riego o sin riego, o tomar los valores asociados como promedios, con uso de riego o sin ellos.

Una vez cargados los datos de entrada se procede a verificar si los datos de la base se encuentran de manera correcta con el botón “Aceptar”. Con esta verificación el programa nos indica si se encuentran ordenados adecuadamente y con el formato requerido.

Cuando se verifica esto, se ejecuta el programa tildando el botón “Run” y se procede con la simulación de cada uno de los escenarios determinando así los resultados necesarios para su análisis.

RESULTADOS

Una vez obtenido los resultados de la modelación se procesaron los datos y se unificaron los mismos. Los valores obtenidos se presentaron por departamento asociados a Kg de carbono y Kg de nitrógeno por hectárea. Las emisiones que se presentaron corresponden a las de metano y óxido nitroso del arroz.

Tabla 4: Emisiones de gases de efecto invernadero de la provincia de Corrientes, campaña 2000/01.

Departamentos	Área	CH₄	N₂O
	Has.	Kg C/ha	Kg N/ha
Mercedes	15429	191,66	1,390
Curuzú Cuatiá	11489	224,25	0,740
Paso de los Libres	7745	324,42	3,217
Berón de Astrada	4027	355,65	2,024
Santo Tomé	4520	380,07	1,898
Monte Caseros	1650	322,24	1,748
San Martín	4862	186,32	1,193
Lavalle	2034	298,62	1,066
San Roque	3683	322,26	1,514
General Paz	112	427,57	2,255
General Alvear	930	312,12	2,005
Empedrado	928	356,05	2,752
Saladas	1209	453,63	3,218
Sauce	1246	166,55	0,415
Ituzaingó	872	319,34	1,315
Bella Vista	1053	319,70	1,355
Esquina	1536	465,64	3,426
Itatí	318	279,71	1,201
Capital	495	385,44	2,903
Goya	1542	250,21	0,827
San Miguel	434	321,47	2,215

Posteriormente se transformaron estos valores en su emisión equivalente de dióxido de carbono que corresponde al valor de emisión del gas en cuestión multiplicado por su potencial de calentamiento global. Para el metano el potencial de calentamiento corresponde a 23 y para el óxido nitroso 296; (Henry, 2007).

Una vez unificados en una única unidad (CO₂ equivalente) se procedió a sumar los valores y obtener los resultados por campaña en uno por mil toneladas para cada uno de los departamentos.

A continuación se presentan los valores de emisiones en dióxido de carbono equivalente por departamento obtenidos de la modelación para cada uno de los escenarios propuestos:

- Escenario 1: Labranza convencional con riego continuo por 100 días (Tabla 6).
- Escenario 2: Labranza convencional con corte del riego a mitad del ciclo (Tabla 5).
- Escenario 3: Siembra directa con riego continuo por 100 días (Tabla 8).
- Escenario 4: Siembra directa con corte del riego a mitad del ciclo (Tabla 7).

Tabla 5: Labranza convencional con corte del riego a mitad del ciclo:

Departamentos	1 x 1000 toneladas de CO _{2eq.}			
	Campaña 2000/01	Campaña 2001/02	Campaña 2002/03	Campaña 2003/04
Mercedes	118,4	102,3	81,4	90,4
Curuzú Cuatiá	93,6	119,7	84,8	96,9
Paso de los Libres	106,9	109,0	51,0	72,3
Berón de Astrada	55,2	61,0	68,2	45,2
Santo Tomé	65,1	47,8	33,5	37,7
Monte Caseros	20,4	37,7	28,6	26,7
San Martín	35,5	20,3	17,9	0,0
Lavalle	22,2	23,0	16,4	33,8
San Roque	44,7	23,6	17,1	29,5
General Paz	1,8	24,2	17,0	10,9
General Alvear	11,4	15,1	7,0	7,7
Empedrado	13,4	17,0	11,3	11,3
Saladas	21,9	21,4	12,8	13,8
Sauce	7,4	6,8	6,7	6,6
Ituzaingo	10,3	12,8	7,3	11,2
Bella Vista	12,5	11,7	7,0	11,7
Esquina	28,7	17,2	14,3	23,4
Itatí	3,3	7,0	1,4	8,6
Capital	7,7	0,0	0,0	1,2
Goya	14,0	2,0	3,4	4,1
San Miguel	5,5	0,6	20,8	36,7
Concepción	0,0	4,8	2,2	4,6
TOTAL	700,1	685,0	510,0	584,3

Tabla 6: Labranza convencional con riego continuo:

	1 x 1000 toneladas de CO _{2eq.}			
Departamentos	Campaña 2000/01	Campaña 2001/02	Campaña 2002/03	Campaña 2003/04
Mercedes	143,0	106,5	125,5	145,8
Curuzú Cuatiá	117,1	123,0	110,3	143,6
Paso de los Libres	125,6	111,2	81,3	118,5
Berón de Astrada	39,5	35,1	51,0	48,4
Santo Tomé	26,9	16,1	15,3	24,9
Monte Caseros	29,4	42,8	44,7	48,5
San Martín	15,7	5,2	10,2	0,0
Lavalle	13,2	10,4	12,5	35,1
San Roque	36,7	16,7	17,9	36,8
General Paz	0,8	8,2	8,6	7,5
General Alvear	6,6	7,6	5,6	7,3
Empedrado	11,4	12,8	10,4	14,0
Saladas	22,5	22,3	16,2	19,4
Sauce	6,3	4,6	6,7	7,5
Ituzaingo	4,1	4,1	3,3	6,2
Bella Vista	9,5	7,4	6,7	13,7
Esquina	37,0	20,5	21,1	38,4
Itatí	2,6	5,0	1,2	9,7
Capital	6,4	0,0	0,0	1,5
Goya	7,8	0,8	2,5	3,3
San Miguel	4,0	0,4	16,2	37,5
Concepción	0,0	3,4	2,0	5,0
TOTAL	666,2	564,0	569,3	772,4

Tabla 7: Siembra directa con corte de riego a mitad del ciclo:

	1 x 1000 toneladas de CO _{2eq.}			
Departamentos	Campaña 2000/01	Campaña 2001/02	Campaña 2002/03	Campaña 2003/04
Mercedes	103,5	90,4	73,5	81,2
Curuzú Cuatiá	86,9	109,3	76,4	88,3
Paso de los Libres	94,4	96,0	46,7	66,4
Berón de Astrada	48,7	54,9	60,3	41,4
Santo Tomé	57,3	43,8	28,1	33,5
Monte Caseros	18,7	33,6	24,7	24,3
San Martín	30,6	18,1	16,1	0,0
Lavalle	19,8	19,7	14,1	29,4
San Roque	40,2	20,6	14,9	26,1
General Paz	1,6	21,5	14,9	9,9
General Alvear	9,9	13,7	6,3	6,9
Empedrado	11,7	15,4	9,9	10,3
Saladas	19,7	18,8	11,3	12,2
Sauce	6,9	6,2	6,2	6,0
Ituzaingo	9,3	11,9	6,2	10,1
Bella Vista	11,3	10,2	6,2	10,4
Esquina	27,0	15,5	12,7	21,6
Itatí	2,9	6,2	1,2	7,6
Capital	6,6	0,0	0,0	1,1
Goya	12,7	1,7	2,9	3,6
San Miguel	4,8	0,5	18,0	32,9
Concepción	0,0	4,2	1,9	4,0
TOTAL	624,4	612,4	452,3	527,2

Tabla 8: Siembra directa con riego continuo:

	1 x 1000 toneladas de CO _{2eq.}			
Departamentos	Campaña 2000/01	Campaña 2001/02	Campaña 2002/03	Campaña 2003/04
Mercedes	84,7	58,0	76,4	95,1
Curuzú Cuatiá	54,4	51,5	55,9	75,2
Paso de los Libres	86,0	72,6	54,6	86,2
Berón de Astrada	27,6	28,1	38,8	37,1
Santo Tomé	20,7	11,8	11,8	19,3
Monte Caseros	19,1	27,0	29,4	33,5
San Martín	12,1	3,7	7,6	0,0
Lavalle	10,1	7,5	9,4	25,3
San Roque	24,8	11,3	11,9	24,3
General Paz	0,6	6,5	6,6	6,2
General Alvear	4,9	4,9	4,2	5,4
Empedrado	7,5	9,9	7,1	10,4
Saladas	13,8	13,9	10,0	11,8
Sauce	3,5	2,2	3,9	4,7
Ituzaingo	2,6	2,4	2,0	4,0
Bella Vista	6,7	5,2	4,8	9,7
Esquina	23,2	12,4	12,5	23,1
Itatí	1,6	3,0	0,7	6,4
Capital	3,9	0,0	0,0	1,0
Goya	6,1	0,5	1,8	2,5
San Miguel	2,8	0,3	11,5	30,1
Concepción	0,0	1,8	1,3	3,2
TOTAL	416,7	334,4	362,1	514,5

Modelación de las emisiones de gases efecto invernadero en el cultivo de arroz (Oryza sativa) en la provincia de Corrientes.

Esta información se plasmó en un mapa comparativo de la provincia de Corrientes de manera de hacer más visibles los diferentes valores obtenidos por cada departamento (Figura 9).

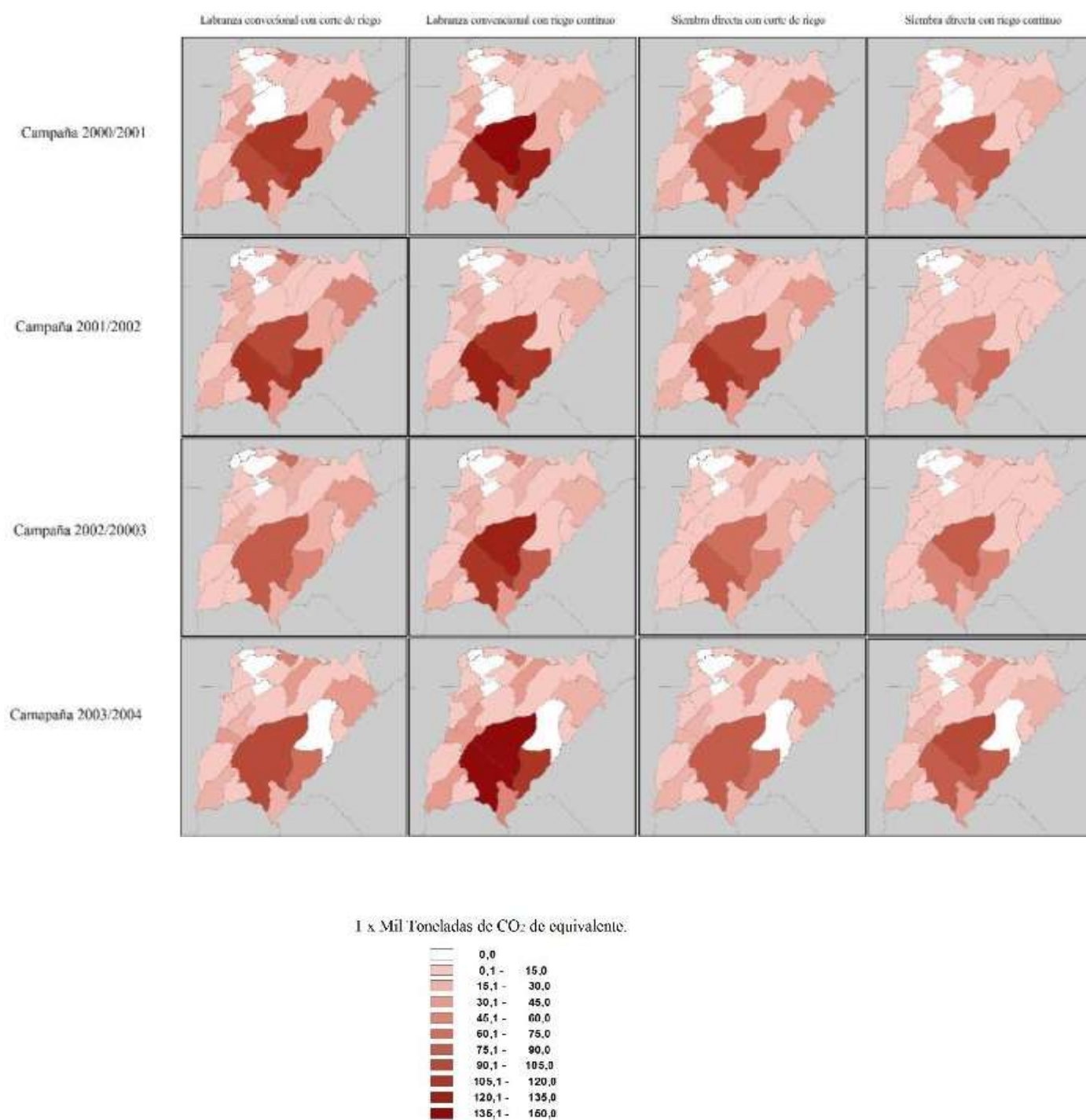


Figura 9: Cuadro de mapas comparativos de emisiones en la provincia en diferentes campañas y con los manejos mencionados.

COMENTARIOS

La experiencia realizada en la estación experimental fue productiva para aprender y adquirir destrezas en organización, recopilación de datos y manejo de programas de computación de relevancia agraria y ambiental, otorgándome herramientas para poder utilizarlas en mi futuro, como profesional.

En lo que respecta al tema, fue beneficioso conocer de qué manera impacta el cultivo de arroz en relación con los gases de efecto invernadero, y cómo los posibles manejos del cultivo influyen de manera diferente en lo que las emisiones se refieren. Se observó claramente que en la combinación de distintas estrategias de manejo es donde, según la modelación, se producirían menos emisiones de GEI.

Tal como se observa el escenario número cuatro (Siembra directa con riego continuo) para las diferentes campañas del cultivo, es el escenario en el que menos emisiones se observan. Haciendo posible este manejo como una medida de mitigación, siempre y cuando la situación lo permita.

Como futuro profesional aconsejaría a los establecimientos, empresas o productores agrícolas que tengan presente este tipo de herramienta. La modelación de un cultivo a escala regional o local puede proveer de información muy útil de acuerdo a las necesidades del usuario.

A su vez, la experiencia me demostró de qué manera se realizan proyectos de investigación, de forma individual y con ayuda de un grupo de trabajo, y como debo proceder a la hora de realizarlo.

BIBLIOGRAFÍA:

- ACPA, 2016. Asociación Correntina de Plantadores de Arroz <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/>. Fecha de consulta 24/09/2016.
- ACPA-BCER. 2013. Memoria descriptiva. Relevamiento arrocerero nacional. Informa de campaña 2012-13. Fin de cosecha. Asociación Correntina de Plantadores de Arroz-Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Corrientes. 9 pp.
- Barros V. y C. Vera. 2015. Capítulo 4. La vulnerabilidad al cambio climático e impactos observados. *In*. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 282pp.
- Bouwman, A. F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 46:53-70. *In*: Domínguez et al. Emisiones de óxido nitroso por suelos cultivados con arroz: efecto de un inhibidor de la nitrificación. Pag. 51.
- DNDC ®. 2012. Institute for the Study of Earth, Oceans and Space University of New Hampshire. <http://www.dndc.sr.unh.edu>, Fecha de consulta: 16/09/2016.
- Escobar E.H, H.D Ligier, R Melgar, H. Matteio y O VALLEJOS. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500.000. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales E.E.A. INTA – Corrientes. 315 págs.
- Gilhespy S.L.; S. Anthony; L. Cardenas; D. Chadwick; C. Li; T. Misselbrook; R. M. Rees; W. Salas; A. Sanz-Cobena; P. Smith; E. L. Tilston; F.E. Topp; S. Vetter; J. B. Yeluripati. 2014. First 20 years of DNDC (DeNitrification DeComposition): Model evolution. *Ecological Modelling* 292: 51–62.
- Henry O. B. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. <http://www.ideam.gov.co>, Fecha de consulta 17/02/2017.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge (UK), 881pp.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. En: “Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC”. *In*: “Suelos, producción agropecuaria y cambio climático”. Págs. 185-193.
- Irisarri, P.; Gonnet, S.; Deambrosi, E. and Monza, J. 2007. Cyanobacterial inoculation and nitrogen fertilization in rice. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 23:237-242.

- Kurtz, D; J Fedre; D Ligier. 2016. Capítulo 1: Importancia del cultivo y zonas arroceras In Guía de Buenas Prácticas para el cultivo de Arroz en la provincia de Corrientes. Ed. INTA. Pág. 69.
- Li, C., S. Frolking, T.A. Frolking. 1992. A model of N₂O evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. J. Geophys. Res. 97: ,9759–9776.
- Li, C.; J. Aber, F Stange, K Butterbach-Bahl, H Papen, 2000. A process-oriented model of N₂O and NO emissions from forest soils: 1. Model development. J. Geophys. Res. 105, 4369–4384.
- Ligier, D. 2008. Zonas arroceras. *In*: Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes. INTA. Centro Regional Corrientes. Págs. 9-14. ISSN 1852-0928.
- MAYDS. 2017. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/> Última visita: 22/09/17
- Murphy G.M. (Ed.). 2008. Atlas Agroclimático de la Argentina. Ed. Facultad de Agronomía UBA. Pág. 130.
- Serio LA, 2006. El Cambio Climático Global. Revista Facultad de Agronomía UBA 26: 275-289.
- SIGA 2 (2017). <http://sigas2.inta.gov.ar/> Fecha de consulta: 03/10/2016.
- SiSINTA (2017). <http://sisinta.inta.gov.ar/> Fecha de consulta: 03/10/2016.
- Snyder, CS; TW Bruuksena & TL Jensen. 2007. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management. A literature Review. Intenational Plant Nutrition Institute: 1-25.
- Wang J. Y. (1960) A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology 41:785-790.

OPINIÓN DEL ASESOR:

El Sr. R. Julián Antonelli Roch se dedicó con esmero y responsabilidad a las tareas inherentes a su Trabajo Final de Graduación. Realizó intensas búsquedas bibliográficas y consultas en el lugar de trabajo. Cabe destacar la tarea realizada en forma colaborativa con el Lic. R. Barrios del grupo de RRNN de la EEA-Corrientes con quién elaboraron los mapas de emisiones, fue muy valorada la tarea de integración al grupo de trabajo.

Los datos surgidos del presente trabajo aportan información sumamente valiosa ante futuros emprendimientos en pos de evaluar *in situ* las emisiones de Gases con Efecto Invernadero en arroceras de la zona.

La evaluación de efectos antrópicos ante la disyuntiva Variabilidad Climática/Cambio Climático ha obtenido una herramienta más para futuras discusiones locales gracias a la invaluable tarea realizada en la presente Pasantía.

Ing. Agr. (Dra.) Carolina Fernández López
Asesora