



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

TÍTULO:

*Influencia del glifosato y sus metabolitos sobre el contenido
de macronutrientes del suelo en la producción de arroz
(Oryza sativa)*

MODALIDAD: Pasantía

ALUMNA: María Micaela BIASSONI

ASESORA: Ing. Agr. Tania Soledad REY MONTOYA

LUGAR DE TRABAJO: Estación Experimental Agropecuaria Corrientes- INTA

INTRODUCCIÓN:

La provincia de Corrientes es líder a nivel nacional tanto en producción como en área sembrada en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). La importancia del cultivo bajo riego y su adaptación a diversos ambientes, incluye aspectos vinculados, principalmente al agua y al suelo, como así también a la vocación agrícola y las tecnologías aplicadas (Ligier, 2008).

El territorio provincial se ha dividido en diez zonas arroceras, con una superficie implantada de 88.218 has en la última campaña 2015/16, y una superficie cosechada de 87.020 has debido a las inundaciones, representando el 46% de la producción nacional y con un rendimiento promedio de 6,6 Tn/ha para la variedad Largo Fino y de 4,2 Tn/ha para Largo Ancho, llevando la producción provincial a 557.289 toneladas, siendo necesario para esto un adecuado manejo del cultivo, aplicación de fertilizantes y fitosanitarios, además del correcto manejo del sistema de riego (ACPA, 2016).

Si bien es necesaria la nutrición balanceada del cultivo, los elementos más importantes a considerar son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales están considerados dentro del grupo de macronutrientes. El N es el nutriente que más limita la producción, ya que afecta todos los parámetros que influyen en el rendimiento y es requerido durante todo el período de crecimiento; el P participa en los compuestos fosforilados encargados del almacenamiento y transporte de la energía necesaria para la realización de los procesos vitales y el K incrementa el número de granos por panoja, el porcentaje de granos llenos y el peso de mil granos. De éstos elementos, la deficiencia de P está ampliamente distribuida en los ecosistemas donde se cultiva arroz en la provincia de Corrientes y es la principal limitante de crecimiento en estos suelos (Méndez et al., 2008).

En cuanto al control químico de malezas, el Glifosato (N-[fosfonometil] glicina) es el herbicida más utilizado en nuestro país, tanto en frecuencia como en intensidad, ya que se aplican extensivamente alrededor de 180 a 200 millones de litros por año (SAyDS, 2008). Es un herbicida de amplio espectro, no selectivo, usado en la agricultura para el control de malezas y plantas herbáceas. Actúa inhibiendo la enzima 3-enolpiruvil-shiquimato-5-fosfato sintasa (EPSPS), localizada en el cloroplasto, interfiriendo en la biosíntesis de aminoácidos aromáticos utilizados para la síntesis de proteínas (Roberts et al., 1998). El uso creciente de éste en la producción, tanto en frecuencia como en intensidad, trajo aparejado numerosas problemáticas, tanto en el destino ambiental, degradación por los microorganismos y el transporte vertical en el perfil (Marín et al., 2003).

Estudios sobre la relación del glifosato con los constituyentes del suelo, indican que el herbicida se inactiva rápidamente debido a su adsorción en el suelo (Sprankle et al., 1975). La presencia de cationes fuertemente quelantes como el Cu, Fe y Al pueden prolongar la vida media del herbicida en el suelo debido a la formación de complejos, los cuales reducen significativamente la disponibilidad del glifosato a la descomposición microbiana (Tsui et al., 2004).

Por otra parte, es conocido que el glifosato se adsorbe a las arcillas minerales y a la materia orgánica y es excluido de estos sitios por los fosfatos inorgánicos (Schuette, 1998); lo que provoca la acentuación del empobrecimiento de fósforo del suelo en magnitud variable (Prata et al, 2003).

Una vez desadsorbido, el glifosato es degradado por bacterias del suelo. La degradación microbiana es considerada como el proceso de transformación más importante que determina la persistencia de la molécula en el suelo (Souza et al., 1999). Este proceso es llevado a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias por la microflora del suelo. Los metabolitos primarios y predominantes son la sarcosina y el ácido aminometilfosfórico (AMPA) que eventualmente se degrada dando agua, dióxido de carbono, amonio y fosfato (Dick et al., 1995).

Ante el actual escenario, Aparicio et al., (2015), sugieren que un estudio de la concentración del agroquímico en distintas matrices ambientales (suelo, agua, material particulado disuelto en

agua o aire y sedimentos), así como estudios básicos de retención, transporte vertical y degradación microbológica permitirá proponer un manejo adecuado para la producción de arroz, con el fin de reducir el riesgo de contaminación basado en datos concretos, minimizando el impacto de los mismos sobre el recurso natural suelo.

OBJETIVOS:

- Determinar la variación entre la concentración de glifosato en el suelo sin la aplicación del herbicida y después de efectuada la misma, así como también la de su metabolito (ácido aminometilfosfórico).
- Establecer la disponibilidad edáfica de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de arroz bajo riego con y sin aplicación de glifosato.
- Evaluar el efecto de las distintas dosis de fertilizante en interacción con glifosato, sobre la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio.

DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DESARROLLADAS

Trabajo a campo:

El trabajo se realizó en el lote denominado “Tacuaral” (Figura 1) situado en la EEA Corrientes- INTA, ubicado en la Ruta Nacional 12, km 1008 El Sombrero, departamento Empedrado (Corrientes) sobre un ensayo conducido desde el año 2013 en colaboración con el Programa Nacional Suelos 1134044, Proyecto Específico “Destino ambiental y degradación de los Pesticidas Agregados al Suelo”, coordinado por la Ing. Agr. (Dra.) Virginia C. Aparicio de la EEA Balcarce.



Figura 1: Ubicación de la EEA Corrientes, INTA (izquierda) y del lote “Tacuaral” (derecha).

Las características edáficas de la parcela son las correspondientes a la serie Treviño (Tabla 1) clasificado como un Argiudol ácuico, con pendientes de 1,5 a 3 % y drenaje moderado. Presenta un horizonte A mólico de 33 cm de espesor, franco arenoso a franco arcillo-arenoso y, a partir de allí, una sucesión de horizontes Bt fuertemente estructurados con rasgos de óxido reducción escasos, manifiestos como concreciones de hierro manganeso, combinados con nódulos de los mismos elementos. (Ligier et al., 2016).

Tabla 1: Datos del perfil del suelo de Serie Treviño (Ligier et al., 2016).

Horizonte	Profundidad (cm)	MO	Granulometría			pH	Cationes de cambio					T	S/T	PSI
			Arcilla	Limo	Arena		Ca	Mg	K	Na	H			
			(%)...	(%)...	(%)...		(cmol kg ⁻¹).....	(cmol kg ⁻¹).....	(cmol kg ⁻¹).....	(cmol kg ⁻¹).....	(cmol kg ⁻¹).....			
Ap	0-18	1,38	19,40	18,30	62,30	6,00	3,00	1,00	0,08	0,22	3,36	7,66	56,14	2,87
A2	18-33	0,97	22,40	19,80	57,80	6,26	6,50	1,10	0,18	0,34	3,20	11,32	71,73	3,00
Btss1	33-56	0,78	47,50	15,60	36,90	6,88	9,20	4,80	0,13	0,42	4,80	19,35	75,20	2,18
Btss2	56-73	0,61	48,10	15,40	36,50	7,84	11,40	2,80	0,17	0,48	-	14,85	100,00	3,23
Btkss	73-93	0,30	42,30	18,36	39,40	8,07	9,20	3,40	0,21	0,53	-	13,34	100,00	4,00
BC	93-112	0,19	39,70	17,50	42,80	7,91	7,20	3,40	0,16	0,50	-	11,26	100,00	4,44

Referencias: MO: materia orgánica; Ca: calcio intercambiable; Mg: magnesio intercambiable; K: potasio intercambiable; Na: sodio intercambiable; S: bases intercambiables, suma de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables; H: acidez intercambiable; T: capacidad de intercambio catiónico, suma de S y H; S/T= (V): porcentaje de saturación de bases, cociente entre bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico; PSI: porcentaje de sodio intercambiable, cociente entre el sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico.

El diseño empleado fue en parcelas completamente aleatorizadas con arreglo factorial (4*2). Los factores fueron: a) Cuatro niveles de dosis de fertilizante de base (0-18-40) (Testigo: 0 Kg ha⁻¹, Dosis 1: 120 Kg ha⁻¹, Dosis 2: 150 Kg ha⁻¹, Dosis 3: 180 Kg ha⁻¹) y b) Aplicación o No de Glifosato (Gly). Los tratamientos fueron ocho, cada uno con cuatro repeticiones, totalizando 32 unidades experimentales con un tamaño de parcela de 72 m².

Además, se realizó una aplicación de Urea de 150 Kg/ha (para todos los tratamientos estudiados) en el estadio de cuatro hojas antes del riego.

Tabla 2: Esquema de los tratamientos respecto fertilización y aplicación de herbicidas.

Tratamiento	Dosis de fertilizante	Aplicación de herbicida
T1	S/Fertilizante	Sin Gly
T2	S/Fertilizante	Con Gly
T3	Dosis 1 (120 Kg ha ⁻¹)	Sin Gly
T4	Dosis 1 (120 Kg ha ⁻¹)	Con Gly
T5	Dosis 2 (150 Kg ha ⁻¹)	Sin Gly
T6	Dosis 2 (150 Kg ha ⁻¹)	Con Gly
T7	Dosis 3 (180 Kg ha ⁻¹)	Sin Gly
T8	Dosis 3 (180 Kg ha ⁻¹)	Con Gly

Preparación de suelo:

La preparación del suelo, se llevó a cabo en el mes de Agosto de 2015. El laboreo de suelo previo se realizó con dos pasadas de rastra pesada y una de Landplane, con el fin de obtener una cama de siembra propicia para la semilla.

La marcación de taipas, se realizó con arado taipero con enganche 3 puntos, accionado por un tractor Massey de 65 CV.

Siembra:

El ensayo se sembró el día 8 de Septiembre de 2015, en compañía de la directora de la presente pasantía, la Ing. Agr. Tania Soledad Rey Montoya y la Ing. Agr. (MSc) Luciana Herber, que conforma el grupo arroz de la EEA. Se utilizó una sembradora experimental marca "Semina" de 9 surcos distanciados 20 cm (Figura 2), lo que da un ancho de labor de 1,8 metros. El sistema de dosificación de la semilla es de tipo Chevrón.



Figura 2: Sembradora de siembra directa "Semina".

Se utilizó una densidad de siembra de 90 Kg ha⁻¹, con el fin de alcanzar el stand mínimo para obtener buenos rendimientos, recomendados por la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas - INTA (Méndez et al., 2008), con una profundidad de siembra de 2 centímetros, con suelo a capacidad de campo.

La variedad elegida para realizar el ensayo fue de grano largo fino: EMBRAPA 7 TAIM, caracterizada por su alto potencial de rendimiento y su disponibilidad en el mercado, de ciclo intermedio con 125 a 130 días de emergencia a cosecha, alta respuesta al nitrógeno, arquitectura foliar eficiente en el uso de la radiación, y entrenudos cortos.

La fecha de emergencia del cultivo fue el 26 de septiembre, la misma se vio retrasada por las condiciones climáticas de bajas temperaturas y ausencia de precipitaciones.

Control de malezas y plagas:

El control de malezas se realizó con Glifosato Full II (sal potásica, 54% p/v), con una dosis de 2,5 litros ha⁻¹, el día 17 de Septiembre de 2015 en pre-emergencia, pulverizado con mochila de precisión según los tratamientos estudiados.

No se realizó control químico en post emergencia, con el fin de no alterar las mediciones futuras de los contenidos del agroquímico en el suelo, siendo éste una variable a determinar en los tratamientos. Por este motivo, el control de maleza en post emergencia fue manual, se realizó el día 14 de Octubre de 2015 (Figura 3) previa a la fertilización con Urea y al riego.



Figura 3: Desmalezado manual del lote.

Las malezas que predominaron en el ensayo fueron, principalmente, arroz germinado proveniente de la campaña anterior, capín (*Echinochloa sp.*), cebollín (*Cyperus rotundus*), pastitos de

agua (*Luziola peruviana* y *Leersia hexandra*), rama negra (*Conyza bonariensis*), *Eleocharis montana*, *Ludwigia bonariensis*, *Urochloa plathyphylla*, entre otras.

Fertilización:

La fertilización de base se realizó el día 9 de septiembre de 2015 y la misma fue aplicada al voleo. Se probaron dosis más bajas y más altas de las utilizadas por los productores zonales (150 Kg ha^{-1}) y en coincidencia con los análisis iniciales del terreno, utilizando mezcla física de Superfosfato Triple (SPT) y Cloruro de Potasio (KCl) se fabricaron las diferentes dosis de 0-18-40.

El día 19 de Octubre de 2015, se realizó la aplicación del fertilizante nitrogenado (Urea granulada) el cultivo en estado de cuatro hojas (V4), en una sola dosis de 150 Kg ha^{-1} en pre-riego.

Riego:

El suelo sobre el cual se realizó el ensayo es óptimo para el cultivo de arroz irrigado (Figura 4), ya que presenta un horizonte sub-superficial que permite reducir dentro del mismo las pérdidas de agua por infiltración. Por este motivo, el consumo promedio del cultivo durante el riego se estima en $13000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aproximadamente (Terenzio, 2008).

El riego se inició el 20 de Octubre de 2015, al día siguiente de la aplicación de urea y duró aproximadamente 90 días. La entrada de agua al ensayo se cortó 20 días posteriores a la floración y se dejó resumir lo que quedaba hasta cosecha.



Figura 4: Lote con cultivo de arroz irrigado.

Se realizaron controles de pérdidas laterales, monitoreando periódicamente las posibles filtraciones, desbordes y roturas de taipas. Se controló a lo largo del riego, la altura de la lámina de agua, ya que, además de permitir un adecuado control de malezas, también influye en la amortiguación de la temperatura superficial del follaje del cultivo.

Cosecha:

La cosecha se realizó el 27 de enero de 2016 manualmente, con una hoz como herramienta de corte (Figura 5). Cada parcela fue cosechada por separado, en bolsas debidamente identificadas con la etiqueta indicadora del número de parcela. Las mismas fueron trilladas y enviadas a la secadora hasta lograr humedades entre 13 y 15 % y luego pesadas para calcular el rendimiento del cultivo expresado en kg ha^{-1} .



Figura 5: Cosecha del cultivo con la hoz.

Muestreo de suelos:

Los muestreos de suelo se realizaron en tres momentos del cultivo: en estadio vegetativo de cuatro hojas antes de realizarse el riego (V4), en Diferenciación de Primordio Floral (DPF) con el suelo inundado, y en madurez fisiológica (MF).

Se realizó un muestreo compuesto en zig-zag previo a la siembra con el fin de tener datos de referencia del lote, previo a los tratamientos (Tablas 3 y 4).

Tabla 3: Datos de referencia del lote antes de comenzar el ensayo.

pH	Cationes de cambio				MO (%)	NT (%)	P (mg g^{-1})
	Ca	Mg	K	Na			
			(cmol kg^{-1})				
5,56	2,55	0,39	0,14	0,26	1,23	0,01	2,79

Referencias: Ca: calcio intercambiable; Mg: magnesio intercambiable; K: potasio intercambiable; Na: sodio intercambiable; MO: materia orgánica; NT: nitrógeno total; P: fósforo disponible.

Tabla 4: Contenido de Glifosato y AMPA iniciales.

Glifosato ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	AMPA ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
8,83	403,83

En los tres últimos muestreos, se efectuaron cuatro repeticiones por cada tratamiento, siendo un total de 96 muestras compuestas.

Las muestras fueron tomadas con un muestreador manual con pico y tacho, empleado principalmente para muestras compuestas a profundidades de hasta 20 cm (Figura 6), el mismo es de acero inoxidable y permite recolectar hasta 13 sub-muestras dentro del colector, succionando el suelo con la presión del operador.

En el caso de los muestreos con el suelo inundado, las muestras se colocaron inmediatamente en una bolsa de polietileno, quitándole todo el aire que pudiera quedar adentro de ella, atándola y cerrándola herméticamente para impedir la entrada de aire y perturbar lo menos posible los procesos de anaerobiosis en que se encontraba el suelo.

Luego, estas muestras se transportaron en conservadoras y se las mantuvo en un freezer a 4°C en el laboratorio hasta el momento de analizarlas. El resto de las muestras, pertenecientes a suelo seco, fueron secadas al aire, molidas y tamizadas (Figura 7).



Figura 6: Muestreador manual con pico tacho.



Figura 7: bandejas de plástico para estufa.

Trabajo de laboratorio:

Glifosato y AMPA:

Para analizar Glifosato y AMPA se enviaron las muestras al Laboratorio de Pesticidas de la EEA Balcarce INTA para la detección y cuantificación a nivel de trazas por Cromatografía líquida de ultra alta presión acoplada a espectrómetro de masas en tándem ESI UHPLC-MS/MS (+/-) (Acquity-Quattro Premier), (Lavagnini et al., 2006).



Fuente: De Gerónimo, 2016.

Figura 8: Cromatógrafo de ultra alta presión acoplado a espectrómetro de masas en tándem.

El uso de este equipamiento, la combinación de UHPLC con el detector MS/MS permite tener la más efectiva manera de cuantificar e identificar cientos de plaguicidas analizados en una gran variedad de matrices, a mayor velocidad y mayor resolución (De Gerónimo et al., 2014).

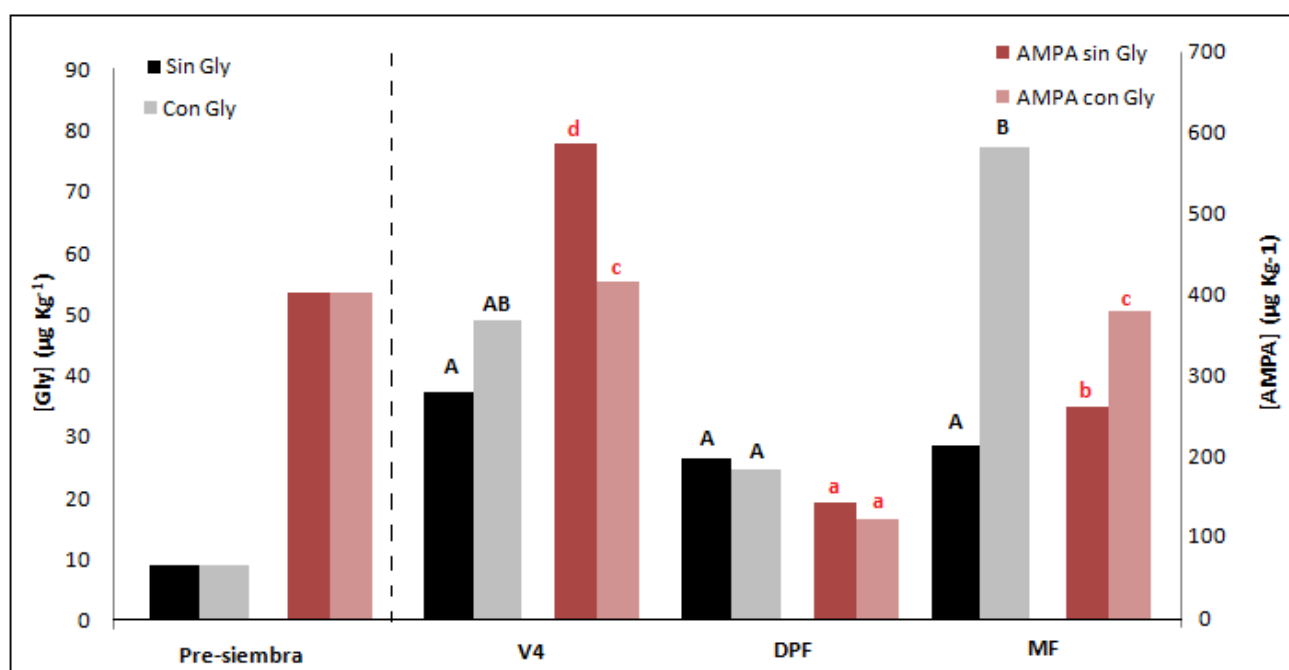


Figura 9: Variación en la concentración de glifosato y AMPA según los tratamientos con y sin aplicación. Letras distintas indican diferencia significativa ($p < 0,05$). Mayúsculas corresponden a [Gly] y minúsculas a [AMPA].

En la figura 9, se muestra la relación que existe entre la concentración de glifosato y su metabolito AMPA con y sin aplicación del herbicida, independientemente de la fertilización. Se relacionaron los contenidos de los mismos en cuatro momentos: en pre-siembra (tomado como

referencia), V4 (30 días después de aplicado), DPF (80 días post-aplicación) y MF (125 días post-aplicación), encontrándose niveles de glifosato y AMPA en el 100% de las muestras.

La persistencia del glifosato en el ambiente según la Unión Europea es de 4 a 180 días (Aparicio et al., 2015). El destino del mismo en el suelo, está regido por los procesos de retención, transporte, degradación e interacción (Cheng, 1900) y la predominancia de uno sobre otro, va a depender de las características del suelo. Dentro de los factores más importantes que influyen en el destino del plaguicida, se encuentra el coeficiente de distribución (K_d) o capacidad de adsorción de las partículas al suelo (Aparicio et al., 2015). En el caso de los suelos de Corrientes, los mismos se caracterizan por poseer una baja adsorción del plaguicida al suelo y un mayor potencial de pérdida por lixiviación o disuelto en el escurrimiento (De Gerónimo et al., 2014).

Como se observa en la figura 9, los resultados obtenidos demuestran que la concentración de glifosato y AMPA varían en cada etapa del cultivo estudiado. En primer medida, se observaron contenidos de ambos en pre-siembra, residuos de campañas anteriores que posiblemente quedaron retenidos en el suelo. Por otro lado, analizando la variable Gly se encontraron diferencias significativas donde la mayor concentración de glifosato fue en MF en los tratamientos con aplicación del herbicida seguido de V4 y éste a su vez mayor que el resto de los tratamientos. En cuanto a la concentración de AMPA se encontraron valores que en V4 sin Gly fueron mayores que V4 y MF con Gly a su vez mayores que MF sin Gly seguido del estadio DPF sin diferencia entre los tratamientos con y sin glifosato.

La relación encontrada entre las moléculas es directa ya que se denota que la concentración del AMPA es proporcional a la de glifosato, es decir, a mayor presencia de la molécula original, mayor es el contenido del metabolito incluso después de 125 días de la aplicación del herbicida.

Cabe destacar que en suelo inundado (DPF) ambas moléculas presentaron una disminución de su concentración probablemente por estar disueltos en el agua, volviendo a aumentar la misma después de que se cortó el riego.

Macronutrientes:

Las muestras de macronutrientes se analizaron en el laboratorio de Suelos, Aguas y Vegetales de la EEA Corrientes INTA. Se determinó:

Nitrógeno total:

Se utilizó el método de Kjeldhal (Sparks et al., 1996), obteniéndose los siguientes resultados:

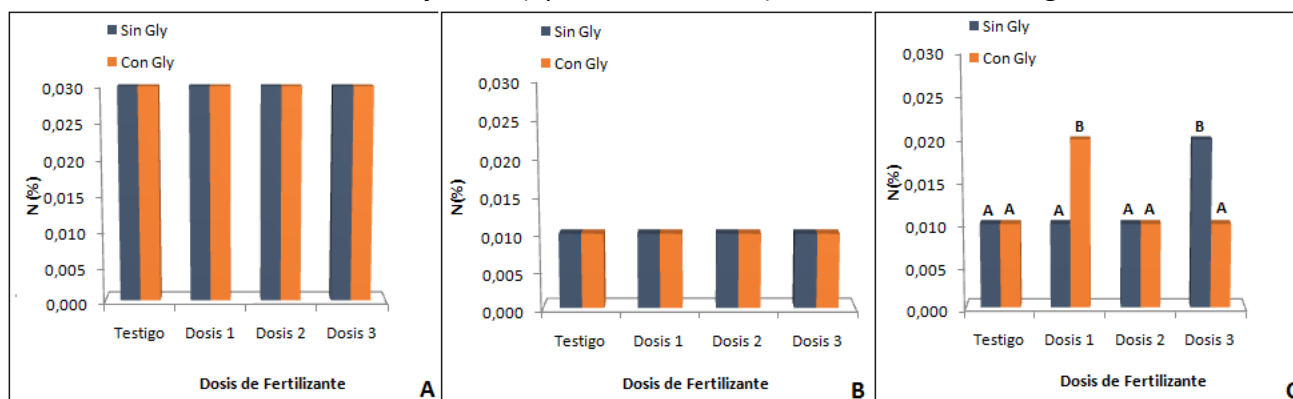


Figura 10: Disponibilidad edáfica de N en tres momentos del cultivo: A) V4, B) DPF y C) MF. Letras distintas indican diferencias significativas, a ausencias de letras indican que no hay significancia ($p < 0,05$).

Se analizaron con el software estadístico Infostat los datos obtenidos para los ocho tratamientos establecidos; se aplicó ANOVA particionando por momentos, evaluando la fertilización y la aplicación de glifosato.

En el caso de la disponibilidad de N, en las figuras 10 A y B, las pruebas resultaron no significativas ($p < 0,05$), por lo tanto, no hay significancia entre los tratamientos en cuanto a fertilización y aplicación de glifosato. Lo que se puede observar es que es mayor la disponibilidad de N en la solución del suelo cuando el cultivo se encontraba en V4 (Figura 10.A), lo que puede deberse al mayor pH del suelo en ese momento, con un rango que variaba entre 5-5,5; como así también a la extracción por parte de la planta. En cambio en DPF (Figura 10.B) se observó menor disponibilidad que en V4 en todos los tratamientos, considerando que el suelo se encontraba inundado, con un pH ligeramente ácido, entre 4 y 5, lo que trae aparejado la disminución de la disponibilidad del N en la solución del suelo.

Ya que el lote posee un horizonte superficial levemente ácido, como se observa en la tabla 1, se espera que el pH del mismo se eleve. En este caso, no fue lo observado, no sólo no se mantuvo, sino que disminuyó hasta en una unidad. Este efecto acidificante, se puede deber a la producción de ácidos orgánicos durante la respiración anaeróbica, como así también a la oxidación del amonio (NH_4^+) a Nitratos (NO_3^-) proveniente de la fertilización (Morales, 2005).

En MF el suelo ya estaba drenado pero sin recuperar el valor de su pH original. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, presentando los mayores valores T4 y T7 (Figura 10.C).

Para evaluar el efecto de las distintas dosis de fertilizantes en interacción con el glifosato, se particionó según las distintas dosis: Testigo, Dosis 1, Dosis 2 y Dosis 3 en los tres momentos del cultivo.

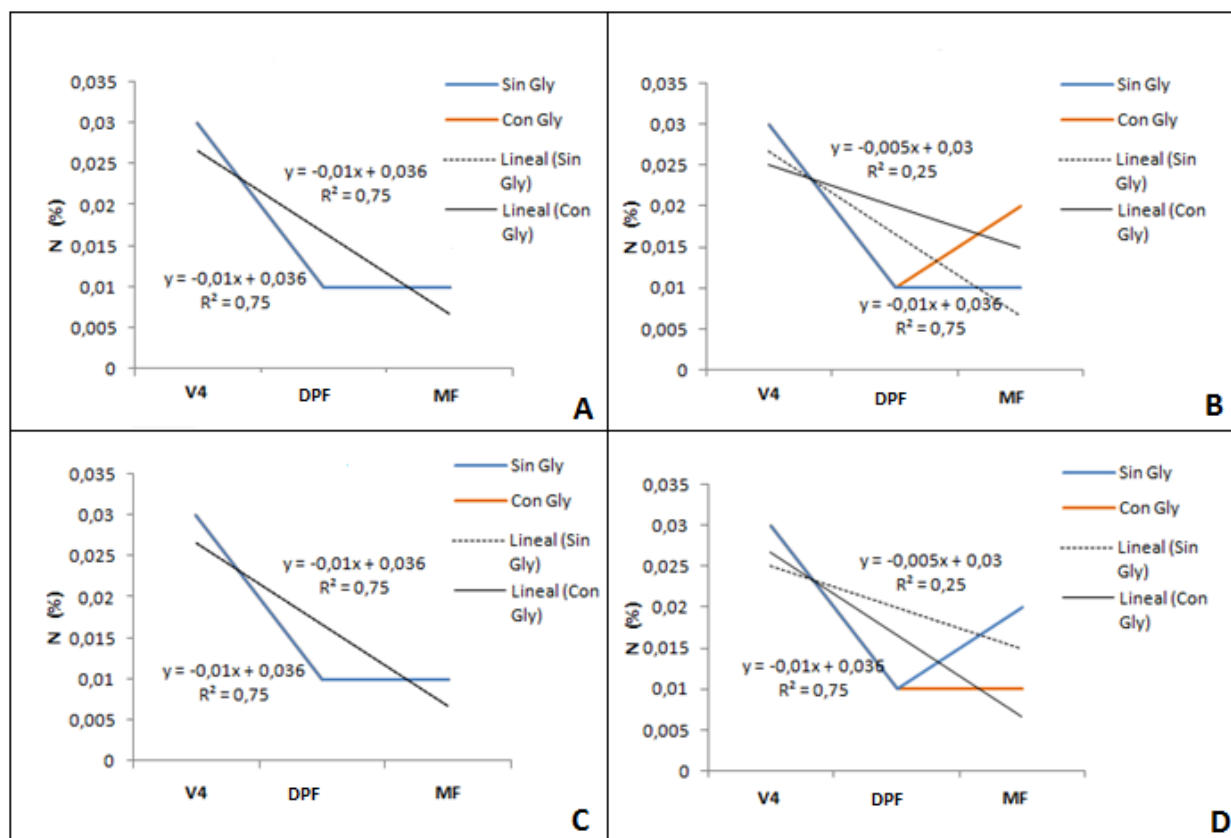


Figura 11: Efecto de las distintas dosis de fertilizantes en interacción con glifosato sobre la disponibilidad de N. A) Testigo; B) Dosis 1; C) Dosis 2; D) Dosis 3.

En el testigo (Figura 11.A) y la Dosis 2 (Figura 11.C) no se encontraron interacciones significativas ($p < 0,05$), presentando una relación negativa a medida que avanza la etapa del cultivo. En la Dosis 1 (Figura 11.B) la función también posee pendiente negativa, pero en el caso del tratamiento con glifosato, el contenido de N aumentó en los estadios avanzados (MF), contrariamente a lo que sucede en la Figura 11.D, donde el tratamiento sin glifosato es el que aumenta en MF.



Figura 12: Determinación y equipamiento de nitrógeno en el laboratorio.

Fósforo:

El método utilizado fue el de Bray & Kurtz I (Kuo et al., 1996) tanto para muestras secas como para las húmedas.

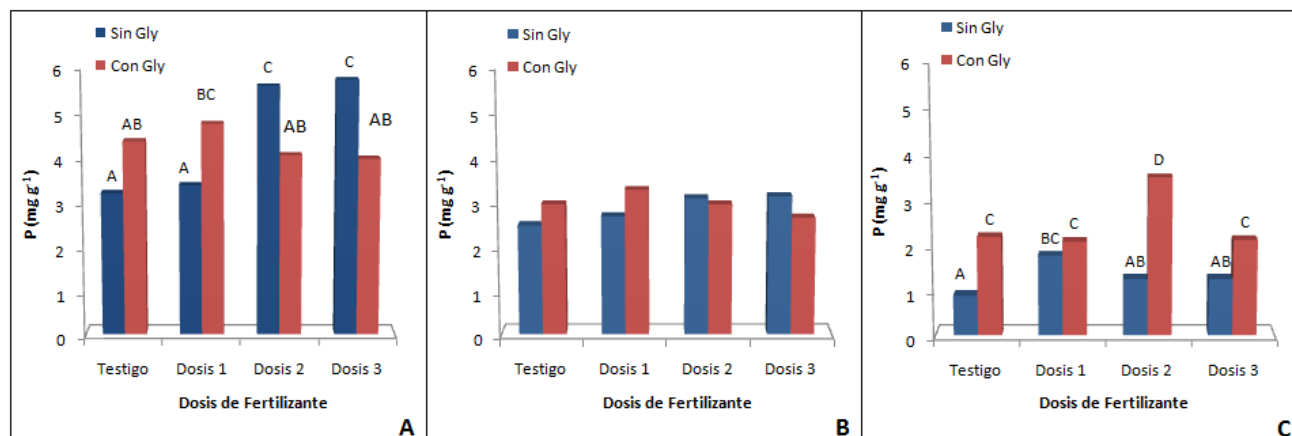


Figura 13: Disponibilidad edáfica de P en tres momentos del cultivo: A)V4; B)DPF y C)MF. Letras distintas indican diferencias significativas, a usencias de letras indican que no hay significancia ($p < 0,05$).

Como se observa en la figura anterior, en la mayoría de los tratamientos, independientemente de la fertilización y aplicación de glifosato el contenido de P en MF fue menor que en DPF y éste a su vez, menos que en V4, demostrando de esta manera la extracción de P por parte de la planta, como así también el efecto de pH en el suelo según su disponibilidad.

En V4 (Figura 13.A), se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. El test de Duncan dio como resultado que, con los valores mínimos en T1 y T3, y los máximos en T5 y T7, destacándose que éstos son tratamientos sin la aplicación del herbicida. En DPF (Figura 13.B) no se encontraron diferencias significativas en la disponibilidad de P en ninguno de los tratamientos por lo que en la figura se omiten las letras de significancia, mientras que en MF (Figura 13.C) sí se encontraron diferencias y se observan los valores mínimos en el T1 y el máximo en T6. También se puede notar que en MF la disponibilidad de P en la solución del suelo fue mayor en todos los tratamientos con la aplicación del herbicida, independientemente de la dosis de fertilización.

Para evaluar el efecto de las distintas dosis de fertilizantes en interacción con el glifosato, se particionó según las distintas dosis: Testigo, Dosis 1, Dosis 2 y Dosis 3 en los tres momentos del cultivo.

Como se puede ver en la Figura 14.A, las funciones para el testigo, muestran una relación negativa y sin interacción significativa ($p < 0,05$) entre el contenido de P y glifosato en el suelo a medida que avanza el ciclo del cultivo, siendo mayor el contenido de P en el caso del lote tratado con glifosato. Al agregar fertilizante (figuras 14.B,CyD) se puede observar que hay una posible interacción entre los tratamientos con aplicación y sin aplicación de glifosato.

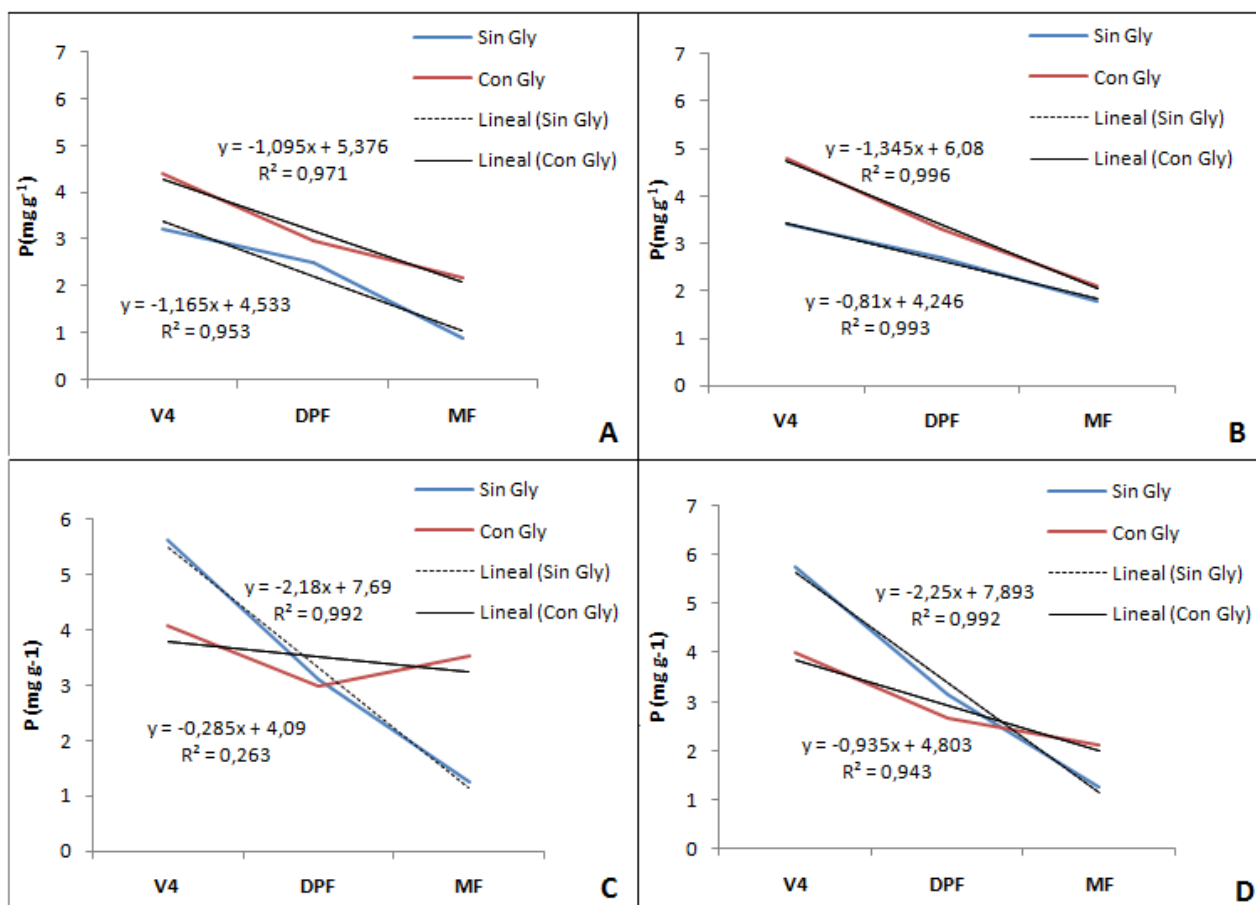


Figura 14: Efecto de las distintas dosis de fertilizantes en interacción con glifosato sobre la disponibilidad de P. A) Testigo; B) Dosis 1; C) Dosis 2; D) Dosis 3.

La figura 14.B parece tener un comportamiento similar al testigo con contenidos de P mayores en los tratamientos con glifosato a lo largo de las etapas del cultivo, en cambio en la Dosis 2 y Dosis 3 (figuras 14.CyD) los mayores contenidos de P se encuentran en los tratamientos sin glifosato en V4 con una marcada caída en MF, donde los mayores contenidos presentan los tratamientos con aplicación del herbicida.

Lo anteriormente expuesto coincide con lo encontrado por Schuette, (1998) ya que los fosfatos compiten con los sitios de adsorción del glifosato y su metabolito AMPA, quedando disponibles en la solución del suelo y el herbicida retenido en las arcillas. Por otro lado, los resultados no concuerdan con lo estipulado por Prata et. al (2003) quien dice que se produce un empobrecimiento del P en el suelo, esto se puede deber, a la alta concentración del herbicida en el suelo y a su adsorción en el mismo, dejando los fosfatos libres en la solución del suelo, produciendo por lo contrario, un enriquecimiento del mismo.



Figura 15: Determinación de fósforo en el laboratorio.

Potasio:

Se determinó potasio intercambiable mediante el método de Acetato de Amonio a pH=7. (Sparks et al., 1996).

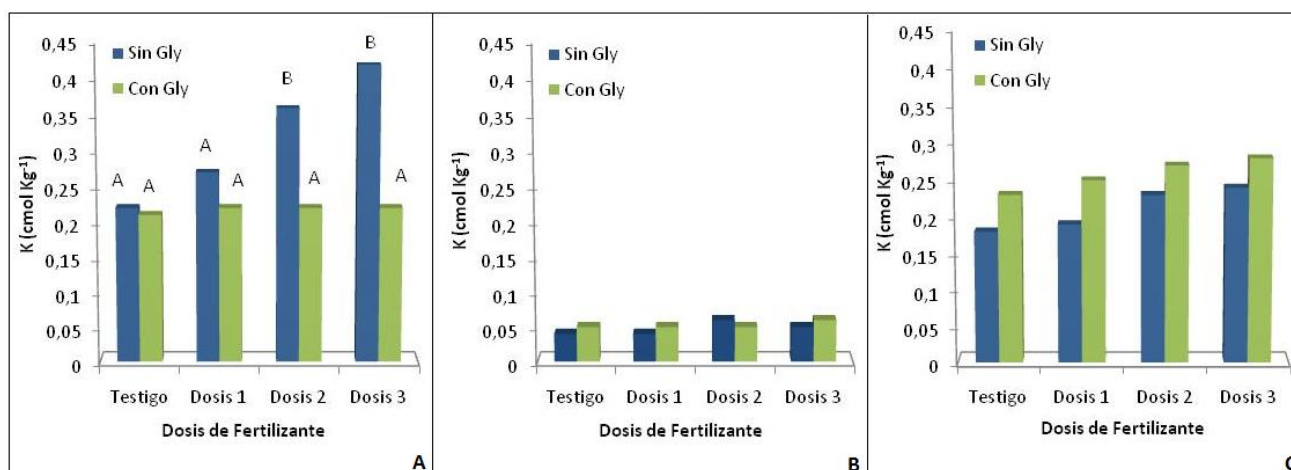


Figura 16: Disponibilidad edáfica de K en tres momentos del cultivo: A) V4, B) DPF y C) MF. Letras distintas indican diferencias significativas, ausencias de letras indican que no hay significancia ($p < 0,05$).

Para la disponibilidad de K, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en V4 (Figura 16. A) siendo mayores los tratamientos T5 y T7. Por otro lado, en DPF (Figura 16.B) y en MF (Figura 16.C), la prueba resultó no significativa ($p < 0,05$), aunque se observan valores de disponibilidad menor en DPF y mayor en MF, coincidiendo con Ponnamperuna (1964) quien aseveró que el desplazamiento del K^+ intercambiable puede hasta duplicar la concentración del K^+ en la solución del suelo después de que el suelo haya sido inundado, indicado por un aumento en la conductividad eléctrica del suelo.

Para evaluar el efecto de las distintas dosis de fertilizantes en interacción con el glifosato, se particionó según las distintas dosis: Testigo, Dosis 1, Dosis 2 y Dosis 3 en los tres momentos del cultivo.

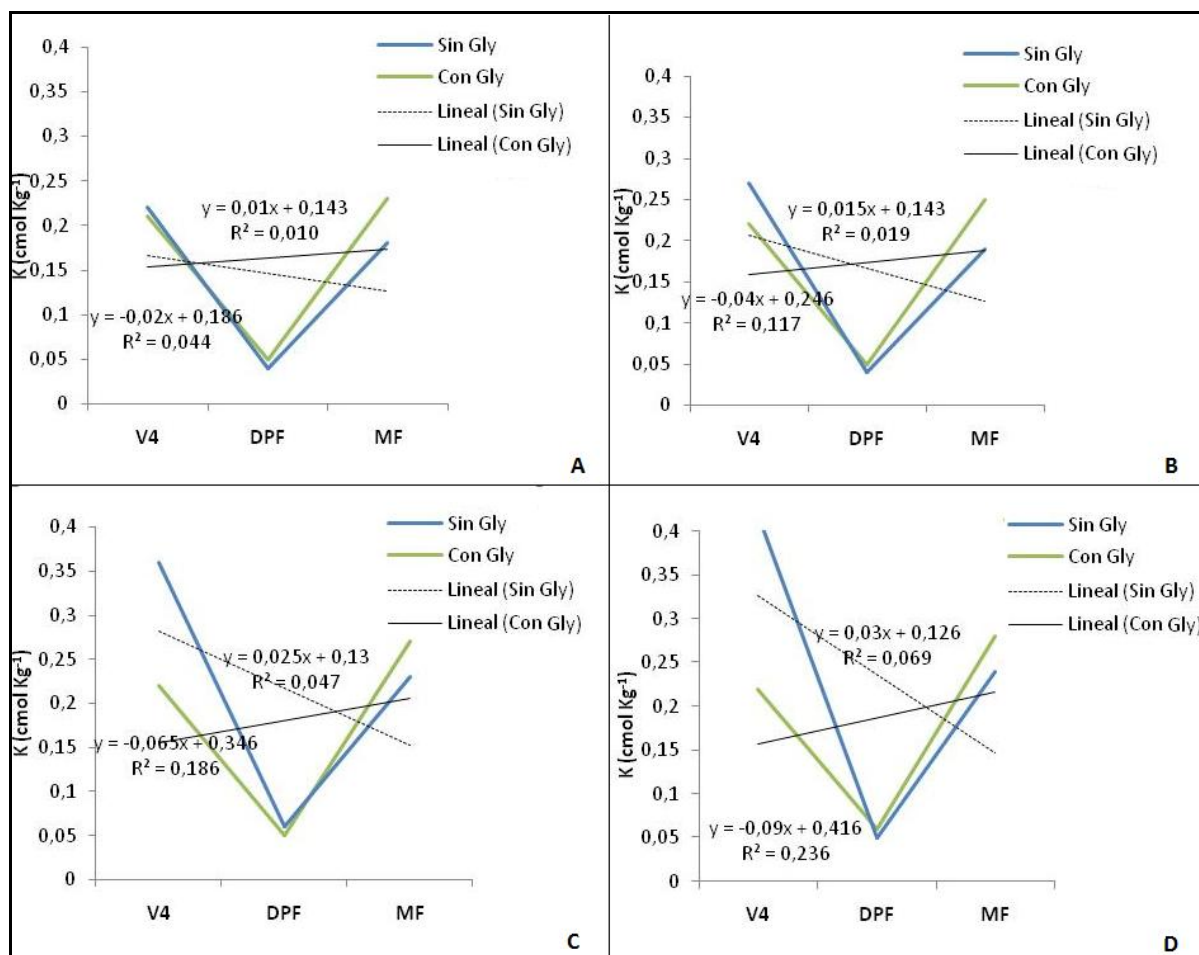


Figura 17: Efecto de las distintas dosis de fertilizantes en interacción con glifosato sobre la disponibilidad de K según A) Testigo; B) Dosis 1; C) Dosis 2 y D) Dosis 4.

Como se observa en la figura 17, el efecto de las dosis de fertilizantes en interacción con el glifosato, no son significativos ($p < 0,05$) sobre la disponibilidad de K, considerando los bajos valores de R^2 . En el caso de la fertilización de testigo (Figura 17.A), para evaluar el efecto de las distintas dosis de fertilizantes, se observa que para los dos tratamientos de aplicación, el comportamiento es similar. La línea de tendencia es aproximadamente uniforme a lo largo del tiempo, con una leve pendiente positiva para tratamientos con el herbicida y una leve pendiente negativa en el caso de lotes sin glifosato, en coincidencia con la Dosis 1 (Figura 17.B), mientras que la Dosis 2 (Figura 17.C) y Dosis 3 (Figura 17.D) presentan el mismo comportamiento, tanto sus líneas de tendencia como las funciones, con pendientes positivas en aplicaciones con glifosato y viceversa.

COMENTARIOS:

El trabajo final de graduación que realicé en la EEA Corrientes, me sirvió para aprender técnicas prácticas tanto en la parte de campo, realizando tareas básicas del manejo de cultivo de arroz como cálculo de semillas y fertilizantes, aplicaciones, sistemática del riego, cosecha, muestreo de suelos, entre otros; de laboratorio, aprendiendo todos los pasos con los cuales se procesan las muestras de suelo desde que ingresan al laboratorio hasta obtener los resultados finales, técnicas como la de Kjeldahl para la determinación de nitrógeno total, Bray & Kurtz I para determinar fósforo disponible y el método de acetato de amonio para la determinación de potasio intercambiable; y de análisis de datos, utilizando los datos que arrojaban los equipos a planillas formuladas y la posterior interpretación de resultados, destacando que utilicé para los análisis de laboratorio métodos normalizados o en procesos de normalización de normas IRAM provistos por la red de interlaboratorios de INTA (RILSAV).

Asistí a distintos talleres organizados por el INTA dentro del Programa Nacional Suelos y en el marco del Proyecto Específico, gracias a esto pude ampliar y profundizar mis conocimientos en el tema del glifosato, su degradación en el suelo y su destino ambiental, afianzando los conceptos aprendidos en el cursado de la carrera.

Por último, esta pasantía también me sirvió para construir lazos amistosos y colaborativos dentro de una institución, entender la importancia del trabajo en equipo y multidisciplinar que se necesitan a la hora de proponer un ensayo campo-laboratorio.

AGRADECIMIENTOS:

- A las autoridades de la EEA Corrientes por los permisos concedidos.
- Al Grupo Recursos Naturales por recibirme para realizar la pasantía, por la calidez humana, el compañerismo y la inclusión al grupo.
- Al Grupo Arroz, especialmente a la Ing. Agr. (MSc) Luciana Herber por ser la guía a campo, al personal de campo y al Ing. Agr. Alfredo Marín por brindarme un espacio físico donde plasmar el ensayo.
- A la Ing. Agr. (Dra) Virginia Aparicio y al Bioquímico Eduardo de Gerónimo por los análisis realizados en la EEA Balcarce y el acompañamiento desde el PN Suelo.

OPINION DEL ASESOR:

En mi carácter de asesora AVALO la presentación del trabajo final de graduación modalidad pasantía de la Srita. **María Micaela BIASSONI** (DNI 36634952), el cual fue llevado a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Corrientes bajo la dirección de quien suscribe.

Cabe destacar que la alumna ha colaborado activamente en diferentes actividades llevadas a cabo por el Grupo de Recursos Naturales de dicha institución, más precisamente en el Laboratorio de Suelos Aguas y Vegetales en el que adquirió experiencia en los análisis de rutina que éste realiza. Se ha desempeñado con responsabilidad y aplicación en todas las tareas encomendadas, además de su buen comportamiento y amabilidad con el resto del grupo de trabajo.

Ha participado de diversos cursos y jornadas durante este años en diferentes temáticas, lo que hace a una formación profesional más íntegra.

Por lo anteriormente expuesto considero de importancia su trabajo final de graduación, que, conjuntamente con lo académico fortalece su formación y los vínculos entre estudiantes y profesionales investigadores de distintos ámbitos.

Ing. Agr. Tania Soledad REY MONTOYA

BIBLIOGRAFÍA:

- ACPA. Asociación Correntina de Plantadores de Arroz. 2016. <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/>. Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2016.
- Aparicio V.C.; E. De Gerónimo; K. Hernández Guijarro; D. Pérez; R. Portocarrero & C. Vidal. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Ediciones INTA. ISBN:978-987-521-665-5. 73 pp.
- Cheng H. Y. 1990. Status of the rulein Kaon Decay. International Journal of Modern Physics A 4:495-582.
- De Gerónimo E.; V.C. Aparicio; S. Bárbaro; R. Portocarrero; S. Jaime & J. L. Costa. 2014. Presence of pesticides in surface water from four-basins in Argentina. Chemosphere 107:423-431.
- Dick R.E. & J.P. Quinn. 1995. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. Applied Microbiology and Biotechnology. 43: 545-550.
- Lavagnini I.; F. Magno; R. Seraglia & P. Traldi. 2006. Quantitative Applications of Mass Spectrometry. ISBN: 978-047-002-516-1.
- Ligier D. 2008. Zonas arroceras. En: Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes. INTA. Centro Regional Corrientes. 9-14 pags. ISSN 1852-0928.
- Ligier D. (editor). 2016. Relevamiento de suelos y aptitud de tierras en los departamentos Monte Caseros y Empedrado - Provincia de Corrientes- Consejo Federal de Inversiones. Grupo Recursos Naturales, INTA EEA Corrientes. 296 pp.
- Marín A.R.; M.I. Pachecoy; J. Casco; P. Pizzio & O. Romero. 2003. Ensayos Regionales de Cultivares 2012/13. En: Proyecto Arroz. Resultados Campaña 2012-2013. INTA. Centro Regional Corrientes. XXI: 1-12. ISSN 0327-4209.
- Méndez M. 2008. Nutrición y fertilización del arroz. En: Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes. INTA. Centro Regional Corrientes. 39-44 pp. ISSN 1852-0928.
- Morales L.A. 2005. Suelos encharcados y mal drenados con especial énfasis en suelos arroceros. Secretaria General de Ciencia y Técnica UNNE. 23 pp.
- Ponnampetuma, F. N. 1964. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. En *Symposium on the Mineral Nutrition of the Rice Plant*. International Rice Research Institute. Los Baños, 1964 Proceedings. Los Baños Philippines. 295-328 pp.
- Prata F.; V. Camponez; A. Lavorenti; V.L. Tornisielo & J. Borges. 2003. Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct phosphorus levels. Sci. Agric. 60: 175-180.
- Roberts T.R.; D.H. Hutson; P.W. Lee; P.H. Nicholls & J.R. Plimmer. 1998. Metabolic pathway of agrochemicals. Part 1: Herbicides and plant growth regulators, first ed. The Royal Society of Chemistry, London, pp. 386-400.
- SAsDS (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable). 2008. El avance de la frontera agropecuaria y sus consecuencias. Subsecretaría de Planificación y Política Ambiental- Dirección Nacional de Ordenamiento Ambiental y Conservación de la Biodiversidad. Disponible en: www.ambiente.gov.ar/archivos/web/File/032808_avance_soja.pdf
- Schuette J. 1998. Environmental fate of glyphosate. Environmental monitoring and pest management, Department of Pesticide Regulation. Sacramento, CA 95824-5624. 13pp.
- Souza A.P.; F.A. Ferreira; A.A. Silva; A.A. Cardoso & H.A. Ruiz. 1999. Respiração microbiana do solo sob doses de glyphosate e de imazapyr. Planta Daninha. 17:387-398.

- Sparks D.L.; A.L. Page; P.A. Helmke; R.H. Loeppert; P.N. Soltanpour; M.A. Tabatabai; C.T. Johnston & M.E. Sumner. 1996. Methods of soil analysis. Parte 3. Chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. 1389 pp.
- Sprankle P.; Meggit W.F. & D. Penner. 1975. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. WeedSci. 23:229-234.
- Terenzio F. 2008. Riego. *En: Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes*. INTA. Centro Regional Corrientes. 59-62 págs. ISSN 1852-0928.
- Tsui M. T. K. & Chu L. M. 2004. Comparative toxicity of glyphosate-based herbicides: Aqueous and sediment pore water exposures, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 46:316-323.