

Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos

Ignacio A. Ciampitti¹, Federico G. Micucci¹, Hugo Fontanetto² y Fernando O. García¹

¹INPOFOS Cono Sur, ²EAA INTA Rafaela
iciampitti@inpofos.org

Introducción

La práctica de fertilización involucra la determinación de la dosis de fertilizantes, el momento y la tecnología de aplicación. Precisamente, en este último factor mencionado, se debe destacar la ubicación del fertilizante con respecto a la semilla, cuando la fertilización es realizada en el momento de siembra de los cultivos. En la actualidad, muchas sembradoras están equipadas como para aplicar el fertilizante fuera de la línea de siembra, pero no todas las sembradoras presentes en actividad ofrecen esta posibilidad, sobretodo maquinarias utilizadas para la siembra de grano fino y equipos que quedaron obsoletos debido al transcurso del tiempo. En algunas situaciones existe la necesidad de aplicar todo el fertilizante a la siembra de los cultivos. En esos casos, las aplicaciones de fertilizantes en la línea de siembra pueden ser más efectivas y generar una mayor respuesta respecto de las aplicaciones al voleo (Randall y Hoeft, 1988).

El poder determinar la correcta ubicación del fertilizante es tan importante como realizar un correcto diagnóstico mediante análisis de suelo, para recomendar la dosis de producto a aplicar. En la actualidad existen numerosos métodos de ubicación del fertilizante. Esta variable interviene en la maximización de la eficiencia del uso del fertilizante, y su incorrecto manejo involucra efectos negativos desde una reducción en la tasa de germinación y emergencia de las semillas hasta la pérdida de plántulas (Havlin et al., 2005).

Las aplicaciones de fertilizantes a la siembra pueden realizarse en banda incorporada o con la semilla. Estas últimas aplicaciones junto con la semilla incluyen a los fertilizantes de tipo “arrancadores” o **pop-up**, cuyo objetivo es maximizar en etapas bien tempranas, la germinación y el crecimiento inicial de los cultivos, especialmente en suelos fríos y/o húmedos. Los arrancadores pueden ubicarse cerca de la semilla, y usualmente se aplican dosis bajas para evitar perjuicios. Si bien los efectos negativos se manifiestan en una disminución del número de plantas emergidas, en algunas situaciones estos efectos no se traducen en una merma del rendimiento, debido a una compensación del cultivo durante su desarrollo y crecimiento. La capacidad de compensar la disminución del stand de plántulas varía con los cultivos a implantar, el trigo con un mayor número de macollos, un mayor número de ramificaciones en soja y, en menor medida, un aumento del tamaño de hojas y capítulos en girasol.

Este artículo tiene por objetivo analizar la información proveniente de ensayos de diferentes sitios e instituciones para establecer criterios de dosis máxima de fertilización de acuerdo al tipo de cultivo y fertilizante utilizado, cuando el mismo se ubica junto con la semilla. Se debe tener en cuenta que en el análisis de la información se evalúa el efecto fitotóxico de la fertilización expresándolo en dosis de productos fertilizantes y no de nutrientes en forma de elementos. La concentración elemental de los fertilizantes es una información básica que se debe manejar para realizar un uso eficiente de los nutrientes.

¿Cuáles son los efectos fitotóxicos que generan los fertilizantes?

Los dos factores más importantes que inciden en el proceso de interferencia del fertilizante con la emergencia y desarrollo de las plántulas son:

- i) El efecto salino que deriva en un stress hídrico debido a la competencia por el agua del suelo entre el fertilizante y la semilla. En situaciones de buena provisión hídrica este efecto tiene menor relevancia.
- ii) En el caso de los fertilizantes amoniacales, la liberación de amoníaco (NH_3) a niveles tóxicos. Altos niveles de amoníaco disipan los gradientes de protones en las membranas celulares, alterando el metabolismo general de la planta.

Con respecto al *efecto salino*, el perjuicio del fertilizante puede deberse a una elevada concentración de sales en contacto con la semilla o las raíces durante la germinación. Esto puede provocar daños a las plántulas, produciéndose retrasos o fallos en la emergencia del cultivo (Dowling, 1996). El fertilizante como sal se disocia al entrar en contacto con la solución del suelo. Todas las sales solubles, producen una disminución del potencial osmótico y, por consiguiente del potencial agua del suelo. Esto produce una restricción en la disponibilidad de agua para la plántula, que genera una deshidratación de sus tejidos (plasmólisis) y consecuente muerte. La capacidad para disminuir el potencial osmótico difiere entre los fertilizantes y es cuantificado mediante el “índice salino”. El índice salino indica el incremento en la presión osmótica producido por un peso igual de fertilizante relativo al nitrato de sodio (Mortvedt et al., 1999). Los fertilizantes con menor índice salino producen menores daños a las plántulas durante la germinación. En la Tabla I se encuentran caracterizados los principales fertilizantes en relación al índice salino. En general, las sales de N y K tienen un mayor índice salino que las de P.

La liberación de NH_3 se produce cuando se aplican fertilizantes amoniacales de reacción alcalina como es el caso de la urea y FDA. La urea y el FDA incrementan el pH en la zona de reacción con el suelo a valores de hasta 9.5 y 8.5, respectivamente. A estos niveles de pH, el NH_4 del fertilizante pasa a NH_3 . El NH_3 tiene efectos directos sobre las membranas celulares y una alta afinidad por el agua, lo que conlleva a una desecación de las semillas y/o raíces seminales de las plántulas.

Factores reguladores de los efectos fitotóxicos

Los principales factores que determinan la cantidad máxima de fertilizante a aplicar junto a la semilla son:

- Dosis y tipo de fertilizantes
- Tolerancia del cultivo a implantar
- Humedad del suelo al momento de la siembra
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo
- Distancia entre surcos

Respecto del *tipo de fertilizante*, entre los nitrogenados, la urea presenta el mayor nivel de N-amoniaco, seguido por el UAN, y el sulfato de amonio, calificado este último como fertilizante azufrado. En el caso de la urea, su hidrólisis rápida produce gran cantidad de amoniaco, que al liberarse podría resultar tóxico para las semillas que están germinando. Esto ocurre rápidamente cuando la temperatura del suelo está por encima de 10°C, presentando este proceso una velocidad máxima a 25°C. Esta reacción química es catalizada por la enzima ureasa que está presente en todos los suelos, y que se incrementa a medida que aumenta la materia orgánica (MO). El nitrato de amonio hace menos daño a la semilla que la urea porque, a pesar que tiene un índice salino más alto (Tabla 1), presenta una muy baja toxicidad amoniaco.

Con respecto a la *tolerancia de la especie* a sembrar, algunas especies son más susceptibles a la presencia del NH₃ durante la germinación (Tabla 2). Más precisamente, la sensibilidad o tolerancia de las especies al NH₃, puede variar dependiendo de la etapa de crecimiento, o bien durante la etapa de germinación, o el crecimiento de la radícula o coleoptile (Dowling, 1993). En general, la gran mayoría de los cultivos tienen menor tolerancia durante la germinación, aumentando en los posteriores estadios, crecimiento radicular y coleoptile (Woodstock y Tsao, 1986). Una excepción es el trigo, con menor tolerancia al NH₃ en la etapa de crecimiento de la radícula (Tabla 2).

La variabilidad edáfica, se basa en parámetros como la *humedad del suelo* a la siembra y la *Capacidad de Intercambio Catiónico* (CIC). La humedad influye porque el amoniaco tiene gran afinidad por el agua, si hay agua queda en solución e inmediatamente pasa a amonio, tomando un protón del medio acuoso. Asimismo, los mayores contenidos de humedad edáfica reducen el efecto salino al diluir la concentración de sales del fertilizante en la solución del suelo. En cuanto a la CIC, por lo general cuanto mayor es la misma, mayor será la dosis que se puede aplicar. Ello se debe a que los cationes se adsorben a la matriz y no quedan en la solución del suelo. En la medida que se incrementa el porcentaje de arcilla, disminuye la conductividad de las sales, siendo los suelos de texturas gruesas (arenosos) más susceptibles a este tipo de perjuicios. Por otro lado, los suelos arcillosos tienen mayor

Tabla 1. Índices Salinos de los principales fertilizantes. Fuente: Mortvedt et al. (1999).

Fertilizante	Índice salino
Fertilizantes nitrogenados	
Nitrato de Amonio	105
Urea	75
UAN	74
Fertilizantes fosforados	
Fosfato diamónico	34
Fosfato monoamónico	30
Superfosfato triple	10
Fertilizantes potásicos	
Cloruro de potasio	116
Nitrato de potasio	74
Sulfato de potasio	46
Fertilizantes azufrados	
Sulfato de Magnesio	116
Sulfato de Amonio	69

retención de humedad, reduciéndose el efecto perjudicial del amoniaco (NH₃).

En cuanto a *distanciamiento entre hileras* de siembra, la dosis de fertilizante que puede ser aplicada en forma segura en el surco de siembra decrece al incrementarse el espaciamiento entre surcos y, por lo tanto, decrece el índice de utilización de la cama de siembra (IUCS) (Roberts y Harapiak, 1997).

$$IUCS = \frac{\text{Ancho del surco de siembra} \times 100}{\text{Espaciamiento entre hileras}}$$

Como ejemplo, en la Tabla 3, partiendo de una dosis máxima de 25 kg de N ha⁻¹ en trigo, o sea con un distanciamiento de 0.18 m, se ve como en la medida que aumenta el distanciamiento, necesariamente se debe reducir la dosis máxima de N y por ende de fertilizante.

Para suelos de diferentes texturas, ubicados en Saskatchewan, Canadá, se hallaron diferentes dosis máximas toleradas de N en trigo, teniendo en cuenta dos distanciamientos entre hileras (Tabla 4). Se observa que tanto en texturas con mayor proporción de arcilla, como a menor distanciamiento, la dosis admisible de N junto a la semilla aumenta (Roberts y Harapiak, 1997).

Análisis de la Información

En base a ensayos realizados por el INTA y otras instituciones correspondientes a diferentes cultivos, campañas y localidades del país, se compuso una base de 438 datos. De esta base se seleccionaron los datos de aplicaciones de N, P y/o S junto con la semilla, de cultivos bajo secano, resultando en, 70, 60, 16, 18, 31 y 7 datos útiles, del total de información para trigo, soja, maíz, girasol, alfalfa y cebada, respectivamente.

Para cada cultivo se relacionó la variación en la emergencia en porcentaje (Δ Emergencia en %) con la dosis de nutriente aplicada (kg ha⁻¹). La Δ de emergencia, fue expresada en porcentaje de número de plántulas y resultó de la siguiente ecuación [1]:

$$\Delta \text{Emergencia en \%} = \frac{(PF - PT)}{PT} * 100$$

PF: Plántulas emergidas del tratamiento fertilizado
 PT: Plántulas emergidas del Testigo

Las Δ Emergencia se relacionaron con las dosis de fertilizantes aplicadas, ajustándose a funciones lineales cuando las mismas fueron significativas. Cuando se dispuso de más de una condición para determinado cultivo (tipo de

Tabla 2. Tolerancia de las especies a la concentración de amoniaco durante la germinación y el crecimiento de la radícula. Fuente: Dowling (1993).

Especie	Germinación	Radícula
garbanzo	alta tolerancia	alta tolerancia
cebada	tolerancia media	tolerancia media
trigo	tolerancia media	tolerancia baja
maíz	tolerancia media	tolerancia media
girasol	tolerancia media	alta tolerancia
sorgo	tolerancia media	alta tolerancia
algodón	tolerancia media	alta tolerancia
canola	tolerancia baja	tolerancia media
alpiste	tolerancia baja	tolerancia media

fertilizante, tipo y humedad de suelo), se determinaron las diferencias entre las funciones lineales mediante un test de *F* (Mead et al., 1993). Este test asume que los desvíos de las observaciones de cada set de datos alrededor de su función ajustada es la misma. Esta homogeneidad de varianzas entre set de datos se evaluó comparando los cuadrados medios del error de cada función mediante una prueba de *F*. En definitiva, este test indica si las funciones lineales pueden combinarse y representarse con una sola función o si las diferencias entre tratamientos son significativas.

Fitotoxicidad por cultivo

Cultivo de Trigo

En el cultivo de trigo, la fitotoxicidad de los fertilizantes aplicados a la siembra junto a la semilla varía teniendo en cuenta algunos de los factores mencionados en la introducción. Un factor de importancia es la textura de los suelos, propiedad que influye en su CIC y capacidad de retención de humedad.

En la Figura 1a, en suelos Argiudoles típicos, se evaluó como fuente nitrogenada la urea (U), presentando diferentes combinaciones: urea sola, combinada con superfosfato triple (SFT) y con fosfato monoamónico (FMA). En el caso de las últimas dos combinaciones, las dosis de los fertilizantes SFT y FMA fueron constantes, correspondiendo 33 kg ha⁻¹ SFT y 55 kg ha⁻¹ FMA. Se debe considerar que el tratamiento con fertilizante FMA adiciona de forma extra, 5-6 kg ha⁻¹ de N elemento y en ambos casos, FMA y SFT, incrementan adicionalmente los efectos de salinidad al aumentar la dosis de fertilizante aplicado junto con la semilla.

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre las pendientes de estos tres tratamientos ($P=0.1133$). Sintetizando, las tres combinaciones presentan el mismo efecto de fitotoxicidad sobre el número de plántulas emergidas, teniendo en consideración las prácticas de manejo utilizadas, utilizándose sistema de siembra directa, con condiciones de humedad moderadas (rango 17-27% HA) al momento de la siembra y un distanciamiento entre hileras de 0.175 metros. La función lineal indica que dosis de Urea de 19 y 40 kg ha⁻¹ resultan en pérdidas de 10 y 25% de plántulas a emergencia, respectivamente, cuando la fertilización se realiza junto a la semilla.

Tabla 3. Ejemplo de máxima dosis de N en trigo según el distanciamiento entre hileras y la cantidad de N amoniacal de los fertilizantes. Fuente: Roberts y Johnston (2005).

D (m)	L (m)	N	Urea	NA	FDA	FMA
			(kg/ha)			
0,18	58823	25	54	147	139	227
0,35	28571	12	26	71	67	110
0,45	22222	9	21	56	52	86
0,50	20000	9	18	50	47	77
0,55	18182	8	17	45	43	70
0,55	16667	7	15	42	39	64

D: Distancia entre surcos en m.

L: Largo para obtener 1 ha en m.

N: Cantidad tolerada de nitrógeno amoniacal en kg/ha

NA: Nitrato de Amonio (17% de N amoniacal)

FDA: Fosfato Diamónico.

FMA: Fosfato Monamónico.

En la Figura 1b, el ensayo se realizó en un complejo de suelos Haplustoles/Argiustoles, y la única fuente utilizada fue la urea. Los datos se analizaron para dos poblaciones diferentes debido a variaciones que presentaban de distanciamiento entre hileras (DH) y humedad actual (HA) al momento de siembra.

Se observa como varía el grado de fitotoxicidad con el contenido hídrico edáfico y la DH. En el caso del suelo seco, dosis crecientes de N en forma de urea incrementan la pérdida de plántulas en mayor medida con respecto a la situación de suelo húmedo a la siembra. Las pérdidas en este caso para dosis de 60 kg ha⁻¹ de U (27.6 kg ha⁻¹ de N elemento) podrían variar dentro de un rango de 23 a 42% en el N° plantas por metro cuadrado, dependiendo de las condiciones de suelo húmedo o seco y de el DH de 17 o 25 cm, respectivamente. Las pendientes de pérdidas de plántulas no presentan diferencias significativas en forma estadística ($P=0.9165$), y la única divergencia entre las funciones se deben exclusivamente a sus correspondientes "ordenadas al origen". Esto significa que a dosis bajas de fertilizante, el efecto desfavorable de baja humedad al momento de siembra y mayores DH, se incrementa.

En las Figura 1 a y b, en forma general, se puede observar el efecto de la *textura*, en suelos con mayor proporción de clases texturales gruesas, disminuye la CIC y su capacidad de retención hídrica, situación que se ve agravada por una tendencia decreciente en la MO del suelo. Teniendo en cuenta estos factores, se puede observar que a dosis bajas, el efecto de toxicidad es mayor en suelos Haplustoles (Fig 1b) que en Argiudoles típicos (Fig 1a).

En forma general, se puede observar que dosis superiores a 50 kg ha⁻¹ de Urea, producirían efectos fitotóxicos sobre las semillas cuando la fertilización se realiza junto a las mismas, con pérdidas de 30% y de 20 a 40% de plántulas en suelos Argiudoles y en complejos de Haplustoles/Argiustoles, respectivamente. Sin embargo, hay que tener en consideración que independientemente de la fuente, los máximos valores de fitotoxicidad se correspondieron con valores de humedad a la siembra bajos, lo que demuestra la importancia del contenido hídrico actual del suelo al momento de la fertilización, en cuanto al efecto del N-amoniacal y su relación con la toxicidad provocada a la semilla.

En el sudeste de Córdoba, Gudelj et al. (2001), observaron que la urea fue la fuente que mayor fitotoxicidad produjo, aumentando la mortandad con dosis superiores a 25 kg ha⁻¹ de N elemento o sea 54 kg ha⁻¹ de urea. Otros autores encontraron que para prevenir la fitotoxicidad, es recomendable agregar no más de 30 kg ha⁻¹ de N (65 kg ha⁻¹ de urea o 167 kg ha⁻¹ de FDA) en suelos con mayor contenido de MO y texturas medias, mientras que en suelos de textura gruesa y menor contenido de MO no se debería superar los 15 kg ha⁻¹ de N (26 a 33 kg ha⁻¹ de urea o 67 a 83 kg ha⁻¹ de FDA). Estas son dosis orientativas, e indican que la dosis límite no puede generalizarse y que la misma aumenta con el contenido de humedad del suelo, arcilla y

Tabla 4. Dosis máximas posibles de nitrógeno (kg N elemento ha⁻¹) en trigo en diferentes texturas a dos distanciamientos (adaptado de Roberts y Harapiak, 1997).

Textura	DEH=22.8 cm	DEH=15.2 cm
Franco Arenosa	15	20
Franca	25	30
Arcillosa	30	35

DEH: Distancia entre hileras.

materia orgánica, disminuyendo a su vez cuando aumenta la distancia entre hileras (Ron y Loewy, 2000).

Con respecto a otros fertilizantes, los efectos de FDA serían similares a los de la U en cuanto a los niveles críticos de N, ya que el NH_4 del FDA puede generar NH_3 por la reacción alcalina de este fertilizante en el suelo (pH 8-8.5). Los efectos de superfosfatos y FMA son menores ya que no producen NH_3 , por lo tanto sólo generan efecto salino.

Cultivo de Soja

Fitotoxicidad de Fuentes Fosforadas (P)

Analizando el riesgo de fitotoxicidad de los fertilizantes fosforados en soja, cuando son aplicados junto a la semilla, se presentan resultados con cuatro fuentes de P: fosfato diamónico (FDA), fosfato monoamónico (FMA), superfosfato triple (SFT) y superfosfato simple (SFS) en suelos Argiudoles típicos con textura franco limosa (Fig 2a). Las variables que se controlaron fueron el distanciamiento entre hileras (0.70 m) y la humedad al momento de siembra del cultivo (21% HA).

La fuente que presentó una tendencia superior en la disminución del número de plantas fue el FDA, seguido por el SFT, FMA y, por último, el SFS. El análisis estadístico indica,

que no existen diferencias de pendientes entre las fuentes FDA, SFT (46% de P_2O_5) y FMA ($P=0.911$); sin embargo el SFS difirió con respecto al resto de los fertilizantes utilizados. En resumen, el SFS (21% de P_2O_5) tiene un efecto menor en la expresión de la fitotoxicidad. La explicación del efecto del FDA, SFT y FMA en la variación porcentual de la emergencia de las plántulas de soja, se sintetiza en una única función de respuesta (Fig 2a).

En la Figura 2b, las mismas fuentes que en el caso anterior se someten a este análisis, en suelos clasificados como Hapludoles enticos que presentan una textura arenosa franca. Las variables que se controlaron en estos ensayos, fueron el distanciamiento entre hileras (0.52 m) y la humedad al momento de siembra del cultivo (14% HA). En este caso, se observa una tendencia superior en disminución del número de plántulas para la fuente SFT, seguida por FDA, FMA y, por último, el SFS. Estas tendencias no fueron significativamente diferentes ($P=0.345$), lo que indica que mediante una ecuación lineal sencilla, con una única pendiente y ordenada al origen, se explica la variación porcentual en la emergencia del cultivo de soja.

Analizando las Figuras 2 a y b, en forma general se puede afirmar que dosis de 50 kg ha^{-1} de FMA, FDA o SFT producen una disminución porcentual de plántulas a emergencia del cultivo, que varía dentro de un rango de 29-46%, según

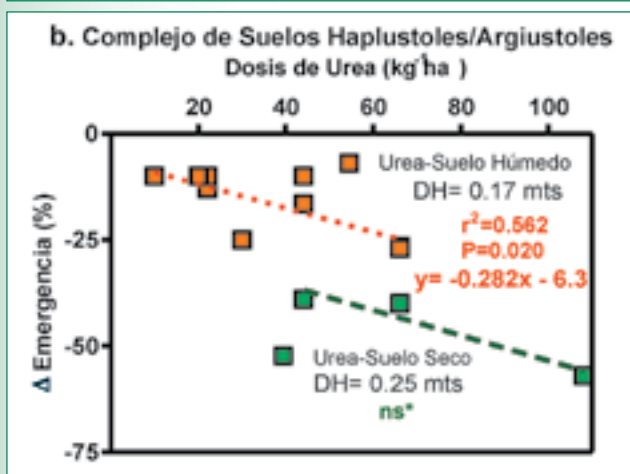
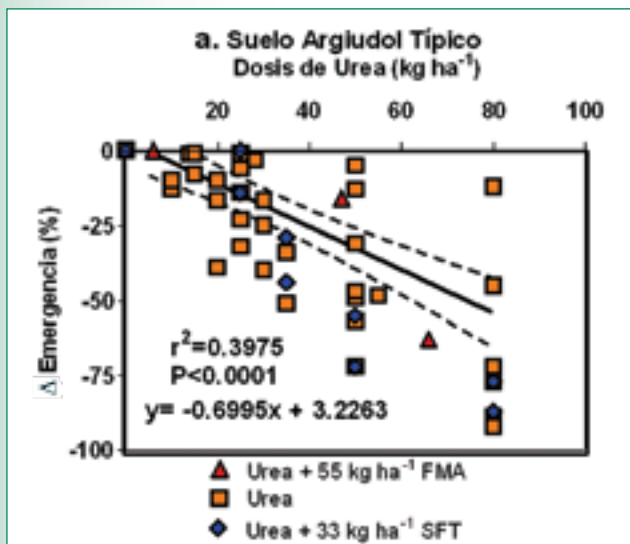


Figura 1 a y b. Fitotoxicidad de la urea en el cultivo de trigo dependiendo de los tipos y condición hídrica de suelos y con la combinación de otros tipos de fertilizantes. Elaborado con datos de Baumer et al. (1995/96), Gudelj et al. (2001), Loewy (2000a) y H. Fontanetto (no publicado).

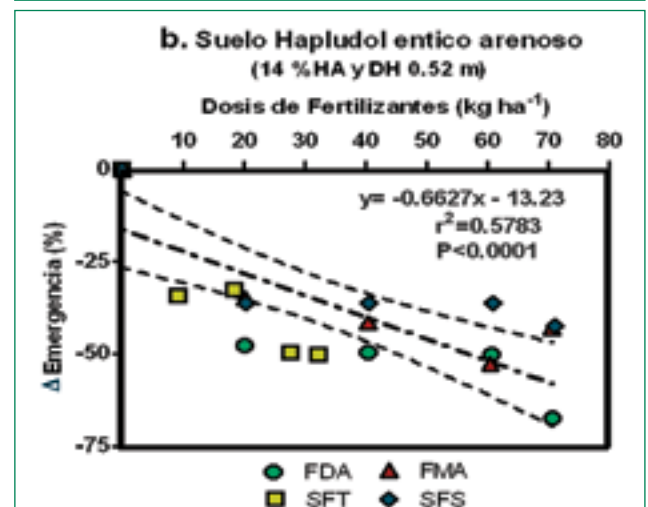
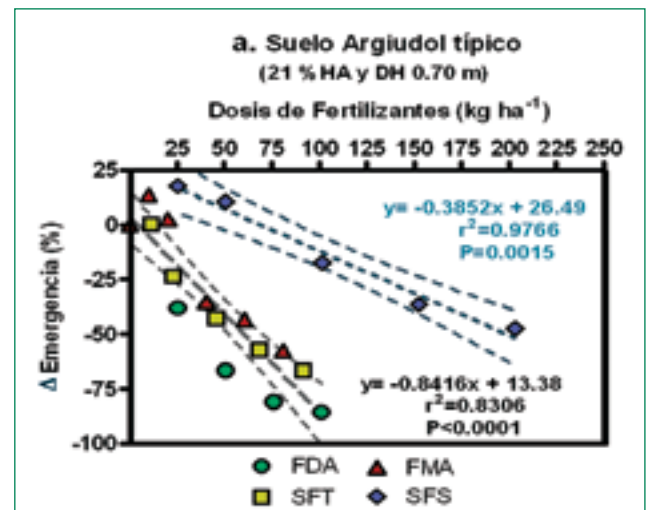


Figura 2a y b. Fitotoxicidad de diversos tipos de fuente de P fertilizante en el cultivo de soja para suelos que presentan diferencias en su clase textural. Elaborado con datos de Barraco y Díaz-Zorita (2002), Díaz-Zorita y Duarte (2005), Ferraris et al. (2004), Ventimiglia y Carta (2005) y Vivas y Seffino (1998).

corresponda a suelos Argiudoles (textura arcillo limosa) o Hapludoles (textura arenosa franco), respectivamente. Este rango de variación disminuye a dosis de fertilización crecientes, para 75 kg ha⁻¹ de fertilizante las pérdidas de plántulas a emergencia del cultivo de soja son de un rango de 50-63%, para suelos Argiudoles (textura arcillo limosa) o Hapludoles (textura arenosa franco), respectivamente, destacándose que el menor distanciamiento entre hileras en suelos de texturas gruesas, permite tolerar dosis críticas mayores junto a la semilla.

En síntesis, en la Figura 3 se compilan los datos de los dos tipos de suelos y se relaciona la respuesta únicamente a dos tipos de funciones lineales, la respuesta I se asocia a tres tipos de fertilizantes, FDA, SFT y FMA, y la respuesta II, al SFS. Se podría afirmar que dosis de FDA, FMA o SFT superiores a 20 kg ha⁻¹, producirían algún efecto fitotóxico sobre las semillas de soja, cuando la fertilización se realiza junto a las mismas, sin tener en cuenta el efecto de compensación del cultivo a través del proceso de desarrollo y crecimiento de ramificación. Cuando se comparan los efectos de SFS con los otros fertilizantes fosfatados, debe recordarse que el SFS tiene una concentración de 8-9% P, mientras que el FMA, FDA y SFT varían de 20 a 22% de P.

Vivas y Seffino (1998), llevaron a cabo una experiencia en el Departamento Las Colonias-Santa Fe, en un suelo Argiudol típico con laboreo convencional, y con un distanciamiento entre hileras de 0.7 metros. Se observó una disminución del 24, 43, 57 y 67 % para las dosis de 25, 50, 75 y 100 kg ha⁻¹ de SFT, respectivamente respecto del testigo. El resultado fue atribuido al efecto salino del superfosfato y por el bajo

pH generado en los primeros días en que se disuelven los gránulos del fertilizante. El fosfato diamónico tuvo un efecto tóxico más acentuado que el superfosfato triple y el número de plantas resultante para las dosis de 25, 50, 75 y 100 kg ha⁻¹, disminuyó en 38, 67, 81 y 86 %, respectivamente. En este caso, el efecto tóxico se lo debemos atribuir al NH₃ liberado y al aumento del pH resultante de su liberación.

Fitotoxicidad de Fuentes Azufradas (S)

En la Figura 4, se observan los datos de una serie de ensayos realizados en un suelo clasificado como Argiudol típico que presenta una textura franco limosa, para tres fuentes de azufre: yeso (sulfato de calcio-18% S elemento), kieserita (Kie-20% S elemento) y sulfato de amonio (SA-48% S elemento). La fuente yeso no presentó una relación significativa, por lo que la respuesta es variable; pero presenta una tendencia de disminución muy leve del número de plantas a medida que se incrementan las dosis de S como yeso. En el caso del SA, se observa que a dosis bajas, genera el impacto de mayor importancia, efecto que no es tan importante con la fuente kieserita. Para la fuente SA, el efecto fitotóxico se mantiene en un aumento constante, dosis superiores a 46 kg ha⁻¹ de SA (11.04 kg ha⁻¹ de S elemento) provocan una reducción de un 50% en la variación del número de plántulas. Con la fuente Kieserita se debería agregar 110.4 kg ha⁻¹, para adicionar un cantidad equivalente de S elemento (22.08 kg ha⁻¹ de S elemento), esto provocaría una disminución en la

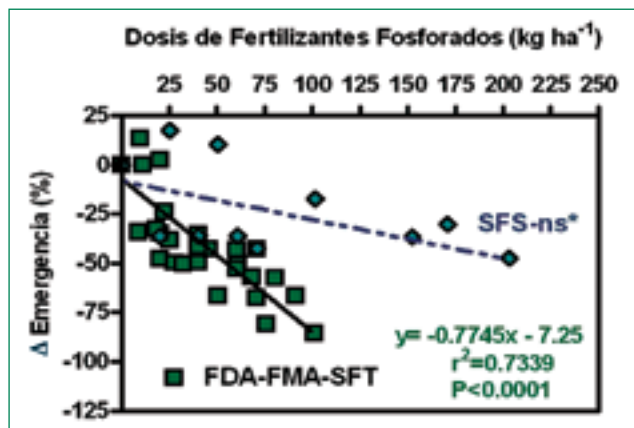


Figura 3. Fitotoxicidad de aplicaciones de P junto a la semilla, en forma general para el cultivo de Soja, independientemente de la textura de los suelos.

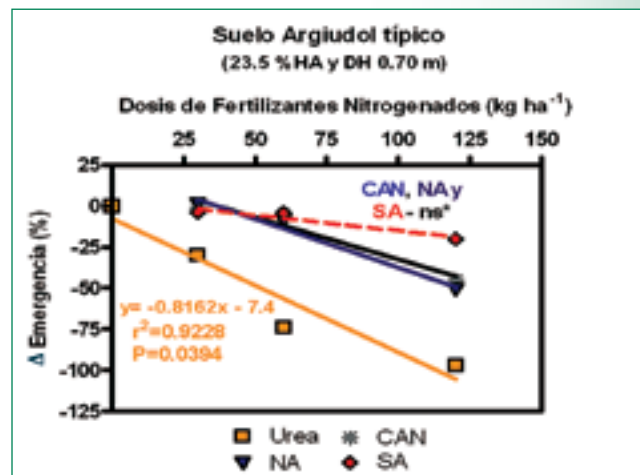


Figura 5. Fitotoxicidad de diversos tipos de fuente de N fertilizante en el cultivo de Maíz. NS* = No Significativo para las distintas fuentes. Elaborado con datos de H. Fontanetto (datos inéditos).

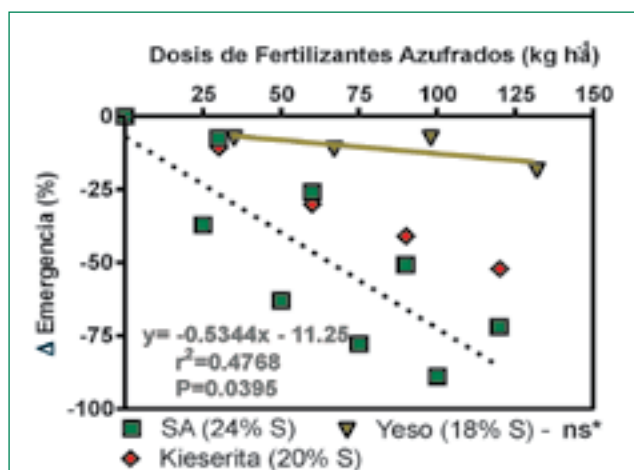


Figura 4. Fitotoxicidad de fertilizantes azufrados en el cultivo de soja para suelos clasificados como Argiudoles típicos INTA Rafaela. Elaborado con datos de H. Fontanetto (datos inéditos).

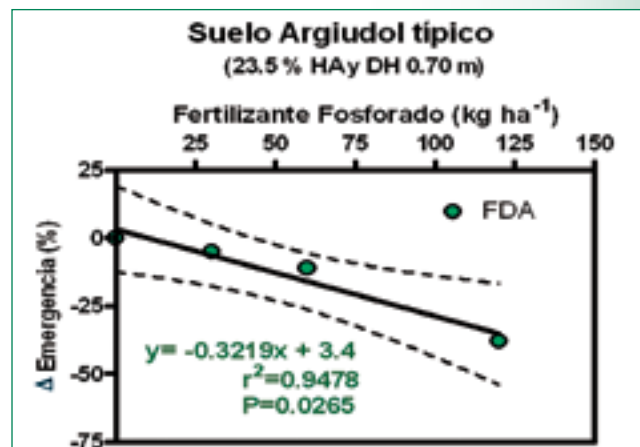


Figura 6. Fitotoxicidad de la fuente FDA en el cultivo de Maíz. Elaborado con datos de H. Fontanetto (datos inéditos).

emergencia en un 49%, efecto similar al provocado por la mitad de la dosis de S elemento del SA.

El SA y Kieserita se agruparon estadísticamente, sin encontrar diferencias significativas en el test de pendientes ($P=0.0546$), lo que determina una ecuación lineal unificada, para estos dos tipos de fuentes de fertilizantes (Fig 4).

En general, dosis de S elemento superiores a 15 kg ha⁻¹ producen disminuciones de un 25-50% del stand de plántulas, dependiendo del tipo de fertilizante azufrado utilizado, esto atenta contra la productividad del cultivo de soja, y este efecto se agrava en ciclos cortos de cultivo con una menor capacidad de compensación.

Debe destacarse que con la semilla de soja se aplican inoculantes con bacterias fijadoras de N. Los efectos salinos de los fertilizantes afectan a estas bacterias, por lo que, más allá de los efectos fitotóxicos sobre las semillas y plántulas de soja, se recomienda fuertemente evitar la aplicación de fertilizantes ubicados junto con las semillas inoculadas de soja.

Cultivo de maíz

Fitotoxicidad de Fuentes Nitrogenadas (N)

La fitotoxicidad de los fertilizantes afecta de modo diferente a los cultivos de maíz, por la diferente separación entre hileras y por su tolerancia genética al daño. El maíz acepta menos urea por ha que el trigo, a pesar de poseer mayor tolerancia (Tabla 2), debido a la mayor separación entre hileras. Dentro de los cultivos de escarda, el maíz es más tolerante que sorgo, girasol y soja, tanto para N como para P. Sin embargo, se debe tener en cuenta la nula capacidad de compensación, por lo que es mucho más peligrosa la pérdida de plántulas, con respecto al resto de los cultivos de escarda.

En la Figura 5, se observan los datos de ensayos realizados en suelos Argiudoles típicos con distintas fuentes de N fertilizante: Urea, nitrato de amonio calcáreo (CAN), nitrato de amonio (NA) y sulfato de amonio (SA). Las variables que se mantuvieron constantes, fueron la distancia entre hileras, 0.70 metros, y la humedad del suelo al momento de la implantación del maíz, 23.5% HA.

La única fuente que presentó una asociación significativa fue la urea, mientras las otras fuentes no presentaron diferencias de forma estadística. La fuente que genera mayores pérdidas es la U, seguida del CAN, NA y SA. Con dosis de 50 kg ha⁻¹ de urea (23 kg ha⁻¹ de N elemento), se producen aproximadamente pérdidas de hasta un 48% del stand de plántulas al momento de la emergencia del cultivo de maíz, cuando el fertilizante se ubica junto a la semilla. La fuente de menor

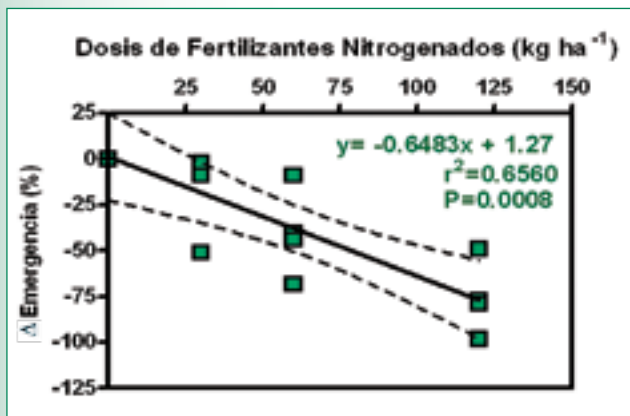


Figura 7. Fitotoxicidad de N fertilizante de forma general en el cultivo de Girasol.

efecto fue el SA (21% de N elemento), seguido por el CAN (27% de N elemento), y el NA (34% de N elemento).

En general, dosis superiores de 50 kg ha⁻¹ de urea, pueden llegar a significar pérdidas de plantas de hasta un 50% o más.

Fitotoxicidad de Fuentes Fosforadas (P)

En la Figura 6, se observan los datos de ensayos realizados en suelos Argiudoles típicos con FDA como fertilizante NP. Las variables que se mantuvieron constantes, fueron la distancia entre hileras, 0.70 metros, y la humedad del suelo

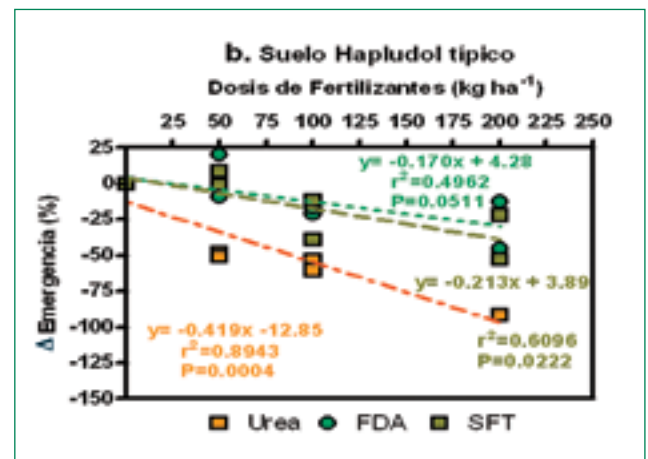
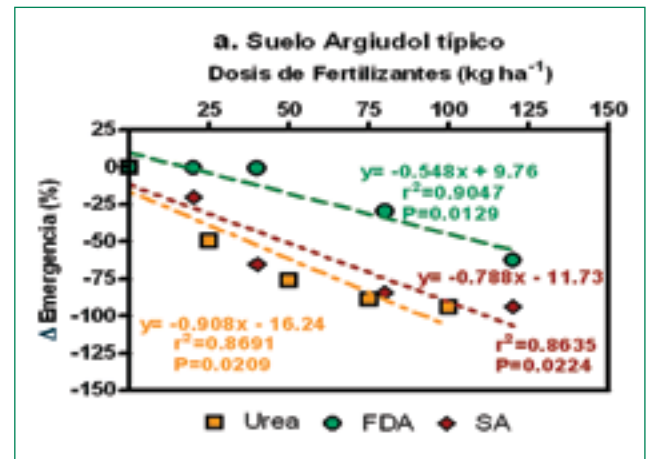


Figura 8 a y b. Fitotoxicidad de diversos tipos de fuente de N fertilizante en el cultivo de alfalfa dependiendo de los tipos de suelos. Elaborado con datos de Vivas (1995), Barraco et al. (2002) y H. Fontanetto (datos inéditos).

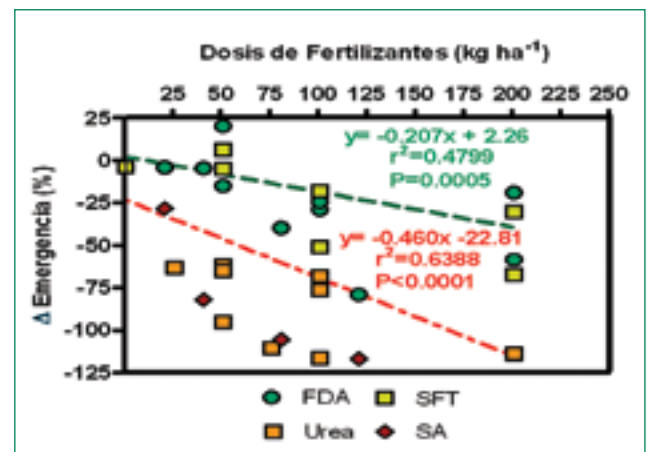


Figura 9. Fitotoxicidad de diversos tipos de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de Alfalfa.

al momento de la implantación del maíz, 23.5% HA. En síntesis, dosis superiores a 25 kg ha⁻¹ de FDA (5.01 kg ha⁻¹ de P elemento) producen efectos fitotóxicos, alcanzándose porcentajes de 40% en la disminución de la emergencia cuando las dosis son de 135 kg ha⁻¹ de FDA (27.11 kg ha⁻¹ de P elemento), con aplicaciones realizadas junto a la semilla.

Cultivo de Girasol

Fitotoxicidad de Fuentes Nitrogenadas (N)

En el cultivo de girasol, los problemas de fitotoxicidad por las aplicaciones en la línea de siembra son frecuentes y en los casos en que se logra la instalación del cultivo, este problema genera retrasos en la emergencia, lo que impacta en la eficiencia de utilización del N del suelo y fertilizante, siendo la misma menor.

Entre los fertilizantes nitrogenados, la fuente que genera mayores pérdidas es la urea, seguida del CAN-NA y SA. Con dosis de 50 kg ha⁻¹ de urea (23 kg ha⁻¹ de N elemento), se producen aproximadamente pérdidas de hasta un 52% del stand de plántulas al momento de la emergencia del cultivo de girasol, cuando el fertilizante se ubica junto a la semilla. La fuente de menor efecto fue el SA, seguido por el CAN y el NA (datos no mostrados).

En el análisis estadístico de los datos, no se observaron diferencias significativas ($P=0.642$) entre las pendientes de estos tipos de fertilizantes nitrogenados y para estas condiciones de ensayos. Esto resulta en una unificación del efecto fitotóxico representado por una sencilla y única ecuación lineal, la cual explica la variación en la respuesta a medida que se incrementa la dosis de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de girasol.

En la Figura 7, en forma de resumen, una única pendiente y ordenada al origen, pueden explicar gran parte de la variación en la respuesta. Dosis superiores de 100 kg ha⁻¹ de fertilizantes nitrogenados, pueden llegar a significar hasta un 63% o pérdidas mayores, cuando la práctica de fertilización se realiza junto a las semillas.

Fitotoxicidad de Fuentes Fosforadas (P)

En ensayos realizados en suelos Argiudoles típicos con la fuente FDA, con un DH de 0.7 metros se observó que dosis superiores a 25 kg ha⁻¹ de FDA (5.01 kg ha⁻¹ de P elemento) producen efectos fitotóxicos, alcanzándose una disminución de un 50% en la emergencia cuando las dosis son de 100 kg ha⁻¹ de FDA (20.51 kg ha⁻¹ de P elemento), con aplicaciones realizadas junto a la semilla.

Cultivo de Alfalfa

Fitotoxicidad de Fertilizantes Fosforados y Nitrogenados

El N es el nutriente que más extrae la alfalfa y gran parte de su requerimiento puede ser fijado de la atmósfera por los rizobios en simbiosis. En muchos casos se utilizan fertilizantes arrancadores, con dosis de N crecientes, que podrían provocar dos efectos no deseados, uno el de fitotoxicidad durante la germinación y emergencia del cultivo, y, por otro lado, el N inorgánico del fertilizante, podría inhibir el establecimiento de la simbiosis y formación de nódulos, afectando consecuentemente la FBN y el posterior crecimiento de la alfalfa (Racca et al. 2001).

En la Figura 8a, se presentan ensayos realizados en

suelos Argiudoles típicos de textura franco limosa, con la utilización de tres tipos de fuentes: Urea, SA y FDA. A los efectos de cuantificar su ordenamiento, se observó que la fuente con mayor efecto fue la Urea, SA y, por último, el FDA. Cuando se realizó una prueba o test de *F*, utilizado para analizar poblaciones y distinguir el grado de divergencia de los datos, no se presentaron diferencias significativas entre las pendientes ($P=0.3351$) de las ecuaciones lineales, que explican la variación de respuesta al incremento de dosis de fertilizantes nitrogenados. En conclusión, la única diferencia en estos tipos de fuentes es en el efecto que producen a bajas dosis, diferencias en las ecuaciones en el parámetro de las ordenadas al origen, por lo que su "efecto" se podría unificar.

En la Figura 8b, en suelos Hapludoles típicos que presentan una textura franco arenosa, se probaron tres tipos de fuentes: Urea, FDA y SFT. Las líneas de tendencias se ordenaron con respecto a las fuentes de la siguiente manera: la Urea provocó el mayor impacto de fitotoxicidad, seguida por el SFT y FDA. Con respecto a estos dos últimos fertilizantes, presentaron una tendencia similar, en el análisis de test *F* resultaron no presentar una diferencia estadística y significativa ($P=0.67$), por lo cual se expresa que sus efectos son equivalentes.

En la Figura 9, se analiza la información en forma conjunta, independientemente del tipo de suelo y su clase textural. Las tendencias son muy marcadas, y se agrupan en dos conjuntos, fuentes de *mayor efecto-Urea/SA*- y de *menor efecto-FDA/SFT*. Para destacar se observa que los fertilizantes clasificados de mayor efecto fitotóxico comparten en sus formulaciones N en distintos grados y en los de menor efecto, ocurre algo similar, con P. Esta clasificación y agrupamiento no son arbitrarios, debido a que cuando fueron sometidos a análisis de test *F* (Mead et al., 1993), se encontró que no hubo diferencias en sus pendientes y ordenadas al origen, entre la Urea /SA ($P=0.146$), y entre el FDA/SFT ($P=0.934$).

Analizando el fenómeno de fitotoxicidad de los fertilizantes nitrogenados, agrupados en los de "menor impacto", dosis de 35 kg ha⁻¹ de fertilizantes FDA/SFT producen una merma de 5% en el stand de plántulas; mientras que en el grupo de los de "mayor impacto", a dosis equivalente de 35 kg ha⁻¹ Urea/SA, las pérdidas pueden alcanzar hasta un 39% del stand de plántulas a emergencia del cultivo de alfalfa. En este caso como conclusión, observamos que el efecto de fitotoxicidad cuando la aplicación es junto con la semilla, se incrementa en relación directa al contenido de N de los fertilizantes.

Síntesis Final

Los efectos fitotóxicos de fertilizantes aplicados junto a la semilla son variables de acuerdo a la fuente y dosis de fertilizante, cultivo, tipo y humedad de suelo. Algunas alternativas para reducir estos efectos fitotóxicos son: 1) manejar dosis bajas (dosis inferiores a las críticas), 2) utilizar fuentes con un menor contenido de N-amoniaco y bajo índice salino, 3) conocer la tolerancia del cultivo a implantar, 4) realizar la práctica de fertilización preferentemente con muy buenas condiciones de humedad en el suelo y, 5) en caso de ser posible, la reducción de la distancia entre hileras.

Preliminarmente, la Tabla 5 presenta un resumen general, a partir de la información evaluada, indicando dosis críticas estimadas para pérdidas del 20% y 50% de plántulas para

diversos cultivos y fuentes de fertilizantes. Los valores inferiores de cada rango corresponden a situaciones de suelos más secos y/o arenosos y los valores más altos para suelos más húmedos y/o arcillosos.

Una de las medidas más importantes para evitar los efectos fitotóxicos sería realizar la fertilización en bandas separando la semilla del fertilizante a por lo menos unos cinco cm, de forma que no se produzca un contacto físico entre ambos. Otra alternativa para evitar efectos fitotóxicos de aplicaciones en banda con la semilla, la constituyen las aplicaciones al voleo o en cobertura, ya sea de fertilizantes sólidos o líquidos. Las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años permiten predecir las condiciones de manejo y sitio, en las cuales, las aplicaciones de N, P o S en cobertura pueden resultar en un uso eficiente de los fertilizantes aplicados.

La práctica de fertilización del sistema de producción es una estrategia que podría atenuar los problemas por fitotoxicidad de los fertilizantes colocados junto a la semilla. El concepto de fertilización del sistema de producción se basa en la residualidad de los nutrientes en formas orgánicas (N, P, S) y/o inorgánicas (P, K) en el suelo (García, 2006). Esta estrategia permitiría manejar los fertilizantes concentrando las aplicaciones en algunos cultivos de la rotación e incluyendo aplicaciones en cobertura.

Agradecimientos:

Los autores desean agradecer a los Ing. Agrs. V. Gudelj, T. Loewy, M. Díaz-Zorita y L. Ventimiglia, que gentilmente cedieron datos de sus ensayos para la realización de este artículo.

Referencias Bibliográficas

Barraco M, M Díaz-Zorita. 2002. Efecto de la localización de fertilizantes fosfatados sobre la emergencia de cultivos de verano. XVIII Cong. Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn (Chubut, Argentina). En CD.

Tabla 5. Dosis críticas estimadas, de manera preliminar, para pérdidas del 20% y 50% de plantas para diversos cultivos y fuentes de fertilizantes. Los rangos indicados responden a condiciones de tipo y humedad de suelo.

Cultivo	Tipo de Fertilizante	Dosis Crítica (kg ha ⁻¹)	
		20% #	50% #
Trigo	Urea	30 - 50	75 - 120
Soja	FDA-FMA-SFT ###	20 - 40	55 - 75
	SFS	20 - 80	60 - 120
	SA	20 - 30	60 - 80
Maíz	Urea	15 - 30	60 - 80
	NA-CAN-SA	60 - 80	100 - 130
	FDA	60 - 80	130 - 170
Girasol	Urea-NA-CAN-SA	20 - 40	60 - 90
	FDA	40 - 50	80 - 120
Cebada	Urea	30 - 50	80 - 100
Alfalfa	Urea-SA	20 - 30	50 - 70
	FDA-SFT	90 - 110	160 - 200

Para pérdidas de 20% y 50% del stand de plántulas a emergencia

CAN: Nitrato de Amonio Calcáreo-FDA: Fosfato Diamónico-FMA: Fosfato Monoamónico-NA: Nitrato de Amonio-SA: Sulfato de Amonio-SFS: Superfosfato Simple-SFT: Superfosfato Triple

Baumer R. 1996. Fertilización y sistemas de laboreo e implantación. Tercer Seminario de Actualización Técnica. Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras. Buenos Aires. CPIA-SRA.

Díaz-Zorita M, G Duarte. 2005. Resumen ensayos en cultivos de soja campaña 2004-05. www.planetasoja.com.

Dowling CW. 1993. Tolerance of ten crop species to atmospheric ammonia during seed germination, radicle and coleoptile growth. (Ed. NJ Barrow) Plant nutrition - from genetic engineering to field practice: Proceedings of the Twelfth International Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September 1993, Perth, Western Australia. pp. 541-544.

Dowling CW. 1996. The effect of soil ammonium concentration and osmotic pressure on seedling emergence. *Proceedings 8th Australian Agronomy Conference*, Toowoomba, 219-222.

Ferraris G, R Falconi, ME Camozzi, S Chevallier. 2004. Efectos de fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre sobre secuencia cebada - soja en centro norte de la provincia de Bs. As. www.planetasoja.com.

García FO. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 29:13-16. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Gudelj V, C Galarza, P Vallote, G Nieri, B Masiero. 2001. Fitotoxicidad por fertilización en la línea de siembra directa de trigo. *Inf. Agron.* 10:12-13.

Havlin JL, JD Beaton, S Tisdale, WL Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall. p 38-85.

Mead R, RN Curnow & AM Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415p.

Mortvedt J, L Murphy, R Follet. 1999. Fertilizer technology and application. Meister Pub. Co. Willoughby, Ohio. USA.

Racca R, D Pollino, J Dardanelli, D Basigalup, N González, E Brenzoni, N Hein, M Balzarini. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la región pampeana. Proyecto Pronalfa. Ediciones INTA. 56 p.

Randall GW, RG Hoef. 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. *J. Prod. Agric.* 1:70-79.

Roberts TL, JT Harapiak. 1997. Fertilizer Management in direct seeding systems. En *Better Crops with Plant Food Vol. 81 N° 2* (Ed. Donald L. Armstrong) pp 18-20. (Potash and Phosphate Institute, Norcross, Georgia).

Roberts TL, AM Johnston. 2005. Tillage intensity, crop rotation, and fertilizer technology for sustainable wheat production north american experience. 7ª Conferencia Internacional de Trigo. Mar del Plata.

Ron M, T Loewy. 2000. Effect of phosphorus placement on wheat yield and quality in south-western Buenos Aires. *Commun. Soil Sci. Plant Anal - 31(17&18):* pp 2891-2900.

Ventimiglia LA, HG Carta. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *Inf. Agron.* 28:23-25. INPOFOS Cono Sur.

Vivas H, F Seffino. 1998. Localización del P, dosis y fuentes sobre el número de plantas de soja. Campaña 1996-97. Soja. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 86.

Vivas HS. 1995. Toxicidad de fertilizantes sobre plántulas de alfalfa. INTA EEA Rafaela. Información Técnica para Productores.

Woodstock LW, H Tsao. 1986. Influence of ammonia vapours on the dry seeds of soybean, corn and peanut. *Crop Science* 26: 631-34. ■