

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL ESTIÉRCOL DE AVE COMO  
FUENTE DE NITRÓGENO EN CULTIVOS HORTÍCOLAS**

**por**

**Santiago DÍAZ LAGEARD**

TESIS presentada como uno de los  
requisitos para obtener el título de *Magister*  
en Ciencias Agrarias opción Ciencias del  
Suelo

Montevideo  
Uruguay  
2012

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la PhD. Amabelia del Pino, el PhD. Francisco Vilaró, la Dra. Mónica Cadenazzi y el Dr. Roberto Docampo, el 3 de Diciembre del 2012. Autor: Juan Santiago Díaz Lageard. Director PhD. Armando Rabuffetti.

## AGRADECIMIENTOS

En primer término quiero agradecer a Armando por la enorme cantidad de tiempo y energía que dedicó para que este trabajo de tesis fuera posible. Un gran agradecimiento para Amabelia por su generosidad y tiempo dedicado. A todo el equipo de suelos del INIA - Las Brujas por su apoyo, y un especial reconocimiento para Manuel Moura el cual es responsable en gran medida de los resultados logrados en el ensayo de campo.

## TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
<b>I. <u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	1
A. ANTECEDENTES.....	1
B. OBJETIVOS.....	2
C. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DE DISTINTAS FORMAS DE ESTIÉRCOL DE AVE.....	3
D. MINERALIZACIÓN DE LAS DISTINTAS FUENTES DE NITRÓGENO.....	7
1. <u>Experimentos de laboratorio</u> .....	9
2. <u>Experimentos de campo</u> .....	13
E. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE ZANAHORIA Y MAÍZ DULCE.....	18
1. <u>Cultivo de Zanahoria</u> .....	19
2. <u>Cultivo de Maíz dulce</u> .....	20
F. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL AGREGADO DE ESTIÉRCOL DE AVE.....	21
G. EFECTOS BIOLÓGICOS DEL AGREGADO DE ESTIÉRCOL.....	24
H. EFICIENCIA DE LAS FUENTES ORGÁNICAS EN RELACIÓN A LAS FUENTES MINERALES DE NITRÓGENO.....	25
<b>II. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u></b> .....	29
A. SITIO EXPERIMENTAL.....	29
B. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29
C. MANEJO DE LOS CULTIVOS.....	32
D. MUESTREO Y ANÁLISIS DE PLANTAS.....	33
E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
<b>III. <u>RESULTADOS Y DICUSIÓN</u></b> .....	38
A. CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	38
B. CULTIVO DE ZANAHORIA.....	39
1. <u>Rendimiento de raíces, acumulación de N en cosecha y contenidos foliares</u> ....	39
2. <u>Equivalencias entre el N de las fuentes orgánicas y el N de la fuente mineral</u> ..	41
3. <u>Relación entre rendimiento y N acumulado</u> .....	44
C. CULTIVO DE MAÍZ DULCE.....	46
1. <u>Rendimiento de mazorcas, acumulación de N en cosecha y contenidos foliares</u> .....	46
2. <u>Equivalencias entre el N de las fuentes orgánicas y el N de la fuente mineral</u> ..	49

3. <u>Relación entre rendimiento y N acumulado</u> .....	55
IV. <u>CONCLUSIONES</u> .....	58
V. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	60
VI. <u>ANEXO</u> .....	67

## RESUMEN

En la horticultura del Uruguay es muy frecuente el uso de estiércol de ave, el cual se utiliza en cantidades que pueden exceder ampliamente las necesidades de los cultivos. Si bien existen algunos antecedentes de campo sobre la evaluación del efecto del agregado de abonos de aves en cultivos hortícolas, no existe información que evalúe comparativamente los efectos directos y residuales. Por esta razón se realizó una evaluación de estiércol de gallina (EG), estiércol compostado (EC) y cama de pollo (CP) en distintas dosis en una secuencia de cultivos integrados por zanahoria y maíz dulce. Como forma de definir las posibles cantidades de estiércol de ave que deben ser utilizadas, se midió su relación de eficiencia con un fertilizante nitrogenado de uso corriente (urea). En el cultivo de zanahoria se observaron en términos de tendencias, los mayores rendimientos en los tratamientos que recibieron  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de N bajo cualquiera de las 3 formas de estiércol. Se pudieron estimar valores de equivalencia en N mineral para las 3 fuentes orgánicas, en base a la acumulación de N por el cultivo. Los valores de equivalencia estimados para el promedio de las 2 dosis de fertilización aplicadas ( $120$  y  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total) fueron de 60; 46 y  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para el EG, EC y CP respectivamente. En el cultivo de maíz dulce se observó un importante efecto residual de N aplicado en el cultivo previo. Si bien no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados, se observaron rendimientos superiores en las dosis más altas de N mineral o estiércol fresco. Los valores de equivalencia estimados en base a la acumulación de N por el cultivo, para el promedio de las 2 dosis de abonos orgánicos aplicadas fueron de 134; 67 y  $73 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para EG, EC y CP respectivamente.

**Palabras clave:** abonos de ave, disponibilidad de N, relación ente N orgánico y N mineral.

## AGRONOMIC EVALUATION OF POULTRY MANURE AS A SOURCE OF NITROGEN IN VEGETABLE CROPS

### SUMMARY

Poultry manure is very frequently used in horticulture in Uruguay, and the quantities many times exceed the needs of the cultures. Even though there are some field experiences that assess the effect these added manure has on the cultures, there is no information presenting a comparative analysis of direct and residual effects, related with this. That is why an evaluation was led using cage dung (EG), compost manure (EC) and poultry litter (CP), in different doses, on a sequence of carrot and sweet corn cultures. As a way of defining the quantities of poultry manure that should be used, their efficiency ratio was compared with that of a frequently used nitrogen based fertilizer (urea). In the carrot culture trends were observed, and the better yields were obtained with the treatments that gave 240 kg ha<sup>-1</sup> of N with any of the 3 types of manure. It was possible to estimate the equivalence values in mineral N for the 3 organic sources, based on the N accumulation by the culture. The equivalence values estimated for the average of the 2 fertilizing doses applied (120 and 240 kg ha<sup>-1</sup> of total N) were of 60; 46 and 80 kg ha<sup>-1</sup> of N for the EG, EC y CP respectively. In the sweet corn culture, an important residual effect of the N applied in the previous culture was observed. Even though no significant differences were found between the fertilizing treatments, higher yields were observed with the highest doses of mineral N o fresh dung. The equivalence values estimated on the basis of the N accumulation by the culture, for the average of the 2 doses of organic fertilizers applied, were of 134; 67 and 73 kg ha<sup>-1</sup> of N for EG, EC and CP respectively.

**Key words:** poultry manure, N availability, relationship between N organic and N mineral.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. ANTECEDENTES

El uso de los abonos orgánicos de origen animal, en particular el estiércol de ave como fuente de nutrientes para la producción de cultivos hortícolas es conocido desde hace tiempo (Perkins *et al.* 1964, Rahn 1949). Este tipo de abonos no sólo es una importante fuente de varios de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, sino que también pueden aportar Carbono (C) cuando son aplicados en cantidades importantes. Contribuyen a restaurar la materia orgánica del suelo, lo cual es particularmente importante en sistemas de cultivo en que se han realizado prácticas culturales esquilmantes (bajo aporte de nutrientes y escasa o nula devolución de los residuos de cosecha).

En nuestro país, más concretamente en la región Sur, donde se concentra la producción avícola, se generan aproximadamente 50000 toneladas por año de estiércol de ave, lo cual significa una disponibilidad muy importante de nutrientes como Nitrógeno (N) y Fósforo (P) (Rabuffetti *et al.*, 2010). Según la información disponible, son frecuentes las aplicaciones masivas de estiércol del orden de las 20 – 30 toneladas por hectárea, lo cual no sólo puede superar las necesidades de los cultivos, sino también producir desbalances nutricionales y aumentar el riesgo de contaminación de aguas superficiales y sub superficiales con nitratos y fosfatos a través del lavado y de la erosión.

Existen algunos antecedentes de campo sobre la evaluación del efecto del agregado de abonos de aves en cultivos hortícolas (Docampo *et al.* 2005, Campelo *et al.* 1982). No obstante no existe información que evalúe comparativamente los efectos directos y residuales de distintas formas de abonos de ave y su relación de eficiencia con los fertilizantes nitrogenados minerales de uso más corriente, especialmente cuando los



mismos son aplicados en dosis que tienen por objetivo cubrir las necesidades nutricionales de los cultivos, y no en las dosis que son comúnmente utilizadas en la zona. De los nutrientes aportados por los estiércoles, el N es el que en términos productivos requiere una mayor atención. Es importante tener en cuenta que al aplicar estiércoles se realiza un aporte relativamente alto de P en relación al N cuando se consideran las necesidades nutricionales de los cultivos. Por otro lado, puede haber un considerable efecto residual de P debido a aplicaciones anteriores de fertilizantes fosfatados.

## B. OBJETIVOS

Ante la necesidad de generar información sobre el efecto de los estiércoles de ave en cultivos hortícolas, durante el período 2005 – 2010 se llevaron a cabo en INIA Las Brujas una serie de experimentos de campo tendientes a cuantificar dichos efectos. Se evaluaron dos secuencias de cultivos que en su conjunto corresponden a los cultivos predominantes en la zona hortícola del departamento de Canelones.

Dichas secuencias fueron:

Secuencia 1: Maíz – Avena – Papa- Pradera

Secuencia 2: Zanahoria – Maíz dulce – Cebolla – Sudangrass

En ambos casos las variables experimentales consideradas fueron dosis y fuente de N.

El trabajo que se presenta comprende la ejecución y evaluación de la primer etapa de la secuencia 2, considerando los cultivos de zanahoria y maíz dulce con los objetivos de:

- 1) Evaluar el efecto directo y residual de tres fuentes de estiércol de ave (estiércol fresco de gallina, cama de pollo y estiércol compostado) y de urea en el rendimiento y acumulación de N en ambos cultivos.

2) Establecer posibles equivalencias entre el N mineral y el N aportados por las distintas fuentes orgánicas.

### C. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DE DISTINTAS FORMAS DE ESTIÉRCOL DE AVE.

Dentro de los estiércoles animales, el estiércol de gallina y el de pollo son los que poseen una mayor concentración de nutrientes. Por ejemplo en el caso de la cama de pollo, según los datos nacionales, los porcentajes de N, P y K se encuentran en el entorno del 2,7; 1,6 y 1,7 respectivamente (Barbazán *et al.* 2011, del Pino *et al.* 2008). Esta cantidad de nutrientes relativamente elevada hace que sea más viable su uso como fertilizantes cuando se tienen en cuenta los costos de transporte. Este aspecto es relevante, dado que la producción mundial y nacional no ha dejado de incrementarse con el tiempo, lo cual puede generar problemas ambientales cuando son acumulados en grandes cantidades y no se les da un uso. Por otro lado los abonos de ave pueden ser un fertilizante muy completo, en el sentido de que no sólo contienen macronutrientes, sino también nutrientes secundarios y micronutrientes.

En la zona sur del Uruguay, donde son frecuentes situaciones en las cuales el suelo ha sufrido un importante deterioro, es común el uso de cama de pollo. Se emplea no sólo como un fertilizante sino también con la intención de mejorar las propiedades físicas del suelo. Existe información nacional que reportan su utilidad en este sentido (Campelo *et al.*, 1982).

El estiércol de ave compostado tiene una serie de ventajas con respecto al estiércol fresco, entre las que se destacan la muerte de semillas de malezas y la reducción de patógenos. También todo lo que implica la reducción del volumen; como facilitar el almacenamiento, menor costo de transporte y mayor facilidad en su manejo. Las

posibles desventajas radican en las pérdidas de nutrientes (C, N) y mayores costos asociados al proceso de preparación. (Eghball y Power., 1999; Loecke et al., 2004; Sweeten, J.M., 1988)

La concentración de nutrientes del estiércol de ave depende de varios factores. Algunos de los más importantes son el tipo de ave, el alimento que se utiliza y su tasa de asimilación, y la cantidad de crías que se realizan antes de que sea retirado el estiércol o la cama de pollo (Gaskin *et al.* 2010, Perkins *et al.* 1964). En el cuadro 1 se puede observar que el % de agua de los abonos de ave es relativamente alto, lo que puede tener una fuerte influencia en la concentración de nutrientes en función de las condiciones de conservación y del tiempo en que el material permanece apilado antes de ser utilizado. El N de los estiércoles está integrado por diferentes componentes. Hay formas lábiles, como urea y ácido úrico, las cuales se pueden perder fácilmente por lixiviación o por arrastre del agua. También hay formas más resistentes al ataque microbiano, que son las que tienden a quedar como remanente cuando estos materiales permanecen a la intemperie por varios días o semanas (Barbazán *et al.*, 2011). Por estas razones puede haber cierta variabilidad entre un abono de ave y otro. A modo de ejemplo se puede observar en el Cuadro 1 la variación de los principales nutrientes, según el lugar de procedencia de los estiércoles.

**Cuadro 1.** Porcentaje de humedad y porcentaje de N, P y K en base seca de estiércol de pollo y de gallina de distintas zonas de Georgia, EEUU

Zona	Nº de muestras	Humedad	N	P	K
%					
----- Estiércol de Pollo -----					
Dawson	14	22,1	2,3	1,23	1,66
Habersham	14	22,5	1,3	1,01	1,75
Jackson	17	19,4	2,1	0,97	1,66
Lumpkin	16	26,8	2,2	1,14	1,83
Union	6	34,4	2,4	1,01	1,66
White	15	30,6	2,7	1,14	1,83
<b>Media</b>		<b>25</b>	<b>2,3</b>	<b>1,08</b>	<b>1,69</b>
%					
----- Estiércol de Gallina -----					
Lumpkin	4	29,4	2,3	1,76	1,99
Towns	8	30,2	2,3	1,72	1,66
Union	19	44,5	2	2,16	1,91
<b>Media</b>		<b>36,9</b>	<b>2</b>	<b>1,88</b>	<b>1,85</b>

Extraído de Perkins *et al.* (1964)

Como se puede ver en el cuadro, y como menciona Perkins *et al.* (1964); si bien existen variaciones entre los valores medios de cada zona, las diferencias entre dichos valores la media general son relativamente reducidas. Las mayores variaciones que se observan son en lo que refiere a la cantidad de humedad de los distintos materiales. Por otra parte en el trabajo de Bitzer y Sims (1988) en el cual analizaron 20 muestras, se puede observar una importante variación en los contenidos de N total y N orgánico. En cuanto a la información nacional disponible, Barbazán *et al.* (2011) en un trabajo en el cual se analizan distintos materiales utilizados en sistemas agrícolas, encontraron que por ejemplo en el estiércol de pollo con cáscara de arroz (13 muestras) y sobre aserrín (4 muestras), la composición era variable. En este caso, esto era explicado sobre todo por la variación en la cantidad del estiércol en relación al material acompañante, dado por el tiempo de crianza.

Como se puede observar, algunos autores reportan una mayor variabilidad que otros, pero quizás lo más relevante es que en los trabajos nacionales se encontró una



#### D. MINERALIZACIÓN DE LAS DISTINTAS FUENTES DE NITRÓGENO

El proceso de mineralización de la materia orgánica depende de sus propias características y de la actividad de los microorganismos del suelo. Según Ochse *et al.* (1991) los principales factores que regulan esta actividad son la temperatura, humedad y pH. En condiciones de laboratorio estas variables pueden ser controladas, pero bajo condiciones de campo dependen del clima y de su interacción con el suelo. Los microorganismos aumentan su población y actividad hacia el final de la primavera y a principios del otoño. Durante el invierno su actividad sigue los picos de temperatura, en tanto que en los momentos más cálidos del año las lluvias son el factor determinante. La humedad del suelo afecta los propios requerimientos de los microorganismos e influye sobre la velocidad con la cual los estiércoles pueden ser descompuestos. Por otro lado, el contenido de agua del suelo en interacción con éste, también afecta de forma indirecta el proceso de mineralización. En la medida en que el contenido de agua aumenta, se restringe el espacio poroso y se reduce el intercambio gaseoso entre el aire del suelo y el aire de la atmósfera. El contenido de agua también afecta el régimen térmico, debido a que tiene un importante peso sobre la conductividad. La incidencia que tiene el agua en factores como el intercambio gaseoso y la transmisión de calor, dependen de las características de cada suelo (Baver *et al.*, 1991).

Las formas orgánicas que integran los estiércoles, tienen que pasar por un proceso de mineralización para que los nutrientes queden disponibles para las plantas. Este proceso no sólo es afectado por los factores climáticos mencionados, sino también por las características físicas y biológicas de los materiales (Griffin y Honeycutt, 2000)

La cantidad de N que se mineraliza no sólo depende del contenido absoluto de N y sus fracciones, sino también de la cantidad relativa de C bajo sus distintas formas (Barbazán *et al.*, 2011). Beauchamp y Paul (1989) sugieren que los materiales orgánicos con una relación C/N menor a 15 probablemente generan rápidamente

mineralización neta de N. En tanto que los que presentan una relación mayor o igual a 18 pueden producir inmovilización neta (Calderón *et al.*, 2004). Por otro lado autores como Trinsoutrot *et al.*, 2000) sostienen que se puede esperar mineralización neta en materiales con una relación C/N igual o menor a 25. Se han sugerido otros indicadores para explicar la facilidad de descomposición de los restos orgánicos, como el contenido de lignina (Müller *et al.*, 1988) o polifenoles (Zibilske y Bradford, 2007). En la medida en que es mayor el contenido de estos compuestos, es esperable que los materiales sean más resistentes al ataque de los microorganismos. Otro indicador propuesto es la cantidad de C soluble, ya que forma una porción lábil que puede ser utilizada rápidamente por los microorganismos (Reinertsen *et al.*, 1984). En cierta medida, la diversidad de opiniones en cuanto a los indicadores que pueden emplearse para estimar la mineralización de las sustancias orgánicas, da una pauta de que no es fácil estimar la forma en que se va a dar este proceso sólo con la información de la composición. Sin duda son importantes los ensayos en los que se realiza la medición de la mineralización de estos materiales.

Follett *et al.* (1981) sugiere que el agregado de un estiércol puede promover la mineralización de la materia orgánica del suelo. De ser así, es posible que en los estudios en los cuales se mezcla suelo con estiércol no se obtenga un valor exacto de N aportado por el material bajo estudio. Dentro del N total del suelo, el aporte correspondiente a los abonos no se puede estimar como la diferencia del aporte total de un suelo con abono y el aporte del suelo testigo. Con esta forma de cálculo es posible que se sobrevalore el aporte realizado por los estiércoles. Esta situación sería más pronunciada en la medida que los suelos tengan un mayor contenido de materia orgánica, y que dentro de ésta una mayor parte sea fácilmente degradable.

La capacidad de mineralización de los estiércoles básicamente se estudia de dos maneras, en condiciones de laboratorio y en ensayos de campo. En el primer caso se cuenta con la ventaja de que muchas de las condiciones que afectan el proceso de

mineralización pueden ser controladas, y se puede llegar, para las condiciones elegidas y tiempo elegido, a un valor cercano al máximo potencial de mineralización de los materiales bajo evaluación. En las condiciones de campo se cuenta con la ventaja de que los materiales son evaluados en las condiciones en que van a ser utilizados, pero se está sujeto a las variaciones anuales, lo cual puede llegar a dificultar predecir con exactitud los resultados que se van a obtener en años siguientes a los del ensayo.

### 1. Experimentos de laboratorio

Es interesante observar que aún en condiciones de laboratorio, en las cuales las condiciones ambientales son controladas, se observa cierta heterogeneidad en cuanto a los resultados, aún tratándose de un mismo ensayo. Por ejemplo en el trabajo de Sims (1986) reportó valores de 25; 27 y 40 % del N orgánico en tres estiércoles de pollo (CP) cuando fue incubado a 25 °C durante 140 días. Bitzer y Sims (1988) realizaron una incubación de CP mezclada con suelo a 23°C durante 140 días. En las 20 muestras analizadas se puede observar una importante variación en el proceso de mineralización. En muchos casos no hay una proporcionalidad directa entre el % de N total y la cantidad de N mineralizado al final de la incubación. Por otro lado en el promedio de estas 20 muestras se observó una mineralización del 66 % del N orgánico, lo cual es un valor que se acerca bastante a los reportados por Westerman *et al.* (1987) donde observó valores del 59 a 66 % de N total de CP, como N inorgánico cuando se realizó una incubación de 39 semanas. Estos valores son bastante más altos que los reportados por Sims (1986) y por Castellanos y Pratt (1981), donde, en este último caso, obtuvieron un valor de mineralización del 48 % del N orgánico de CP.

Por otra parte parece haber una influencia del tipo de suelo en el proceso de mineralización. Lo cual es esperable dado que los distintos tipos de suelos presentan características que afectan de forma directa e indirecta la actividad de los



microorganismos, como por ejemplo régimen de temperatura y humedad, contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, etc. Magdoff y Amadon (1980) mencionan que la tasa de mineralización del estiércol es diferente para un suelo limoso que para uno arcilloso. En el trabajo de Tyson y Cabrera (1993) realizaron una incubación de CP y estiércol de gallina (EG) en dos tipos de suelos durante un período de 56 días. Observaron que la cantidad del N total de los estiércoles que fue mineralizado al finalizar la incubación fue muy superior en uno de los suelos utilizados con respecto al otro. Estos autores adjudican las diferencias observadas al pH de cada caso (4,25 vs 5,5) y su posible incidencia sobre la población de microorganismos. En el trabajo de Barbazán *et al.* (2010) se realiza una incubación de distintas enmiendas en dos suelos bastante contrastantes en cuanto a textura, contenido de materia orgánica, y en cierto grado pH. Se puede observar que para cada uno de los casos la tendencia del testigo, en cuanto a evolución en el tiempo del N mineralizado, variación del pH y CO<sub>2</sub> respirado, es muy parecida a ese mismo suelo cuando recibe una enmienda. En el trabajo de Tyson y Cabrera (1993), se puede apreciar que hay un notable parecido entre las tendencias del N que se mineraliza a partir de la materia orgánica del suelo testigo, y el N que se mineraliza a partir del estiércol compostado de gallina y de pollo, aunque no se menciona si existe una relación significativa entre ambas tendencias. En relación a lo mencionado, se podría especular que los factores del suelo que regulan la mineralización de la materia orgánica inciden de una forma muy similar en la mineralización de un estiércol, a pesar de que ambas formas orgánicas pueden tener sus diferencias. El mismo estiércol incubado en dos suelos diferentes puede mostrar tasas de mineralización distintas.

En nuestro país se han realizado algunos trabajos en los cuales se estudió el proceso de mineralización de distintos tipos de estiércoles de ave. En el trabajo de del Pino *et al.* (2008), se realizó una incubación de EG y CP, en donde cada uno de los materiales se mezclaron con suelo bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, durante un período de 79 días. Al finalizar el período de incubación, la CP

había mineralizado el 33 % del N total, lo cual es un valor similar (29 %) al reportado por Barbazán *et al.* (2011) en una incubación de 161 días. En el caso del EG, observaron un valor del 27 % del N total al finalizar el período de incubación. Tyson y Cabrera (1993) en una incubación 56 días observaron valores bastante parecidos, donde el promedio de CP y EG en un caso fue del 27 % y en el otro del 38 %. Castellanos y Pratt (1981), en una incubación de 70 días observaron valores un poco mayores, donde la CP había mineralizado un poco más del 45 % del N total.

En el trabajo de del Pino *et al.* (2008), se observó que durante el proceso de incubación los valores del EG y CP no mostraron diferencias significativas en la mayoría de los muestreos, lo cual indica que tuvieron un comportamiento muy parecido. Esto mismo fue observado por Tyson y Cabrera (1993), para los mismos estiércoles mencionados. Es posible que el comportamiento observado dentro de los plazos manejados (79 d y 56 d) se encuentre relacionado con las cantidades de N y C soluble que componen a ambos materiales (ver Cuadro 2). Sin embargo se podría especular que en plazos más prolongados la fracción de C de difícil ataque que se encuentre en la cama de pollo genere diferencias en las tasas de mineralización de ambos materiales.

Bitzer y Sims (1988), en una incubación de CP, mezclada con suelo a 23 °C durante 140 días, observaron una rápida mineralización en los primeros 14 días, seguida por una mineralización más lenta en el restante período de incubación. Gale y Gilmour (1986) mencionan 3 fases en el proceso de mineralización de CP. Una rápida dentro de los primero 7 días, seguida de una intermedia (7 – 14 d) y una fase lenta (14 – 45 d). La mineralización neta ocurre durante la fase rápida. En la fase intermedia y lenta los niveles de N permanecen constantes o incluso decrecen levemente, lo cual es atribuido a posibles procesos de inmovilización y desnitrificación. Westerman *et al.* (1987) reportaron que los niveles de N- NO<sub>3</sub>, en un suelo abonado con CP, aumentaron en la primer semana, luego siguieron un período en que permanecieron constates, decrecieron y volvieron a aumentar durante las semanas 20 a 40. La fase dos y tres lo

atribuyen a un período de inmovilización seguido de un período de remineralización. Barbazán *et al.* (2011) observaron un patrón similar, aunque con tiempos un poco diferentes. El N mineral aumentó en la primer semana, luego permanece constante hasta el día 70, y luego comienza a incrementarse hasta el fin de la incubación en el día 161, donde alcanza un poco más del doble de lo observado en la primer semana. Otro tanto es observado por Castellanos y Pratt (1981), donde en la segunda semana el N mineral aumentó hasta un 40 % del N total, seguido de un período de lenta mineralización, donde en la décima semana sólo aumentó un 5 %, con respecto al valor anterior. Posiblemente esta forma de mineralizarse de la CP en dos o tres fases esté explicada por la composición de este tipo de estiércol. En el trabajo de del Pino *et al.* (2007) se observó que en una incubación de 79 días, la CP presentó tendencias muy similares al EG, lo cual no era lo esperable, dado que la CP contiene cáscara de arroz, la cual tiene una relación C/N muy elevada por lo que debería producir inmovilización neta. La explicación que dan estos autores es que dentro de este período de tiempo la cáscara de arroz se comportó como un material inerte. El alto contenido de sílice y las ceras que recubren a este material lo vuelven parcialmente impermeable y hacen que sea difícil el ataque de los microorganismos. Por otro lado en plazos de tiempo más prolongados la cáscara de arroz termina mineralizándose y pasando a la materia orgánica del suelo (Olivera, 2008). Esto tiene implicancias agronómicas dado que en el corto plazo la CP al igual que el EG realizan una rápida liberación de N. En el mediano plazo la mineralización neta es casi nula y en una tercera instancia la mineralización vuelve a ser positiva.

En cuanto al estiércol de ave compostado, se cuenta con escasa información nacional. En el trabajo de Tyson y Cabrera (1993) se analizó la mineralización de CP y EG compostados, donde se obtuvo un valor promedio de un 4%, sin diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Castellanos y Pratt (1981), observaron en el estiércol de pollo compostado que en la segunda semana se había mineralizado un 20 % de N total y cerca de un 30 % en la semana 10. Posiblemente la

variación que se observa en los resultados se debe a diferencias en el proceso de compostaje, donde puede variar el grado de estabilidad que se logra en la materia orgánica. Este proceso está regulado por una gran cantidad de factores como humedad de los materiales, estructura y consistencia, aireación, relación C/N y otros nutrientes, pH, presencia de sustancias tóxicas, temperatura, y la metodología empleada (Sweeten 1988).

## 2. Experimentos de campo

En los ensayos realizados en condiciones de campo, lo más frecuente ha sido estudiar la relación de equivalencia entre el N aportado por los estiércoles y los fertilizantes minerales; razón por la cual es la forma de análisis que se plantea para el estudio de los distintos trabajos.

Perkins *et al.* (1964), realizaron una recopilación, en la cual presenta los resultados de 5 trabajos realizados en el estado de Georgia, EEUU. En todos los casos queda claro que los estiércoles pueden ser una importante fuente de nutrientes, dado que generan rendimientos mayores que los tratamientos testigo. Por otro lado se puede observar que una misma cantidad de CP genera distintos rendimientos dependiendo del lugar en donde se realiza el ensayo. Se observan diferencias en las relaciones equivalentes entre fertilizantes minerales (FM) y CP para generar una misma producción. También se observan diferencias en el efecto residual de CP. Las diferencias entre los distintos trabajos pueden tener varias causas. Los rendimientos que se observan en los tratamientos testigo de cada caso brindan indicios de que los rendimientos potenciales son diferentes, y posiblemente también las condiciones de suelo y clima. Este autor menciona que posiblemente uno de los factores que afecte más la mineralización del estiércol de ave sea el régimen de humedad del suelo. Posiblemente también tenga una importante incidencia el tipo de material acompañante

que se utiliza como cama en el proceso de cría de los pollos, el cual puede ser muy variable en las distintas zonas de EEUU.

En los trabajos presentados por Perkins *et al.* (1964) en el área de Blairville en 1955, pudieron establecer una equivalencia entre CP y FM cuando aplicaron una dosis de 56 kg ha<sup>-1</sup> de N como FM o una dosis de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N total bajo de forma de EG, en donde la relación entre ambas fuentes es de 1,4. En el área de Blairs en 1957, obtuvieron un rendimiento ligeramente menor con 180 kg ha<sup>-1</sup> de N total como CP, que con 112 kg ha<sup>-1</sup> de N como FM, donde la relación entre ambas fuentes es de 1,5. En el área de Tifon 1958-1959, lograron alcanzar rendimientos similares a los obtenidos con FM (135 kg ha<sup>-1</sup> de N) con una dosis de 510 kg de N total como CP. En este caso la relación entre ambas fuentes de N es de 3,8. Se puede observar que en dos de los trabajos mencionados se establece una relación muy parecida entre el FM y el estiércol de ave, aunque con distintos niveles de N /ha.

Por otro lado, años más tarde aparecen trabajos como el de Sims (1987), en donde logra estimar con una gran exactitud la cantidad de CP que debe aplicar para alcanzar una determinada cantidad de N disponible para el cultivo. En este trabajo se estudió el uso de CP y nitrato de amonio como fuentes de N en el cultivo de maíz, en donde estimó que el N absorbido por el cultivo del N total, fue de 56 % y 36 % para el nitrato de amonio y CP, lo cual da una relación entre ambas fuentes de N de 1,5.

Bitzer y Sims (1988) realizaron un ensayo en un cultivo de maíz en donde compararon un FM y CP. Las cantidades de CP a aplicar para igualar el aporte realizado por el FM se realizaron asumiendo que el 60 % de N orgánico y el 80 % del N inorgánico queda disponible para el cultivo en el primer año. Con este procedimiento lograron igualar los rendimientos obtenidos con el FM en uno de los sitios del ensayo, y en el otro sitio se observaron diferencias con una significación de probabilidad de 0.9. En este trabajo quedan manifiestos algunos aspectos que tienen que ver con el proceso de mineralización de la CP y la dinámica del N en el perfil de suelo. Temprano en la estación se constató de forma visual una diferencia entre las plantas que recibieron CP y

las que recibieron FM, donde en el primer caso el color de hojas era de un verde marcadamente más intenso y el aspecto era más succulento. Es posible que de la misma forma que observó Sims (1987), en dos de tres años de ensayo, una cantidad importante de N se desplazara en el perfil temprano en la estación (40-60 cm de profundidad en el día 40, en donde se trataba de un suelo arenoso). Ambos elementos estarían sugiriendo que ocurrió una rápida mineralización de una parte importante del N presente en la CP. Sin embargo cuando se realizó un muestreo de hojas en el estado de emisión de barbas, los contenidos de N eran menores en el caso de la CP que con FM. Esto estaría explicado por menor disponibilidad de N en las capas más superficiales de suelo debido al movimiento de una cantidad importante de N hacia capas profundas, temprano en la estación. En cambio en el caso del FM hay una mayor cantidad de N disponible dado que se aplicó fraccionado y el cultivo recibió un segundo aporte (2/3 del total) en estado V-12. Sin embargo al finalizar el ciclo del cultivo, se obtuvieron cosechas en donde en uno de los sitios no hay diferencias entre las fuentes de N utilizadas, y en el otro sitio son pequeñas. Los resultados estimados sugieren que la CP puede mineralizar rápidamente una importante parte de su N. En suelos arenosos y profundos, el N bajo la forma de  $\text{NO}_3$  puede migrar rápidamente en el perfil, y posiblemente es susceptible de perderse por lixiviación si el régimen de lluvias es intenso. Sin embargo, llegado el momento de cosecha, los rendimientos son parecidos para ambas fuentes, lo cual sugiere que o bien una cantidad importante de las raíces se desarrolló en las capas en las cuales se encontraba el N, o bien parte de éste se movió hacia la superficie al avanzar la estación.

En relación al efecto residual, de las 5 locaciones analizadas en la revisión de Perkins *et al.* (1964), en sólo 3 se observó una influencia de la fertilización del año previo: en el área de Blairville en 1955, con una cantidad de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total bajo la forma de EG; en el área de Tifon 1958-1959, se observaron diferencias con respecto al testigo con una cantidad de  $340 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total bajo la forma de CP, y en

el área de Athens 1959-1962, se observó un efecto residual a partir de la menor dosis ensayada ( $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total).

En el trabajo de Bitzer y Sims (1988), estudiaron el efecto residual de la CP. Para evaluar el aporte de este estiércol en la siguiente temporada se dejaron parcelas sin fertilizar. En las muestras de suelo realizadas en cosecha no se encontraron diferencias significativas entre el testigo y la dosis más alta, en donde se aplicaron  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total. Si bien los autores piensan que el cultivo aprovechó todo el N que estaba disponible en el suelo, no descartan la posibilidad de que parte se pudo perder por lixiviación por debajo de la profundidad de suelo muestreada (1 metro). En cambio en cosecha, se encontraron diferencias significativas con la dosis más alta, en dos de los tres estiércoles de pollo ensayados. En base a los rendimientos, estimaron un efecto residual del 11% y 6% del N orgánico aplicado en el año previo, para los dos sitios evaluados. Beauchamp (1987), a partir de un estudio sobre el efecto residual de distintas fuente de N, ajusta ecuaciones para cada fuente analizada con el propósito de estimar la cantidad de N que queda disponible en los años posteriores a la fertilización. En base a estas ecuaciones sostiene que para el caso de la urea y del estiércol líquido de pollo, después de dos años de realizada una fertilización, el efecto residual es nulo o muy bajo. Por otro lado observó que este tipo de estiércol tiene un comportamiento muy similar a la urea. Encontró que las curvas de mineralización de ambas fuentes de N eran muy parecidas en un lapso de 4 años. El comportamiento del abono de pollo lo atribuye al elevado contenido de nitrógeno amoniacal (83 – 95 % del N total).

La residualidad de un fertilizante quizás pueda ser entendida no sólo como la cantidad de N que se mineraliza en los años sucesivos a su aplicación, sino también como la permanencia de N en el suelo, más allá del momento en el que el N se transforma en una forma asimilable para las plantas. En este sentido es importante tener en cuenta las formas en que el N puede quedar ligado al suelo, o puede perderse por distintos mecanismos. Algunos de estos mecanismos se comentan a continuación, más allá de que

en algunos casos posiblemente tengan poca relevancia bajo las condiciones del sur del Uruguay. No obstante es importante tener presentes estos mecanismos a la hora de ponderar los resultados obtenidos en otras regiones.

El N bajo la forma de  $\text{NH}_4$  puede quedar adsorbido por las arcillas del suelo dado que tiene una carga positiva. En general se transforma rápidamente en nitrato si se dan las condiciones de temperatura y oxigenación adecuadas. No obstante cuando queda retenido en poros del suelo de tamaño muy reducido, puede quedar inaccesible al ataque de los microorganismos mientras el suelo permanece seco (Nommik y Vahtras, 1982). Posiblemente este mecanismo de retención sea poco importante en la mayoría de los trabajos analizados, los cuales se desarrollan sobre suelos de textura liviana. En climas templados, la dinámica del N en el perfil de suelo se puede ver afectada también por la temperatura. Por debajo de los  $10^\circ\text{C}$ , si bien prosigue el pasaje de  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_3$ , la tasa se vuelve muy reducida y es casi nulo a cero grado, por lo que las pérdidas por lixiviación serían mínimas a temperaturas bajas (Aldrich y Leng, 1974).

Por otra parte en muchos ensayos, entre las causas que se manejan para explicar los resultados, se mencionan las pérdidas de  $\text{N-NO}_3$  por lixiviación, lo que sin duda es un factor a tener en cuenta. Pero también hay que considerar que si bien durante el desarrollo del cultivo es posible que buena parte del N se mueva junto con el agua por debajo de las capas con mayor concentración de raíces, también es posible que más tarde vuelva a migrar hacia las capas superiores. Incluso se ha observado que fertilizantes aplicados con el suelo húmedo, migran hacia la superficie a medida que el suelo se va secando y evidencian su presencia como una banda de suelo con un cambio de coloración (Aldrich y Leng, 1974). En las zonas áridas, en las situaciones en donde la evaporación del agua excede a las precipitaciones, se pueden desarrollar suelos alcalinos. En estos casos puede ocurrir la acumulación de sales solubles a una profundidad variable o incluso en la superficie (Ochse *et al.*, 1991). En el movimiento de las sales solubles en el perfil, intervienen factores como ciclo de los cultivos, régimen de lluvias, tipo de suelo y sales involucradas.



Otro factor que aparece en muchos trabajos como forma de explicar los resultados son las posibles pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$ . En relación a este punto, es interesante el trabajo de Schilke-Gartley y Sims (1993), en donde se estudian las pérdidas de N por volatilización de la CP y de la urea cuando son colocadas sobre un suelo a capacidad de campo, y cuando son incorporadas a éste. Cuando la CP es incorporada inmediatamente a su aplicación, tiene pérdidas menores a un 5% del N total, luego las pérdidas tienen valores muy bajos o incluso se detienen totalmente. Cuando permaneció en superficie, al tercer día este valor alcanzó casi un 20 % del N total. En el caso de la urea el valor observado fue de un 13 %, cuando fue incorporada inmediatamente, y en los días siguientes se observaron pequeñas pérdidas, lo cual podría estar explicado por una difusión de la urea disuelta hasta la superficie del suelo que se estaba secando. Cuando la urea permaneció en superficie las pérdidas alcanzaron un valor del 27% a los 3 días.

#### E. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE ZANAHORIA Y MAÍZ DULCE

Dadas las características de este estudio es importante conocer las necesidades nutricionales de los cultivos que fueron evaluados, en particular en lo que se refiere al nitrógeno. La metodología de trabajo presupone cantidades no restrictivas de P, K y micronutrientes. En el caso del N mineral (fertilizante), cantidades que abarcan un rango que se inicia con menos de lo necesario para lograr un máximo rendimiento hasta lo necesario para un máximo rendimiento.

Se pueden adoptar dos criterios. El primero es una revisión sobre las cantidades de fertilizantes que son empleadas en suelos y zonas climáticas similares a las del ensayo. El segundo es una revisión sobre las cantidades de nutrientes que extraen los cultivos estudiados. Esta información es utilizada para ajustar las cantidades de

fertilizante a emplear, teniendo en cuenta, la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados en suelos y zonas similares a la de ensayo.

### 1. Cultivo de zanahoria

En el Cuadro 3 se presentan las necesidades nutricionales del cultivo de zanahoria según distintos autores. Según Rubatzky *et al.* (1999) en algunas áreas es habitual la inclusión dentro del programa de fertilización de aplicación de boro y manganeso. En el trabajo de Haag y Homa (1969) se comparó el desarrollo de planta de zanahoria frente a la restricción de N, P, K, Ca y Mg. Encontraron que los nutrientes que limitaban más el desarrollo en peso de las plantas fueron el N y el Ca. De todas formas esto sólo aporta una primera aproximación, y no permite estimar cual puede ser la incidencia en el desarrollo de un cultivo cuando ocurren deficiencias de los micronutrientes que se consideran más importantes.

**Cuadro 3.** Cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo de zanahoria

Fuente	Rend (t /ha)	Macro nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )						Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )			
		N	P	K	Ca	Mg	S	Bo	Cu	Mn	Zn
1	50	200	40	300							
2	53	268	43	835	198	32	34				
3	56	226	50	545							
4	49,7	214	50	273	150	41		260	75	530	760

1: Ciampitti y García (1998), 2: Fernández *et al.* (1972), 3: Lorenz y Maynard (1988), 4: Rubatzky *et al.* (1999)

En las condiciones agroclimáticas del Uruguay es una práctica común la utilización de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N en suelos que han sido cultivados varios años. En general se fracciona esta aplicación en 50 kg en preplantación y el resto en cobertura (Aldabe y Aldabe, 1980). En el Cuadro 4 se pueden ver prácticas comunes de fertilización en EEUU.

**Cuadro 4.** Prácticas comunes de fertilización en distintos estados de EEUU

Estado	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )		
	N	P	K
New York	56 – 84	56 – 112	56 – 224
California	134	106	45
Florida	190	162	230

Fuente: Rubatzky *et al.* (1999)

## 2. Cultivo de Maíz Dulce

Según la tabla de requerimientos nutricionales elaborada por Lorenz y Maynard (1988), la absorción de este cultivo es de 61,6; 9 y 33,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K respectivamente, cuando el rendimiento es de 32500 mazorcas por hectárea. La cantidad equivalente para la cantidad de mazorcas del ensayo (60000/ ha) es de 114, 17 y 62 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K. Por otro lado este tipo de referencia puede aportar una información bastante relativa, debido a que en el caso del maíz dulce hay una variación importante en la altura y peso de las plantas, las cuales extraen una parte muy importante del N absorbido por el cultivo.

En cuanto a las recomendaciones de fertilización para las condiciones del Uruguay, Campelo *et al.* (2004) recomienda para maíz dulce una dosis máxima de nitrógeno de 150 kg ha<sup>-1</sup> para suelos de alto suministro y de 200 kg ha<sup>-1</sup> para suelos de bajo suministro, para una cosecha de 12 Mg ha<sup>-1</sup> (40000 - 60000 pl ha<sup>-1</sup> según destino).

Aldabe y Aldabe (1980), mencionan como una práctica común el uso de 60 -90 kg ha<sup>-1</sup> de N, en densidades de plantación de 35000 – 45000 pl ha<sup>-1</sup>.

## F. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL AGREGADO DE ESTIÉRCOL DE AVE

Según Follett *et al.* (1981), el uso de abonos animales contribuye a mejorar el crecimiento de los cultivos, salvo en suelos en los cuales la acumulación de sales puede ser un riesgo. Realizó una revisión de trabajos en los cuales se compararon estiércoles con cantidades equivalentes de N, P y K aportados por fertilizantes químicos (no se mencionan los cultivos ni los lugares en los cuales se realizaron los ensayos). Menciona que en la mayoría de los casos los resultados fueron mejores en el caso de los estiércoles. Algunas de las posibles razones que explicarían estos resultados son las siguientes: a) Un incremento en la descomposición de la materia orgánica, resulta en una lenta liberación de nutrientes primarios y secundarios, a partir del suelo mismo y del aporte realizado por el abono animal. b) Un incremento en la infiltración del suelo, con lo cual aumenta la entrada de agua a partir de las lluvias y del riego. c) Una disminución en la densidad aparente del suelo, con lo cual hay un aumento del espacio poroso ocupado por el aire y de la capacidad de retención de agua.

La forma en que son utilizados los estiércoles por parte de los cultivos guarda una relación con el manejo que se hace con éstos desde que son generados y son trasladados al campo de cultivo, y el manejo que se realiza una vez que son aplicados. Bouldin *et al.* (1984) menciona, en base la revisión que realizó, que existe una importante relación entre la respuesta de los cultivos y el tiempo entre que los estiércoles son recolectados y son aplicados en los cultivos, sobre todo cuando son rápidamente incorporados al suelo. En la medida que se reduce la pérdida de la fracción líquida o de la orina, se evita la pérdida de una cantidad importante de N inorgánico. Por otro lado una rápida incorporación reduce los riesgos de pérdidas por volatilización. A partir de ensayos de larga duración se ha observado que se logra una mayor respuesta en la medida que la incorporación de estiércol se realiza cerca del momento en el cual el cultivo se encuentra en su período de mayor absorción de nutrientes.

Por otro lado Follett *et al.* (1981), en base a la revisión de 8 ensayos de larga duración, menciona que hay una relación entre la respuesta de los cultivos a los estiércoles y la intensidad de manejo del suelo. Menciona que en la medida que la intensidad de manejo fue menor se observó en la mayoría de los casos una mejor respuesta de los cultivos cuando se utilizaron estiércoles en vez de fertilizantes químicos. En los casos en que la intensidad de manejo del suelo era alta, la mayoría de los estiércoles podían ser reemplazados por fertilizantes químicos sin que ello incidiera en la producción de los cultivos.

La liberación de nutrientes de los abonos orgánicos está más influenciada por las condiciones ambientales que la de los fertilizantes químicos, en particular en lo que se refiere a temperatura y humedad. De esta forma no todas las especies se ven beneficiadas de la misma forma con el uso de los estiércoles, sino que se desarrollan más las especies que tiene una mayor tasa de crecimiento en las épocas más cálidas y húmedas del año. Por ejemplo en pasturas de festuca han observado que el crecimiento fue levemente superior en el verano y levemente inferior en la primavera, que cuando se utilizaban fertilizantes minerales (Gaskin *et al.*, 2010).

Por otro lado no todas las especies parecen utilizar de la misma forma los fertilizantes en forma de estiércoles, en donde la tasa de liberación de nutrientes es más paulatina y constante en el tiempo. Por ejemplo en pasturas de pasto bermuda, se ha observado que con el uso prolongado de CP, con el tiempo se tiende a incrementar la población de gramíneas anuales y de malezas, siendo que estas últimas no provienen de semillas que se encuentren junto a la CP. Esto es debido a la disponibilidad de nutrientes durante un largo período en la estación de crecimiento. Muchas especies de malezas germinan con mayor velocidad cuando se mejoran los niveles de nutrientes y compiten bien con las especies de forraje bajo esas condiciones (Gaskin *et al.*, 2010). En este trabajo se menciona que en numerosos reportes se observó que en las pasturas mixtas de trébol y festuca, cuando son fertilizadas con CP, la población de tréboles

tiende a descender con el tiempo. Esto estaría explicado por cierto nivel de alelopatía de la festuca sobre el trébol. Bandel, citado por Follett *et al.* (1981), establece un límite en el uso de CP en pasturas mixtas, a partir del cual se ven más favorecidas las gramíneas, y las leguminosas tienden a disminuir su población.

En relación a los cultivos hortícolas, Bandel y Mcclurg (1972), a partir de la revisión que realizaron sobre los trabajos realizados en el estado de Maryland, USA, plantean que las hortalizas de ciclo largo (tomates, zanahoria) son las que responden en forma más eficiente a la aplicación del estiércol de ave. Estos cultivos requieren nutrientes asimilables a una tasa similar a la que se mineralizan los abonos de ave. En cambio las hortalizas de ciclo corto, como por ejemplo el maíz, responden mejor al efecto residual del estiércol o a los fertilizantes minerales que liberan las formas asimilables de nutrientes de forma mucho más rápida. Los cultivos de ciclo corto y los de estaciones frías responden mejor a los fertilizantes químicos debido a que el aporte de nutrientes está más rápidamente disponible. Maynard (1994) trabajando en suelos de textura franco y franco-arenosas, encontró que el estiércol de ave compostado aplicado a dosis cercanas a  $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  podría ser usado como sustituto de los fertilizantes nitrogenados y sostener sistemas de producción hortícolas con 3 a 4 cultivos por año (tomates, morrones, brócoli y coliflores). Valenzuela y Crosby (1998) aplicando  $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en una secuencia de lechuga, espinaca y zucchini, obtuvieron rendimientos comparables a los logrados con  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N /cultivo. Rahn (1949) estudió la respuesta de varios cultivos a la aplicación de CP y un fertilizante mineral (4 -8 -12) de N, P y K respectivamente. En un cultivo de tomates los rendimientos con 185 y  $370 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total, aplicados como CP no tuvieron diferencias significativas entre sí, y fueron superiores a los logrados con  $224 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados como fertilizante mineral. Perkins *et al.* (1964) cita un trabajo en el cual se comparan los rendimientos logrados con FM y con CP en un cultivo de coles. No se observaron incrementos en los rendimientos por encima de  $90\text{-}40\text{-}74 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, P y K bajo de forma de FM. Sin

embargo se lograron mayores rendimientos en todas las dosis de FM empleadas cuando se agrego CP.

En el trabajo de Campelo *et al.* (1982) en un cultivo de tomate industria, no encontraron una repuesta en términos de rendimiento a las distintas dosis y fraccionamientos de N aplicado como urea. Se vislumbró un mejor comportamiento en los tratamientos en los cuales se había aplicado previamente estiércol de gallina. El uso de esta fuente de N parece haber generado diferencias en el comportamiento del cultivo. Los autores observaron un retraso en el inicio productivo y una prolongación en el ciclo. También observaron un aumento de la cantidad de N foliar, el cual guardaba una discreta relación con la producción industrializable.

#### G. EFECTOS BIOLÓGICOS DEL AGREGADO DE ESTIÉRCOL

Rahn (1949), encontró en cuatro años consecutivos de cultivo de tomates, que siempre que se incluía la CP al FM, los rendimientos logrados eran mayores. Esto es interesante teniendo en cuenta que las dosis mayores de FM eran de  $185 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. En este trabajo también se estudiaron los momentos de aplicación de CP, donde en promedio los mayores rendimientos se lograron cuando la aplicación se realizó 2 meses antes de la siembra, ya sea previo a enterrar el cultivo de cobertura invernal (trigo o cebada) o inmediatamente después de esta arada. Se puede presumir que en el caso de la aplicación posterior, ya sea por las condiciones climáticas o por las labores que siguieron, no existieron grandes pérdidas de N por volatilización. Cualquiera de estos dos momentos de aplicación, generó una respuesta superior que cuando la CP fue incorporada inmediatamente previo a la siembra. No se dan explicaciones, pero quizás se deba a que aplicado 2 meses antes se reducen los riesgos de inmovilización por parte de las coberturas. También se podría especular sobre factores como la actividad biológica y propiedades físicas del suelo que pueden generar los distintos tiempos de

aplicación. En los cultivos de habas estudiados, se lograron los mismos rendimientos con una dosis de 90 y 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicado como (4-8-12). Se logró un incremento en el rendimiento de un 17 % cuando a la dosis de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N se agregó 5 Mg ha<sup>-1</sup> de CP, ya sea previo a la arada, o al voleo después de ésta. Se podría inferir que la CP aportó una mejora en el rendimiento en aspectos diferentes a las necesidades de macronutrientes. Por otro lado Beauchamp (1987), después de un período de 12 años de trabajo con el cultivo de maíz, menciona que no encontró evidencia clara sobre un efecto adicional al suministro de nutrientes cuando utilizó distintas formas de estiércoles.

#### H. EFICIENCIA DE LAS FUENTES ORGÁNICAS EN RELACIÓN A LA FUENTES MINERALES DE NITRÓGENO

Un aspecto sin duda relevante desde el punto de vista productivo es conocer la eficiencia del estiércol como fuente de N en relación a un fertilizante estándar (fertilizante mineral), tanto en el efecto directo sobre un cultivo, como en el posible efecto residual en cultivos posteriores. Un método muy utilizado para ello consiste en determinar los valores de equivalencia en N del fertilizante mineral. Es decir, estimar la cantidad de N del fertilizante mineral que puede ser sustituida por determinada cantidad de estiércol para producir el mismo rendimiento o la misma cantidad de N acumulado por el cultivo (Barrow, 1984).

Barrow y Bolland (1990) describen básicamente 2 aproximaciones para ello: a) Ajustar una curva de respuesta al N de la fuente estándar. Esta relación y las respuestas observadas al abono orgánico se usan entonces para estimar gráficamente o por cálculo la equivalencia en N mineral de las fuentes orgánicas. Esta aproximación fue utilizada por Loecke *et al.* (2004) para evaluar la eficiencia relativa de una misma dosis de estiércol de cerdo fresco o compostado aplicado en distintas épocas previas a la siembra



de maíz en Hapdusoles del estado de Iowa. La misma aproximación fue también utilizada por Rabuffetti *et al.* (2010) para evaluar la eficiencia de 2 dosis de estiércol fresco de ave en la secuencia maíz- avena- papa en un Brunosol típico de la zona hortícola del Dpto. de Canelones.

b) Ajustar curvas de respuesta a ambas fuentes y deducir matemáticamente la cantidad de estiércol que produce el mismo rendimiento o la misma acumulación de N que una determinada cantidad de N mineral. Para este propósito, lo más usual es que se utilicen funciones exponenciales (tipo Mitscherlich) o polinomiales cuadráticas. Por este método es posible determinar la eficiencia relativa de una fuente respecto a otra al variar los niveles de fertilización. Barrow y Bolland (1990) utilizaron esta aproximación en Australia para evaluar la eficiencia relativa del superfosfato de calcio y del fosfato de roca en el rendimiento de trébol subterráneo en suelos ácidos deficientes en P.

También fueron desarrolladas otras metodologías para estudiar la forma en que se mineraliza el N de los distintos estiércoles. Pratt y su equipo en 1973 desarrollaron el concepto de series de descenso. Este concepto tiene en cuenta como principales factores, la cantidad de N orgánico presente en los estiércoles que puede estar disponible para los cultivos, y la mineralización gradual del N orgánico en el tiempo. En la práctica las series de descenso se representan por una serie de números consecutivos, donde el primer número corresponde al % del N orgánico total que se mineraliza en el primer año. El segundo dígito corresponde a la proporción del N residual del primer año que se mineraliza en el segundo año, y así sucesivamente. La magnitud de los porcentajes propuestos varía con los distintos tipos de estiércoles. Por ejemplo en el caso de un material con una alta proporción de N orgánico, se mineraliza rápidamente el primer año, y el porcentaje es alto, en tanto que en los años consecutivos los porcentajes de mineralización son bajos. En los años siguientes este concepto básico fue modificado y reelaborado por otros autores (Bouldin *et al.*, 1984). Ese mismo autor, en base a la revisión que realiza, plantea que el concepto y la elaboración de las series de descenso

exceden la información experimental disponible para realizar una verificación cuantitativa de éstas. En ningún caso hay una gran cantidad de información que se pueda usar para documentar el grupo de parámetros propuesto. Los parámetros propuestos fueron elaborados en base a juicios y una escasa información experimental, por lo cual es probable que sólo puedan ser utilizados en situaciones muy similares a aquellas en que fueron elaboradas. Este autor, plantea que es atractivo proponer que la tasa de mineralización es la principal función de las propiedades de los estiércoles, y que las pérdidas son el resultado del manejo, como por ejemplo, momento de aplicación, y el tiempo en que estos materiales permanecen en la superficie. De acuerdo a esta hipótesis, el comportamiento de las fuentes es independiente del tipo de suelo. Sin embargo a partir de la revisión de distintos trabajos se puede ver que hay grandes diferencias en las tasas de mineralización y un desacuerdo en cuanto a las pérdidas, dependiendo del tipo de suelo. De esta forma las series de mineralización y las pérdidas son muy dependientes de factores como el suelo, clima, variables culturales, métodos de aplicación, etc.

Por otra parte se realizaron trabajos como el de Sims (1987) en donde evalúa la predicción del N disponible a partir de cama de pollo. Para esto realizó un ensayo de tres años con cultivos de maíz, donde se compara la cantidad de CP necesaria para igualar la respuesta de un fertilizante mineral nitrogenado. Para determinar las dosis de CP a utilizar empleó una fórmula que denominó nitrógeno potencial disponible (PAM).  $PAM = 80 \% Ni + 60 \% No$ , donde Ni, es el N inorgánico ( $NH_4 + NO_3$ ) y No es N orgánico de la cama de pollo. Para estimar la cantidad de N mineralizado en el año 1, 2 y 3, a partir de la aplicación del primer año utilizó la serie de descenso 60 - 20 - 10. Más allá de los cuestionamientos que plantea Bouldin *et al.* (1984), a partir de la fórmula de N potencialmente disponible y de la serie de descenso, Sims (1987) logró estimar con precisión la cantidad de CP necesaria para igualar distintas dosis de fertilizante mineral. En dos de los tres años de ensayo, raramente se encontraron diferencias entre los parámetros medidos cuando se utilizaron CP o FM. Sin embargo en uno de ellos los valores observados con la CP fueron consistentemente menores que con

el FM, lo cual los autores atribuyen a un posible proceso de inmovilización dado por una alta relación C/N dada por el material acompañante de la CP. En los estudios de residualidad que se realizaron, observaron un incremento en los tratamientos que recibieron aplicaciones previas al cultivo, pero la información obtenida no permitió correlacionar ese incremento con el valor del porcentaje del N inicial que pueda haber originado dicho incremento. Resulta llamativo que las series sean útiles en la predicción de varios cultivos consecutivos, pero no se obtengan valores claros en los estudios de residualidad, ni siquiera en el plazo de 1 o 2 años. Un año más tarde Sims, participa en otro ensayo (Bitzer y Sims 1988), en donde la metodología es muy parecida a la ya descrita. En este caso, el ensayo se realizó en dos sitios diferentes. En uno de los casos obtuvieron iguales rendimientos para CP y FM, en tanto que en el otro sitio se observaron diferencias con una significación de probabilidad de 0,9. Los autores proponen que las diferencias se deben a una pérdida de N temprano en la estación.

Estos dos trabajos reflejan en cierto grado los cuestionamientos que plantea Bouldin *et al.* (1984). En primera instancia, la metodología planteada por Sims (1987) permite predecir con bastante exactitud la forma en que la CP hace disponible su N, al menos en el primer año de cultivo. Por otra parte es importante notar que la metodología y los dos ensayos se desarrollaron en la misma zona (University of Delaware) y en todos los casos con suelos muy similares. Aún así, en los dos ensayos mencionados aparecen diferencias, en donde los eventos climáticos aparecen como un factor importante. También aparecen como factores importantes la forma en se maneja la CP y el material mismo que se está utilizando. De la misma forma que plantea Bouldin *et al.* (1987), esta metodología puede ser útil para determinadas condiciones de suelo y clima, pero difícilmente se pueda extrapolar sin modificaciones a otras zonas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. SITIO EXPERIMENTAL

El experimento se ubicó en un área en la cual se desarrollaron cultivos hortícolas de forma intermitente durante un período de más de 20 años, y bajo un período de barbecho en los 6 meses previos a la instalación del ensayo. El suelo predominante es un Brunosol eútrico típico. En el Cuadro 5 se presentan algunas de sus propiedades físicas y químicas.

**Cuadro 5.** Propiedades físicas y químicas del suelo al inicio del experimento.

Profundidad cm	Textura	pH <sub>H2O</sub>	Mat. Org. %	N min. mg kg <sup>-1</sup>	P Bray Mg kg <sup>-1</sup>	K interc. meq. 100 g <sup>-1</sup>
0 - 20	F L	6,3	3,9 - 4,2	20 - 25	15 - 30	0,73
20 - 40	F Ac L	6,6	3,1 - 3,4	10 - 14	11 - 28	0,75
40 - 60	Ac L	---	---	---	---	---

pH H<sub>2</sub>O: relación 1: 2.5; K intercambiable: por extracción de acetato de amonio pH 7; de MO: % C \*1.72

### B. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio se realizó en la secuencia de cultivo de zanahoria, maíz dulce, cebolla y sudangrass, de los cuales en este trabajo se analizan los cultivos de zanahoria y maíz dulce. Los tratamientos utilizados en cada cultivo se muestran el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Tratamientos aplicados al inicio de cada cultivo

Tratamiento	N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente	Abonos (Kg ha <sup>-1</sup> M.S.)
1	0	---	----
2	60	Urea	130
3	120	Urea	260
4	180	Urea	390
5	120	Estiércol	2791
6	240	Estiércol	5581
7	120	Cómpost	3750
8	240	Cómpost	7500
9	120	Cama de pollo	4800
10	240	Cama de pollo	9600

Estos tratamientos se dispusieron en un diseño de bloque al azar con tres repeticiones en parcelas de 5 por 15 metros. Las fuentes de N utilizadas fueron urea, estiércol fresco de ave, cama de pollo y estiércol compostado. En el Cuadro 7 se pueden observar los parámetros químicos y físicos de las tres fuentes orgánicas.

**Cuadro 7.** Características de los abonos orgánicos utilizados

Parámetro	Unidad	Estiércol	Compost	Cama de pollo
Humedad	%	27	30	25
Carbono total	%	44	23	41
Nitrógeno total	%	4,3	3,2	2,5
C/N	---	10,2	7,2	16,5
N - NH <sub>4</sub>	µg g <sup>-1</sup>	1090	80	830
P	%	1,4	1,3	1,6
K	%	1,6	1,6	1,8
Ca	%	1,6	---	---
Cu	µg g <sup>-1</sup>	33	---	---
Mn	µg g <sup>-1</sup>	175	---	---
Zn	µg g <sup>-1</sup>	260	---	---
pH	---	8,2	7	8,2
C. E.	cs cm <sup>-1</sup>	2600	2700	3000

Los análisis de % humedad, C total, N total, P, K, Ca, Cu, Mn, Zn, fueron realizados en INIA La Estanzuela. Los análisis de N - NH<sub>4</sub>, pH y conductividad eléctrica (C.E.) fueron realizados en el laboratorio Analítico Agroindustrial (LAAI), Paysandú.

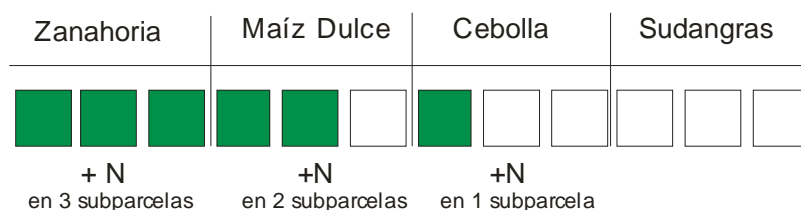
El estiércol de ave provino de ponedoras en jaula de 22 meses de edad. La cama de pollo se obtuvo del piso de dos ciclos de cría de pollos parrilleros. El cómpost fue

elaborado a partir de la mezcla de dos tercios de cáscara de arroz y un tercio de estiércol de gallina. Durante el proceso de compostaje se realizó un mezclado periódico con la finalidad de homogenizar la temperatura y humedad. Se logró la madurez de este material a los 4 meses (Roberto Docampo, comunicación personal, 20 de diciembre de 2010).

Los abonos orgánicos se aplicaron al suelo entre 10 a 15 días antes de la siembra de los cultivos, en cobertura (manualmente), y se incorporaron inmediatamente con una disquera para evitar posibles pérdidas por volatilización de N. En el caso de la urea, se realizó en ese mismo momento una incorporación basal con la mitad de la dosis correspondiente a cada tratamiento, y la dosis restante se aplicó en zanahoria a los 40 días post emergencia y en maíz dulce en la emergencia de barbas. En los tratamientos que recibieron fertilizante mineral y en el testigo, se incorporaron previo a la siembra  $46 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  bajo la forma de superfosfato para equilibrar el aporte de P que realizan los abonos orgánicos.

Como forma de evaluar los efectos directos y residuales, las parcelas originales de 5 x 15 metros fueron divididas en 3 subparcelas. En el primer cultivo (zanahoria), la parcela fue fertilizada en su totalidad. En el segundo cultivo (maíz dulce), la parcela fue fertilizada en dos de sus tres particiones, y en el tercer cultivo (cebolla) la parcela sólo fue fertilizada en una de sus particiones (no analizado en este trabajo). De esta forma en el cultivo de zanahoria se evaluó el efecto directo de las cuatro fuentes nitrogenadas. En el cultivo de maíz dulce se evaluó el efecto residual del fertilizante aplicado en el cultivo anterior y este efecto residual más el efecto directo de la aplicación realizada a principios del ciclo. En la figura 1 se presenta un esquema general de la fertilización nitrogenada realizada en la secuencia de cultivos. Como forma de abreviar la cantidad de veces que se aplica fertilizante en cada uno de los tratamientos, en adelante se va a hablar de tratamientos residuales (R) cuando recibieron una sola aplicación y re fertilizados (RF) cuando recibieron dos aplicaciones.

**Figura 1.** Esquema de fertilización de los cultivos



### C. MANEJO DE LOS CULTIVOS

A continuación se presentan las principales actividades de campo vinculadas a cada uno de los cultivos.

**Cuadro 8.** Operaciones de campo para zanahoria y maíz dulce

Cultivo	Actividades	Meses/año
ZANAHORIA	Fertilización con abonos, mitad del fertilizante mineral	Agosto/2007
	Siembra	Septiembre/2007
	Fertilización con fracción restante del fertilizante mineral	Octubre/2007
	Muestreo foliar	Noviembre/2007
	Cosecha	Diciembre/2007
MAIZ DULCE	Fertilización con abonos, mitad del fertilizante mineral; Siembra	Enero/2008
	Fertilización con fracción restante del fertilizante mineral	Febrero/2008
	Muestreo foliar; Cosecha	Marzo/2008

Los materiales genéticos utilizados fueron en el cultivo de la zanahoria, la variedad Nantesa Tito, y en el cultivo del maíz dulce, el híbrido Topacio. El cultivo de zanahoria fue implantado con una sembradora directa a razón de 5 filas por cantero, distanciadas entre sí 18 cm, y con distancia entre plantas de 1.5 – 1.8 cm. De esta forma, se buscó

establecer una densidad de plantación de 2.000000 plantas por hectárea. En el maíz dulce se estableció una densidad de plantación de 60000 plantas por hectárea, donde la distancia entre plantas fue de 20 cm y entre líneas de plantación de 80 cm.

Ambos cultivos se manejaron con riego, definido en base al Sistema de Programación de Riego de INIA – Las Brujas. Durante el ciclo de los mismos, se realizaron los controles de malezas, plagas y enfermedades, siguiendo las pautas de un esquema de manejo convencional.

La cosecha de zanahoria se realizó entre el 18 y el 20 de Diciembre del 2007. Cada parcela estaba integrada por tres canteros, donde se estimó el rendimiento, en base a la cosecha del cantero central. Las zanahorias fueron descoladas y las hojas fueron pesadas en el mismo lugar de la cosecha. Las raíces se colocaron en cajones para ser pesadas y clasificadas posteriormente. Se tomaron muestras de hoja y raíz a nivel de campo para realizar determinaciones de materia seca y acumulación de N en cosecha.

El maíz dulce se cosechó entre el 24 y el 25 de Marzo de 2008. Se evaluaron la totalidad de las cuatro filas centrales de cada tratamiento. En cada subparcela se contaron la cantidad de choclos, y se pesaron por separado las mazorcas y chala. Para estimar la cantidad total de materia seca que produjo el cultivo, se cosecharon y pesaron las plantas de las dos filas centrales de cada tratamiento. Se tomaron muestras de plantas enteras y mazorcas para la determinación de materia seca y acumulación de N en cosecha.

#### D. MUESTERO Y ANÁLISIS DE PLANTAS

Se recolectaron muestras foliares en todos los tratamientos para determinar el estado nutricional del cultivo a mitad de ciclo. En el cultivo de zanahoria a los 60 días



post-emergencia (inicio del engrosamiento de las raíces), se tomaron de 20 a 25 hojas por parcela, donde se colectó la hoja más joven que había completado su desarrollo. En el caso del maíz, se colectaron aproximadamente 30 hojas en cada subparcela. Se tomó la hoja opuesta a cada mazorca en el momento en que el cultivo se encontraba en emergencia de barbas (Havlin *et al.*, 2005). Estas muestras, al igual que las obtenidas en el momento de cosecha, fueron secadas a 65 °C y luego molidas para su posterior análisis en laboratorio, donde se determinó el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de análisis de Tejidos vegetales de INIA - Las Brujas.

## E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables que fueron analizadas en forma estadística fueron: rendimiento de raíces en zanahoria y peso de mazorcas en maíz dulce, Nitrógeno absorbido por la totalidad del cultivo, en cada uno de los casos, y contenidos de N, P y K, estimados a partir de muestras foliares tomadas a mitad del ciclo de cada cultivo.

En el cultivo de zanahoria se realizó un diseño de bloques al azar con 10 tratamientos y 3 repeticiones. En este caso el modelo asociado al diseño experimental fue:

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

donde:

$y_{ij}$  = Variable medida

$\mu$  = Media general

$\beta_j$  = Efecto relativo del bloque con respecto a la media general

$\tau_i$  = Efecto relativo del tratamiento  $i$  con respecto a la media

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

En el cultivo de maíz dulce, se realizó sobre el diseño original en bloques una partición en tres subparcelas. De estas, se volvieron a fertilizar dos con el mismo tratamiento, en tanto que una permaneció sin ser fertilizada. Las sub parcelas que fueron re fertilizadas se eligieron de forma aleatoria. Se utilizó el dato promedio de las parcelas re fertilizadas dado que no se observaron diferencias significativas entre las observaciones. De esta forma quedó conformado un diseño de parcelas divididas en bloques.

En este caso el modelo asociado al diseño experimental fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau_i + \delta_{ij} + \alpha_k + \tau\alpha_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = Variable medida

$\mu$  = Media general

$\beta_j$  = Efecto relativo de bloque

$\tau_i$  = Efecto promedio del tratamiento con fertilización residual (R)

$\delta_{ij}$  = Error (a)

$\alpha_k$  = Efecto promedio de la re fertilización (RF)

$\tau\alpha_{jk}$  = Efecto de la Interacción entre fertilización residual y re fertilización

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental (Error b)

De esta forma la descomposición de las fuentes de variación se pueden observar en el siguiente esquema.

**Cuadro 9.** Cuadro general del ANAVA realizado con la información de maíz dulce

<b>Fuentes de variación</b>	<b>G. L.</b>
Bloques	2
R	9
Error (a)	18
RF	1
R*RF	9
Error (b)	20

R: fertilización realizada en el cultivo de zanahoria (residual). RF: fertilización en zanahoria más la fertilización realizada en el cultivo de maíz dulce (re fertilizados).

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando subsistemas de los programas INFOSTAT (v. estudiantil) y SAS (v.9)

Cuando en los ANAVA hubo un efecto significativo de los tratamientos al 5 % de probabilidad, se realizó una prueba de comparación de medias para la diferencia mínima significativa (DMS).

En los análisis de regresión realizados se ajustaron funciones lineales o cuadráticas de acuerdo a los modelos.

$$y = a + bx$$

$$y = a + bx - cx^2$$

Donde:  $y =$  (rendimiento  $\text{kg ha}^{-1}$  o  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), o N total absorbido en cosecha ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

$x =$  dosis de N aplicado o N total absorbido en cosecha o % N foliar.

Para establecer si dos coeficientes lineales de respuesta eran significativamente distintos se utilizó la fórmula

$$t = \frac{(b_1 - b_2)}{\sqrt{S_{b_1}^2 + S_{b_2}^2}}$$

donde:  $b_1$  y  $b_2$  son los estimadores de los coeficientes lineales que se comparan y

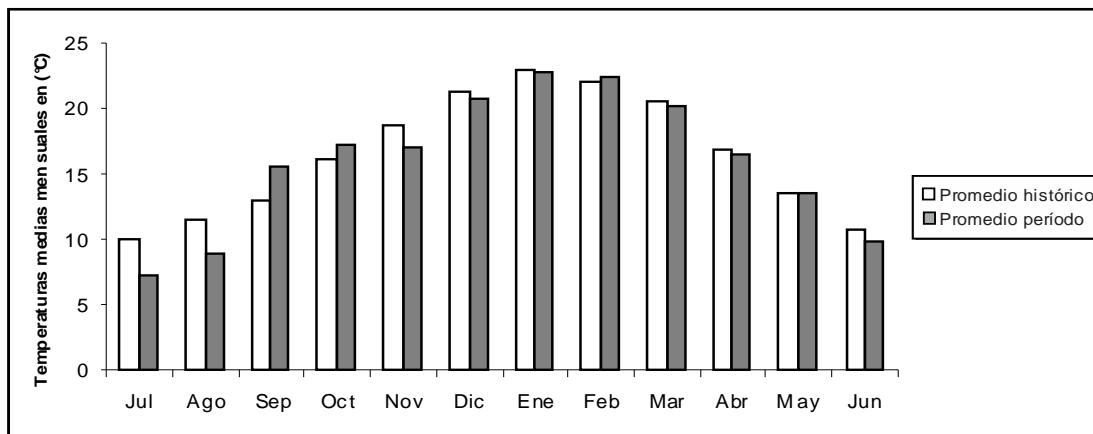
$\sqrt{S_{b_1}^2}$  y  $\sqrt{S_{b_2}^2}$ , los errores standards respectivos de estos coeficientes.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

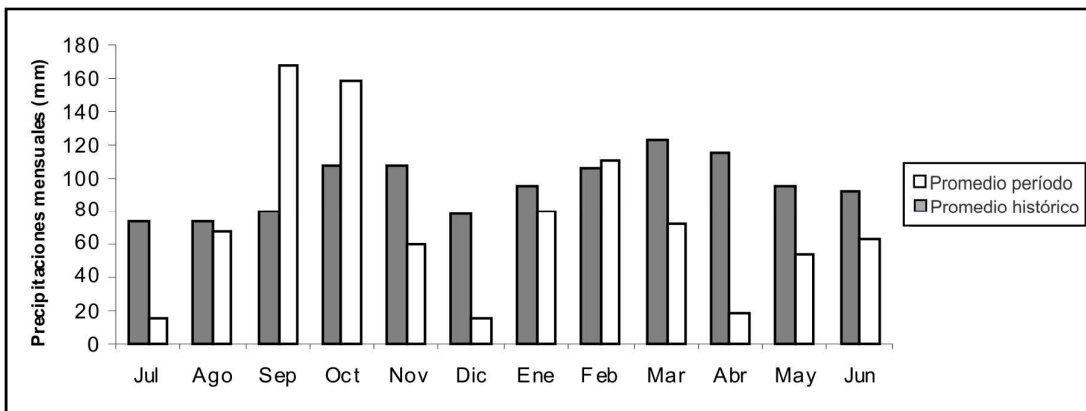
#### A. CONDICIONES CLIMÁTICAS

En las figuras 2 y 3 se presenta la información del promedio mensual de la temperatura y de las precipitaciones durante la estación de crecimiento del cultivo de zanahoria y de maíz dulce (2007 – 2008), y el promedio histórico de 30 años registrado en la estación agroclimática del INIA – L.B.

**Figura 2.** Promedio mensual de las temperaturas del período estudiado y promedio histórico



**Figura 3.** Precipitación mensual del período estudiado y promedio histórico



En términos generales no se observaron fenómenos climáticos extremos durante el ciclo de desarrollo de ambos cultivos, donde las temperaturas medias mensuales se

encuentran cercanas al promedio histórico. En el cultivo de zanahoria (Agosto – Diciembre), en la primer mitad del ciclo, ocurrieron precipitaciones relativamente elevadas en tanto que en la segunda mitad fueron escasas. En el cultivo de maíz dulce (Enero – Marzo) las precipitaciones fueron relativamente escasas, determinando condiciones de elevada luminosidad. Este factor, asociado a las temperaturas registradas, proporcionaron buenas condiciones para el desarrollo del cultivo, dado que siempre se mantuvo un adecuado nivel de humedad en el suelo mediante el sistema de riego.

## B. CULTIVO DE ZANAHORIA

### 1. Rendimiento de raíces, acumulación de N en cosecha y contenidos foliares

En el Cuadro 10 se muestra el efecto de las diferentes dosis y fuentes de N en el rendimiento total de raíces, acumulación de N en cosecha y contenidos foliares a mitad del ciclo en N, P y K.

**Cuadro 10.** Rendimiento de zanahoria, N acumulado por el cultivo al final del ciclo y contenidos foliares de N, P y K a mitad del ciclo en los tratamientos estudiados.

Tratamientos		Cosecha	N acumulado (planta entera)	Contenidos foliares (%)		
N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente	Mg ha <sup>-1</sup>	N (kg ha <sup>-1</sup> )	N	P	K
0	---	23,43 b	65,0	3,02	0,45	3,55
40	Urea	32,34 a	98,8	3,36	0,37	3,72
80	Urea	31,92 a	131,8	3,71	0,43	3,58
120	Urea	33,2 a	132,3	3,31	0,42	3,58
120	Estiércol	33,43 a	97,7	3,16	0,41	3,34
240	Estiércol	36,46 a	109,2	3,32	0,42	3,64
120	Compost	32,35 a	79,7	3,02	0,41	3,52
240	Compost	37,38 a	109,1	2,93	0,42	3,48
120	Cama de pollo	35,85 a	106,7	3,07	0,4	3,48
240	Cama de pollo	38,83 a	119,3	2,94	0,44	3,63
<b>Promedio</b>		<b>33,52</b>	<b>105,0</b>	<b>3,18</b>	<b>0,42</b>	<b>3,55</b>
<b>Fuentes de variación</b>		----- P > F -----				
Bloques		0,0016	0,0595	0,9114	0,0001	0,3148
Tratamientos		0,1016	0,127	0,3482	0,182	0,5434
DMS 0.1 entre 2 medias		8,9	46,2	0,66	0,05	0,33
CV %		15,6	25,7	12,04	6,58	5,47

El rendimiento total de raíces fue en promedio de  $33,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con valores observados que oscilan entre las  $23,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el tratamiento testigo a rendimientos del orden de los  $37 - 40 \text{ Mg ha}^{-1}$  en los tratamientos que recibieron  $240 \text{ kg de N total}$  con cualquiera de las tres fuentes orgánicas. Los rendimientos obtenidos con la fuente de N mineral fueron del orden de las  $33 \text{ Mg ha}^{-1}$  para cualquiera de las dosis utilizadas. El ANAVA detecta efectos significativos de los tratamientos al 10 % de probabilidad. La prueba de comparación de medias a este nivel de probabilidad, solo muestra diferencias significativas del testigo con respecto a los demás tratamientos. Aparece como altamente significativo el efecto bloque, con un rendimiento promedio del bloque II de  $39 \text{ Mg ha}^{-1}$ , frente a  $33 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el bloque I y solo  $29 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el bloque III. La menor productividad del cultivo en ésta última repetición puede vincularse al hecho de que el suelo mostraba una gradual transición hacia características vérticas, con alternancia de áreas superficiales con áreas profundas. El efecto de esa diferencia con respecto a las otras dos repeticiones se ve reflejado en un mayor porcentaje de raíces clasificadas como descarte, en su mayoría debido a que no alcanzaron un tamaño comercial. En el bloque I el descarte fue de 14,5 %, en el bloque II de 17,0 %, en tanto que en el bloque III fue de 26,0 %

Es importante tener en cuenta que al comienzo del ensayo, el suelo tenía un elevado contenido de N mineral (mayor a  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). También es muy probable que haya ocurrido un considerable aporte de N durante el ciclo del cultivo por mineralización de la materia orgánica del suelo. Por otra parte es importante tener presente que en las mediciones que se realizaron del agua libre por debajo de los 60 cm, se encontraron cantidades muy reducidas de nitratos, por lo que a pesar de la elevadas lluvias de Septiembre y Octubre, no parecen haber ocurrido importantes pérdidas de N por lixiviación

La cantidad de N total acumulado por el cultivo en el momento de la cosecha (raíces más parte aérea) fue en promedio de  $105 \text{ kg ha}^{-1}$ , con valores observados que oscilan desde los  $65 \text{ kg ha}^{-1}$  en el testigo a  $130 \text{ kg ha}^{-1}$  en los tratamientos que recibieron la dosis más alta de fertilizante mineral. En los tratamientos que recibieron 120 a  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de N total bajo las tres formas de estiércol de ave, estuvieron en el orden de los  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . También en este caso, y pese a la tendencia promedio de mayor acumulación de N en los tratamientos fertilizados, en particular los que recibieron una fuente nitrogenada mineral, el ANAVA muestra que recién se alcanzó un nivel de significación al 12,7 %. Por otra parte el ANAVA, muestra un coeficiente de variación muy alto para esta variable ( $CV = 25,7\%$ ).

Tampoco los contenidos foliares en N, P y K, determinados a mitad del ciclo del cultivo, arrojan diferencias significativas entre los distintos tratamientos. En primera instancia, bajo las condiciones en que se desarrolló este cultivo, y con la técnica utilizada de muestreo, no se pudo estimar el volumen de cosecha a partir de los datos de análisis foliar. Por otra parte, en base a la información que presenta Fernández *et al.* (1972), la mayor parte de N es absorbido en la segunda mitad del ciclo, justamente en el período posterior a la toma de muestras para el análisis foliar.

## 2. Equivalencias entre el N de las fuentes orgánicas y el N de la fuente mineral

A efectos de analizar equivalencias en N entre las fuentes orgánicas y la fuente mineral, se procedió a ajustar para las variables rendimiento de raíz y acumulación de N, ecuaciones de respuesta a la fertilización mineral.

La Figura 4 presenta la función de respuesta a la fertilización mineral, junto con los valores observados para las distintas fuentes orgánicas. Cuando se considera el rendimiento de raíces en función del N aplicado, se puede observar que la dosis de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N orgánico genera rendimientos muy similares a los logrados con  $120 \text{ kg ha}^{-1}$

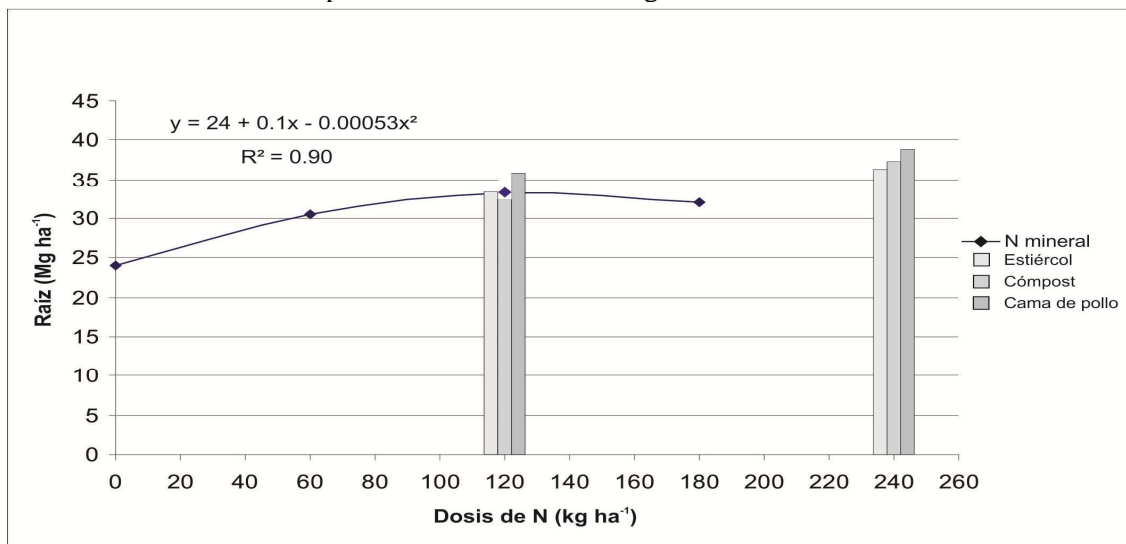


de N mineral en tanto que las dosis de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N orgánico están asociadas con rendimientos algo superiores a los logrados con la dosis máxima de N mineral.

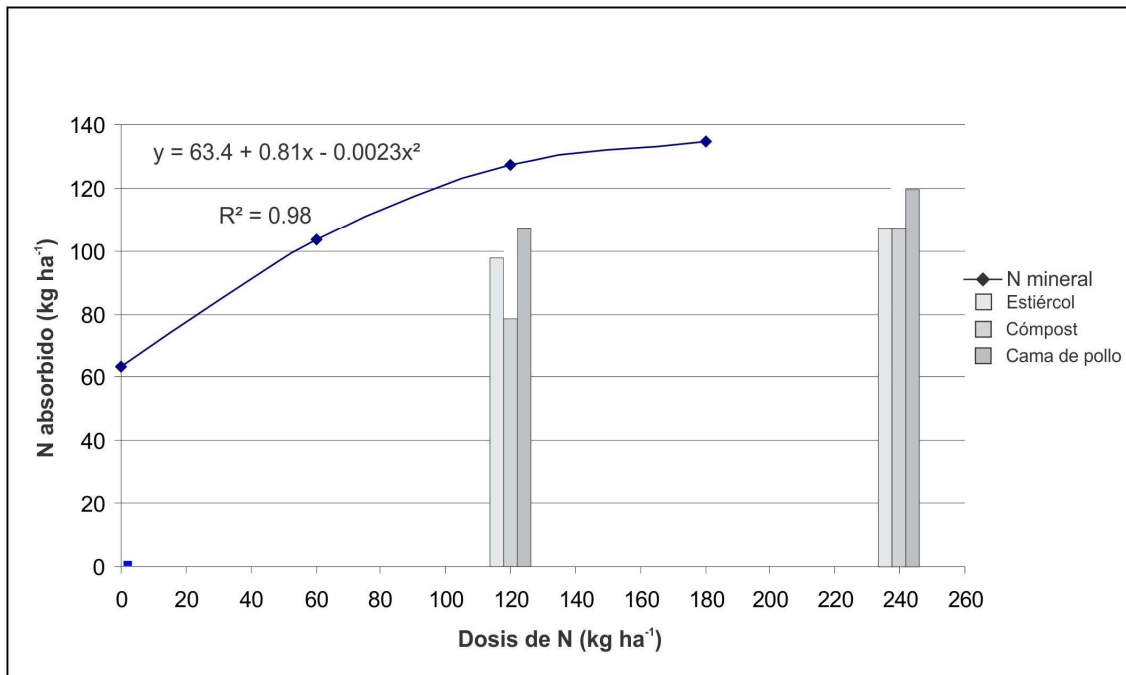
La Figura 5 presenta la función de respuesta a la fertilización mineral en relación a la extracción de N que realizó el cultivo, y los valores observados para las distintas fuentes orgánicas de N.

El Cuadro 11 muestra los valores de equivalencia en N mineral para las dos dosis y tres fuentes de abonos químicos basado en la curva de respuesta al N mineral. Se observa que la aplicación de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N equivalió al efecto de 48; 21 y 65 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral para estiércol, cómpost y cama de pollo, en tanto que cuando se aplican 240 kg ha<sup>-1</sup> de N las equivalencias fueron de 70; 71 y 95 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral para las tres fuentes.

**Figura 4.** Curva de respuesta al agregado de N mineral y los valores observados de rendimiento de raíz de zanahoria con respecto a las fuentes de N orgánicas.



**Figura 5.** Curva de respuesta al agregado de N mineral y los valores observados de acumulación de N en planta entera de zanahoria en cosecha, con respecto a las fuentes de N orgánicas.



**Cuadro 11.** Valores de equivalencia en N de la fuente mineral (urea) para las dos dosis y tres fuentes orgánicas, basado en la curva de respuesta de acumulación de N a la aplicación de urea

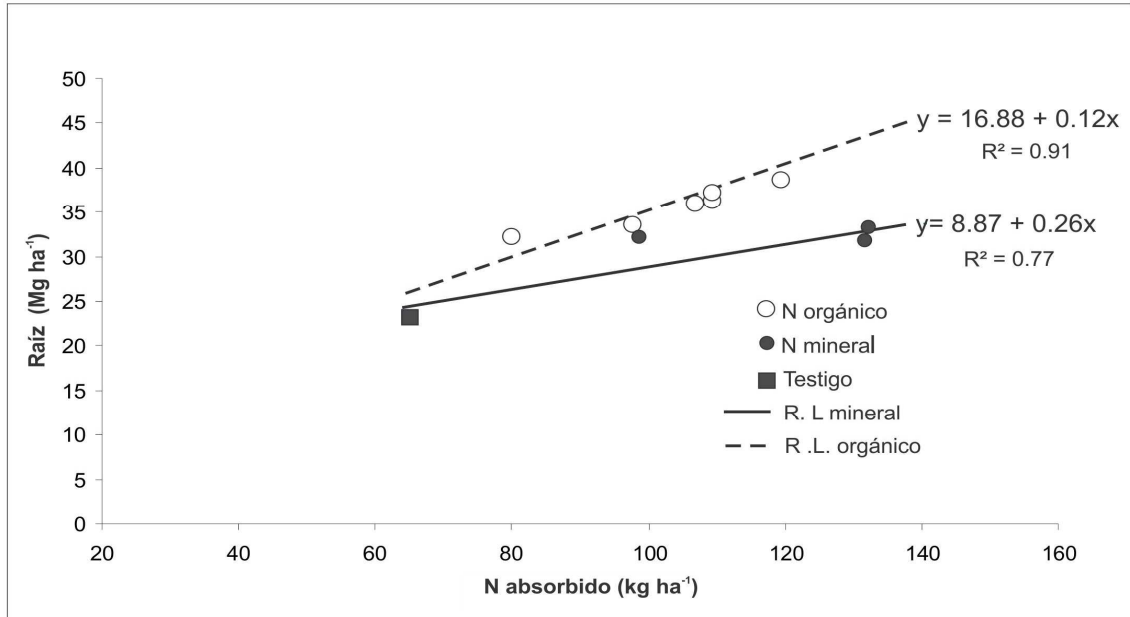
N aplicado como abono orgánico (kg ha <sup>-1</sup> )	Valores equivalentes de N mineral para cada una de las fuentes orgánicas		
	Estiércol	Compost	Cama de pollo
120	49	21	65
240	70	71	95

La mayor respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada cuando se mide N acumulado en relación al rendimiento de raíces, confirma que cuando el nivel de N en el suelo es elevado (y por tanto resulta en aumentos poco elevados en el rendimiento), la absorción de nutrientes es una medida más adecuada de la respuesta (Barrow y Bolland, 1990). En este caso, se pueden establecer con mayor claridad las equivalencias entre las distintas fuentes utilizando este tipo de comparación.

### 3. Relación entre rendimiento y N acumulado

La Figura 6 muestra la relación entre el rendimiento de raíces y la cantidad de N acumulado. Las dos funciones lineales que se ajustaron para los valores observados con el fertilizante mineral y los observados con las fuentes orgánicas muestran coeficientes significativamente diferentes, lo cual estaría indicando la existencia de dos funciones de respuesta diferentes del rendimiento en función del N absorbido, dependiendo del tipo de fuente de N. Los resultados muestran que con dosis de aplicación mayor a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, para una misma cantidad de N absorbido, las fuentes orgánicas están en promedio asociadas con rendimientos mayores que la fuente mineral. Así por ejemplo con 120 kg ha<sup>-1</sup> de N absorbidos, el rendimiento estimado con N mineral fue de 31,3 Mg ha<sup>-1</sup>, en tanto que fue de 40 Mg ha<sup>-1</sup> para las fuentes orgánicas. Probablemente las fuentes orgánicas tengan otros efectos además del aporte de N que incidan positivamente en el crecimiento y rendimiento final del cultivo. Pero en base a la información obtenida, no es posible explicar las causas de estas diferencias.

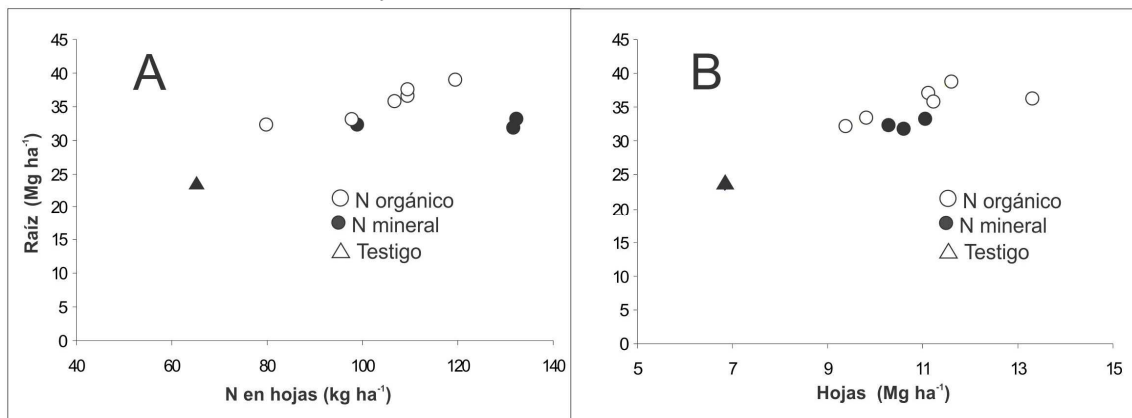
**Figura 6.** Relación entre la cantidad de N acumulado por el cultivo y el rendimiento de zanahoria



Se pensó que el comportamiento diferencial observado podría estar asociado a la elevada absorción de N a partir de la fuente mineral, donde las dosis de 120 y 180 kg ha<sup>-1</sup> provocaron un mayor desarrollo de la masa foliar en detrimento de la producción de raíces. Pero como se puede observar en la Figura 7 B la relación entre el rendimiento de raíces y el rendimiento de hojas indica sin embargo que este no es el caso, dado que hay una correlación entre ambas variables, y a que se puede establecer una única función lineal que incluye a la fuente mineral y a las orgánicas. Bandel y Macclurg (1972) menciona que los cultivos hortícolas son los que responden de forma más eficiente a los estiércoles de ave, en tanto que los cultivos de ciclo más corto (como maíz dulce) responden mejor a los fertilizantes minerales que liberan las formas asimilables de nutrientes de forma mucho más rápida. La respuesta de los cultivos hortícolas estaría asociada a una mejor sincronización de la liberación del N asimilable con la época de demanda de N por parte del cultivo, en tanto que la nitrificación resultante de la aplicación de fuentes minerales previa a la siembra puede perder eficiencia debido a

pérdidas por lixiviación o desnitrificación. Tampoco este parece ser el caso, ya que la mayor absorción de N en el cultivo ocurrió con el fertilizante mineral (Figura 7 A).

**Figura 7.** A: Relación ente la cantidad de N cosechados en las hojas y el rendimiento de raíces; B: Relación ente la masa foliar y el rendimiento de zanahoria.



## C. CULTIVO DE MAÍZ DULCE

### 1. Rendimiento de mazorcas, acumulación de N en cosecha y contenidos foliares

En el Cuadro 12 se presenta el efecto de la fertilización residual (R), y de la re fertilización (RF), para las distintas dosis y fuentes de N, en el rendimiento de mazorcas, acumulación total de N en cosecha y contenidos foliares de N, P y K. Para todas las variables estudiadas, el ANAVA detecta: a) Un efecto muy significativo de la fertilización residual, (salvo la inexistencia de efectos al 5 % de probabilidad para la acumulación de N y el contenido foliar en K). b) Un efecto muy importante en términos cuantitativos y muy significativo en términos de probabilidad, cuando se realizó una nueva fertilización al inicio del cultivo de maíz dulce, sobre la ya realizada a comienzos del cultivo de zanahoria. c) No hay interacción entre ambos efectos (R y RF)

**Cuadro 12.** Efecto de la fertilización realizada en el cultivo de zanahoria (R), y de la fertilización previa a maíz dulce (RF), en el rendimiento de mazorcas, N acumulado al final del ciclo y contenidos foliares de nutrientes a mitad del ciclo

Caso	Tratamiento		Rendimiento	N acumulado (planta entera)	Contenidos foliares (%)		
	N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente	Mg ha <sup>-1</sup>	N (kg ha <sup>-1</sup> )	N	P	K
RF	0	---	5,3	86,7	3,38	0,40	3,01
RF	60	Urea	10,6	136,5	4,08	0,41	3,00
RF	120	Urea	11,3	167,4	4,29	0,43	3,01
RF	180	Urea	12,6	185,8	4,48	0,49	2,89
RF	120	Estiércol	11,4	151,8	4,08	0,47	2,94
RF	240	Estiércol	11,9	197,7	4,26	0,51	3,04
RF	120	Compost	9,6	124,7	3,75	0,45	3,07
RF	240	Compost	10,3	141,0	4,01	0,52	3,13
RF	120	Cama de pollo	10,5	149,8	3,95	0,49	3,08
RF	240	Cama de pollo	10,9	161,7	3,82	0,5	3,05
	<b>Promedio</b>		<b>10,4</b>	<b>150,3</b>	<b>4,01</b>	<b>0,47</b>	<b>3,02</b>
R	0	---	5,3	90,2	3,38	0,37	2,93
R	80	Urea	8,4	124,7	4,08	0,38	3,05
R	12	Urea	8,8	134,5	4,29	0,43	2,90
R	180	Urea	10,7	163,3	4,48	0,45	2,99
R	120	Estiércol	9,7	130,0	4,08	0,39	2,92
R	240	Estiércol	10,6	148,4	4,26	0,45	3,02
R	120	Compost	9,1	141,0	3,75	0,42	2,96
R	240	Compost	8,8	114,6	4,01	0,43	3,04
R	120	Cama de pollo	8,3	109,8	3,95	0,40	2,92
R	240	Cama de pollo	7,8	106,6	3,82	0,43	3,01
	<b>Promedio</b>		<b>8,7</b>	<b>126,3</b>	<b>4,01</b>	<b>0,41</b>	<b>2,97</b>
----- P > F -----							
<b>Fuentes de variación</b>							
Bloques			0,0783	0,0001	0,0015	0,0200	0,0025
R			0,0001	0,1394	0,0001	0,0056	0,1420
RF			0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0368
R*RF			0,7255	0,1683	0,6741	0,7850	0,3624
CV %			14,1	15,4	7,2	9,2	2,9

En virtud de lo señalado el último punto (ausencia de interacción entre los efectos R y RF), se elaboró el Cuadro 13 en el que se muestra la información promediada para los dos momentos de aplicación, (R y RF). En el mismo, a través de la comparación de medias (DMS) se pueden apreciar los casos en que el ANAVA detectó diferencias entre los tratamientos. La mayor diferencia observada en rendimiento (única significativa al % 5) es entre el testigo y los tratamientos fertilizados. De todas formas es posible apreciar rendimientos crecientes a medida que aumentó la dosis de N mineral y también rendimientos promedialmente superiores e iguales a los observados en las dosis

más altas de N mineral, en los tratamientos que recibieron estiércol de ave. Estos resultados no sorprenden si se tiene en cuenta que el mayor contenido de N-NH<sub>4</sub> del estiércol de ave frente a las otras fuentes y la mayor disponibilidad de N de esta fuente en el corto plazo. Beauchamp (1987) encontró efectos residuales del estiércol de ave solo ligeramente inferiores a los de la urea en el segundo año de cultivo de maíz, e iguales entre ambas fuentes a partir del tercer ciclo para un conjunto de 6 experimentos conducidos durante tres años en Brunosoles y Gleysoles en el norte de Guelph, Canadá.

**Cuadro 13.** Rendimiento de mazorcas, N acumulado al final del ciclo y contenidos foliares de nutrientes a mitad del ciclo, promedio para los casos F y RF en cada uno de los tratamientos

Tratamiento		Cosecha	N acumulado (planta entera)	Contenidos foliares (%)		
N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente	Mg ha <sup>-1</sup>	N (kg ha <sup>-1</sup> )	N	P	K
0	---	5,3 b	88,4 b	3,18 d	0,39 c	2,97 ab
60	Urea	9,5 a	130,6 ab	3,64 bc	0,39 cb	3,02 ab
120	Urea	10,1 a	151,0 a	4,05 abc	0,43 ab	2,95 b
180	Urea	11,6 a	174,5 a	4,24 a	0,47 a	2,94 b
120	Estiércol	10,5 a	140,9 ab	3,88 abc	0,43 abc	2,93 b
240	Estiércol	11,3 a	173,0 a	4,08 ab	0,48 a	3,03 ab
120	Compost	9,3 a	132,8 ab	3,68 bc	0,43 abc	3,01 ab
240	Compost	9,5 a	127,8 ab	3,83 abc	0,48 a	3,08 a
120	Cama de pollo	9,4 a	129,8 ab	3,81 abc	0,44 abc	3,00 ab
240	Cama de pollo	9,3 a	134,1 ab	3,62 cd	0,46 a	3,03 ab
<b>Promedio</b>		<b>9,6</b>	<b>138,3</b>	<b>3,80</b>	<b>0,44</b>	<b>3,00</b>
DMS .05 entre 2 medias		2,7	54	0,44	0,06	0,12

Los resultados observados para la acumulación de N son bastante similares a los que se observan en el rendimiento, destacándose como diferente, el contenido significativamente mayor de N en los tratamientos que recibieron 180 kg /ha de N como urea o 240 kg / ha como estiércol de ave. También la concentración de N foliar fue significativamente mayor en estos tratamientos que en el resto. No hay prácticamente diferencias en la concentración de K foliar, en tanto que la concentración de P tiende a ser más elevada en la mayoría de los tratamientos fertilizados con fuentes orgánicas. El aumento en la concentración de P en los tejidos vegetales asociado con la aplicación de estiércol de ave fue reportado por Rabuffetti (2009) al analizar el efecto de esta fuente

en el rendimiento y contenido en nutrientes del cultivo de cebolla en suelos similares a los de estudio en el INIA – Las Brujas.

En el Cuadro 14 se presenta la comparación entre los valores promedio de todos los tratamientos con fertilización residual, junto al promedio de todos los tratamientos con fertilización residual más fertilización previa al cultivo. Esta comparación muestra que la fertilización previa al cultivo aumentó en forma significativa el rendimiento promedio de mazorcas donde pasó de 8,7 a 10,4 t ha<sup>-1</sup>, la acumulación de N de 125,3 a 150,3 kg ha<sup>-1</sup> y las concentraciones foliares de N, P y K de 3,59; 4,42 y 2,97 a 4,01; 4,47 y 3,02 respectivamente.

**Cuadro 14.** Efecto promedio de los tratamientos con fertilización residual y efecto promedio de los tratamientos re fertilizados, sobre el rendimiento, N acumulado y contenidos foliares de maíz dulce

Promedio	Rendimiento	N acumulado (planta entera)	Contenidos foliares (%)		
	Mg ha <sup>-1</sup>	N (kg ha <sup>-1</sup> )	N	P	K
<b>Residuales</b>	8,7	125,5	3,59	4,42	2,97
<b>Re fertilizados</b>	10,4	150,3	4,01	4,47	3,02
<b>DMS. 05 %</b>	0,730	11,47	0,146	0,02	0,048

## 2. Equivalencias entre el N de las fuentes orgánicas y el N de la fuente mineral

Como forma de establecer posibles equivalencias entre las fuente orgánicas y la fuente mineral se ajustaron (al igual que para los datos del cultivo de zanahoria) ecuaciones cuadráticas de respuesta a la fertilización mineral de acuerdo al modelo ya descrito. Las Figuras 8 y 9 muestran las curvas de respuesta obtenidas y los valores observados en el rendimiento de los tratamientos de abono orgánico. La Figura 8. A corresponde a la fertilización al inicio de zanahoria más fertilización al inicio de maíz. La Figura 8. B corresponde a la fertilización al inicio de zanahoria y la figura 9 al



promedio de A y B. En base a estas curvas de respuesta se estimaron los valores de equivalencia que aparecen en el Cuadro 15.

**Cuadro 15.** Equivalencia entre el N como urea y las distintas fuentes de N orgánico en el cultivo de maíz dulce

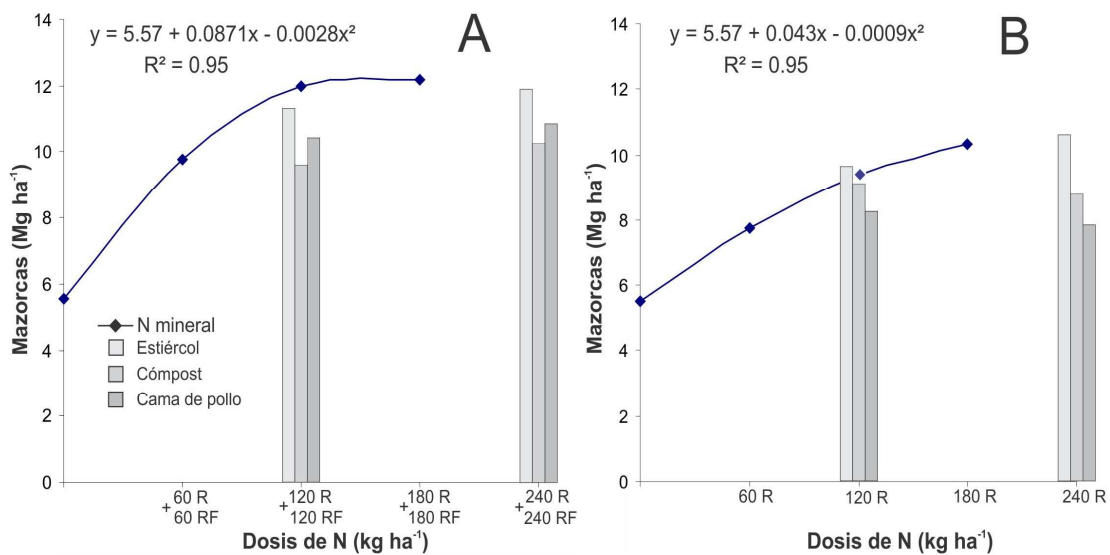
Situación	N aplicado como abono orgánico (kg ha <sup>-1</sup> )	Valores equivalentes de N mineral para cada una de las fuentes		
		Estiércol	Cómpost	Cama de pollo
		----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Re fertilización sobre residual (RF)	120 R+120 RF	96	57	74
	240 R + 240 RF	115	70	84
Residual (R)	120 R	134	108	76
	240 R	220	96	61
Promedio R y RF	[120 R+(120 R +120 RF)] / 2	92	66	66
	[240 R+(240 R +240 RF)] / 2	116	69	65

R: fertilización al inicio del cultivo de zanahoria; RF: re fertilización al inicio del cultivo de maíz dulce

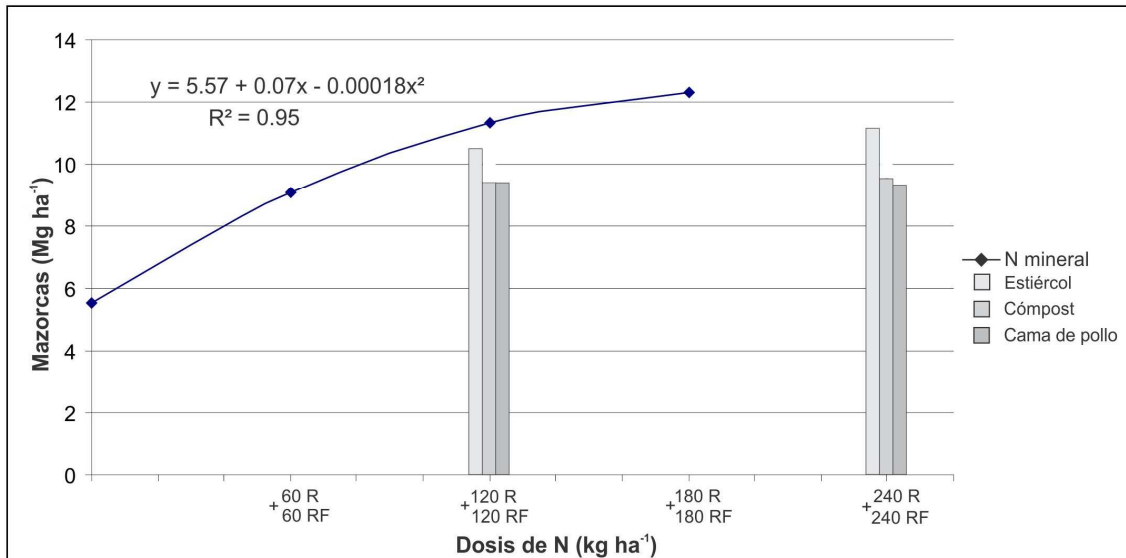
Se puede apreciar que los valores de equivalencia del estiércol de ave son sensiblemente superiores a los estimados para la cama de pollo y el cómpost. En promedio la equivalencia en N mineral del estiércol de gallina fue de 115 y 168 kg ha<sup>-1</sup> para las dosis de aplicación de 120 y 240 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que para esa misma dosis los valores de equivalencia obtenidos para el cómpost y cama de pollo fueron de 83 y 93 kg ha<sup>-1</sup> de N para el primer caso y 75 y 73 kg ha<sup>-1</sup> de N para el segundo caso. En la situación R, en la cual el cultivo de maíz se desarrolla a partir del N residual, quizás uno de los aspectos más interesantes, es la respuesta que genera el estiércol de gallina, donde los valores de equivalencias son muy parecidos a los de la urea. En términos de tendencias, se observa un ligero contraste entre la respuesta que genera la cama de pollo en el cultivo de zanahoria y en el cultivo de maíz dulce, donde en el cultivo de zanahoria los tratamientos que recibieron cama de pollo superan al estiércol. En el

trabajo realizado por del Pino (2008), en donde analizan la tasa de liberación del N para el estiércol y cama de pollo, encontraron que ambos materiales se comportan de forma muy similar bajo condiciones de laboratorio en un período de 80 días. En este trabajo se plantea que a pesar que la relación C/N de la cama de pollo es mayor que la del estiércol, esto no afecta la cantidad de N disponible debido a que la cáscara de arroz es un material resistente al ataque de los microorganismos. Se podría especular que, si bien en el plazo de 80 días la cáscara de arroz no sufre una importante degradación, en plazos más prolongados podría generar algo de inmovilización del N mineral.

**Figura 8.** Curva de respuesta del maíz dulce al agregado de N mineral y los valores observados de rendimiento con respecto al agregado de fuentes de N orgánicas. A: tratamientos re fertilizados (RF) sobre residual (R). B: tratamientos con fertilización residual (R)



**Figura 9.** Curva de respuesta del maíz dulce al agregado de N mineral y los valores observados de rendimiento con respecto al agregado de fuentes de N orgánicas, cuando se promedia fertilización residual (R) y la re fertilización (RF)



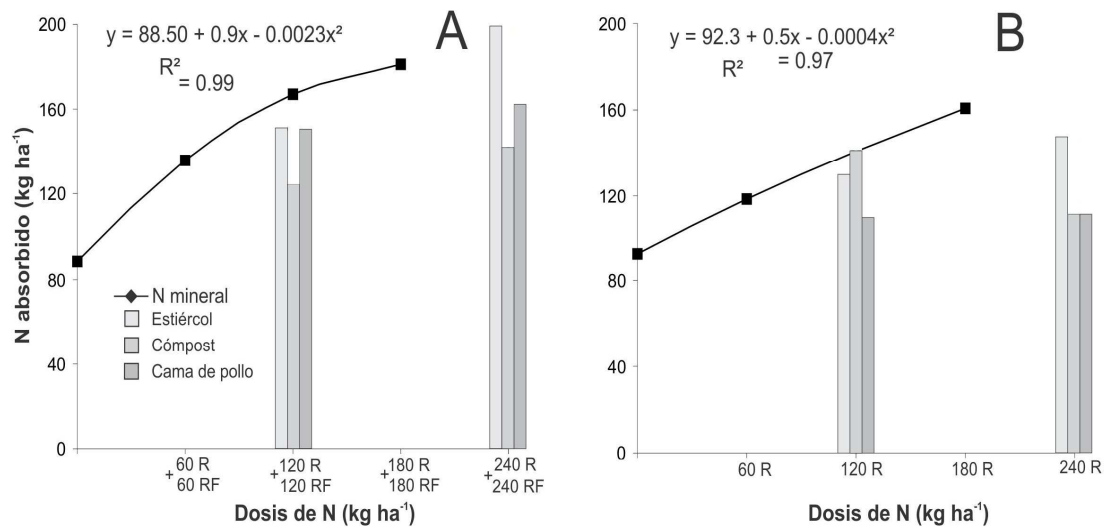
De la misma forma que para la variable rendimiento, para establecer posibles equivalencias entre las fuente orgánicas y la fuente mineral en términos de N absorbido, se ajustaron ecuaciones cuadráticas de respuesta a la fertilización mineral. Las Figuras 10 y 11 muestran las curvas de respuesta obtenidas en relación a la absorción de N y los valores observados de los tratamientos con abonos orgánicos, para los casos RF: fertilización al inicio de zanahoria más fertilización al inicio de maíz, R: fertilización al inicio de zanahoria y promedio de RF y R. En base a estas curvas de respuesta se estimaron los valores de equivalencia que aparecen en el Cuadro 16.

En general se vuelven a repetir las tendencias observadas para la variable rendimiento, en la cual la curva de respuesta al agregado de N como urea está por encima de la mayoría de los tratamientos. Incluso, en términos de tendencias, se repite la relación relativa entre las distintas fuentes de N orgánico, aunque con menores diferencias. Esto coincide con lo que se presenta en el último punto (ver Figuras 12 y 13) en donde se puede observar que en el caso del maíz hay una mayor independencia

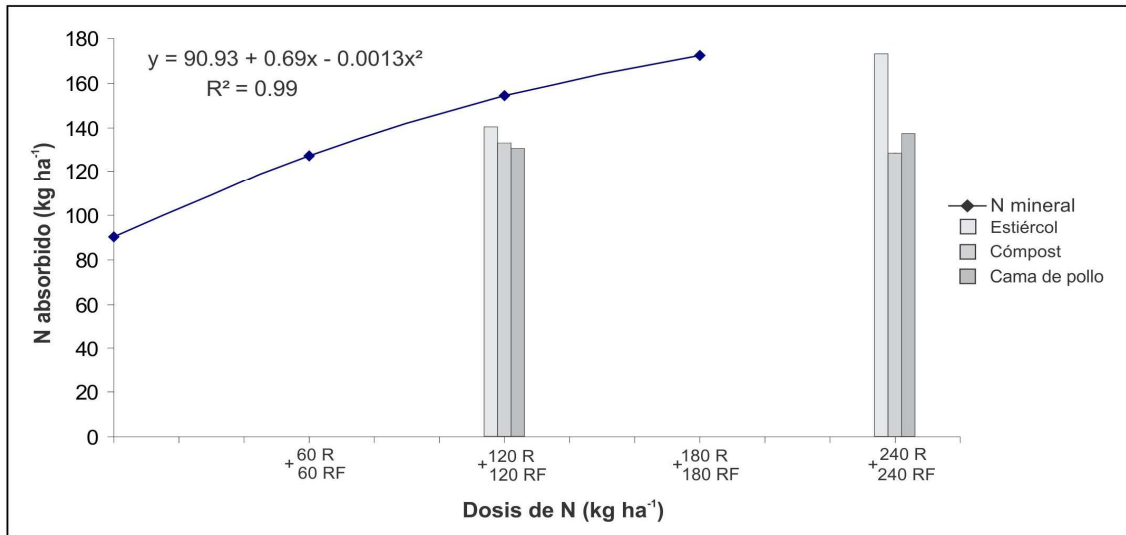
de la respuesta en términos de rendimiento en relación al tipo de fuente. La respuesta es determinada fundamentalmente por la cantidad de N absorbido.

En este cultivo, en el cual ocurrió una respuesta en rendimiento al agregado de N, parecen ser válidas las dos formas de análisis planteadas. Es decir, a través de la equivalencia entre las distintas fuentes de N, relacionado el N aplicado con el rendimiento y también relacionando el N aplicado con el N absorbido.

**Figura 10.** Curva de respuesta del N absorbido por maíz dulce al agregado de N mineral y los valores observados de absorción de las fuentes de N orgánicas. A: tratamientos re fertilizados (RF) sobre residual (R). B: tratamientos con fertilización residual (R).



**Figura 11.** Curva de respuesta del N absorbido por maíz dulce al agregado de N mineral y los valores observados de absorción de las fuentes de N orgánicas, cuando se promedia fertilización residual (R) y la re fertilización (RF)



**Cuadro 16.** Valores de equivalencia a N mineral de fuentes orgánicas determinado a partir de las curvas de absorción.

Situación	N aplicado como abono orgánico (kg ha⁻¹)	Valores equivalentes de N mineral para cada una de las fuentes		
		Estiércol	Cómpost	Cama de pollo
----- kg ha⁻¹ -----				
Re fertilización sobre residual (RF)	120 R+120 RF	86	44	85
	240 R + 240 RF	(-----) <sup>1</sup>	70	109
Residual (R)	120 R	91	121	40
	240 R	143	52	44
Promedio RF y R	[120 R+(120 R +120 RF)] / 2	87	72	66
	[240 R+(240 R +240 RF)] / 2	(-----) <sup>1</sup>	62	80

R: fertilización al inicio del cultivo de zanahoria; F: fertilización al inicio del cultivo de maíz dulce

<sup>1</sup> Valor por encima de la curva de respuesta al agregado de urea.

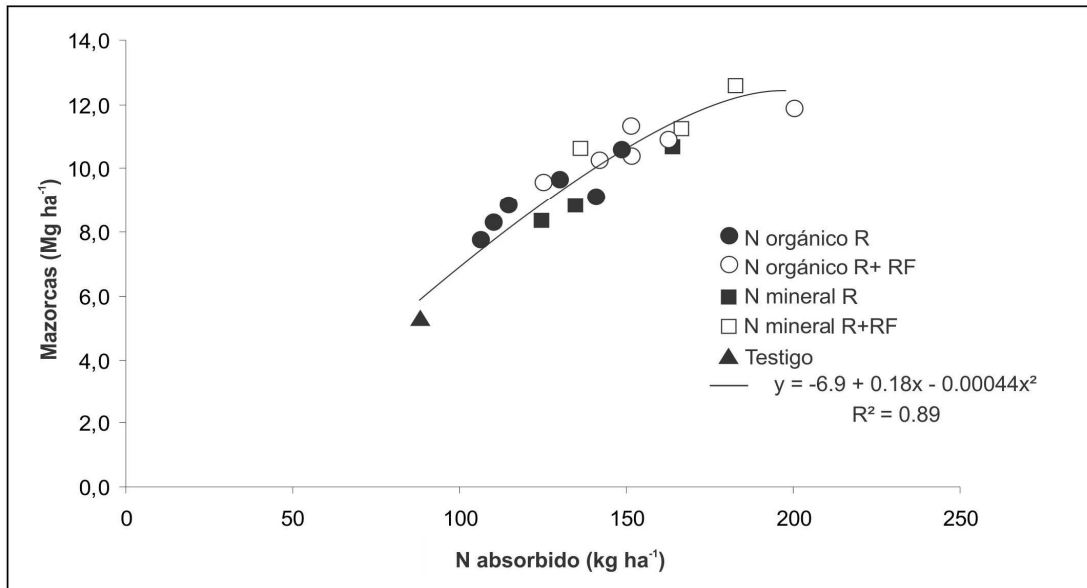
Es interesante observar que en la situación R (efecto residual de las distintas fuentes), el aumento de la dosis de 120 a 240 no produce un incremento sustancial en la cantidad de N que es absorbido por el cultivo (con la excepción del estiércol). Este comportamiento no sigue la tendencia creciente de la curva de respuesta al agregado de urea. Por otro lado, no hay información sobre el comportamiento de esta curva después del valor de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. La razón de que el cultivo no haya extraído más N en la dosis de 240, no parece ser que se haya alcanzado un umbral de máxima absorción, dado que se observa una mayor acumulación de N en la situación RF, donde se realizó una re fertilización.

En promedio (RF y R), el estiércol es el tratamiento que genera una mayor acumulación de N y es el que tiene un comportamiento más parecido a la urea.

### 3. Relación entre rendimiento y N acumulado

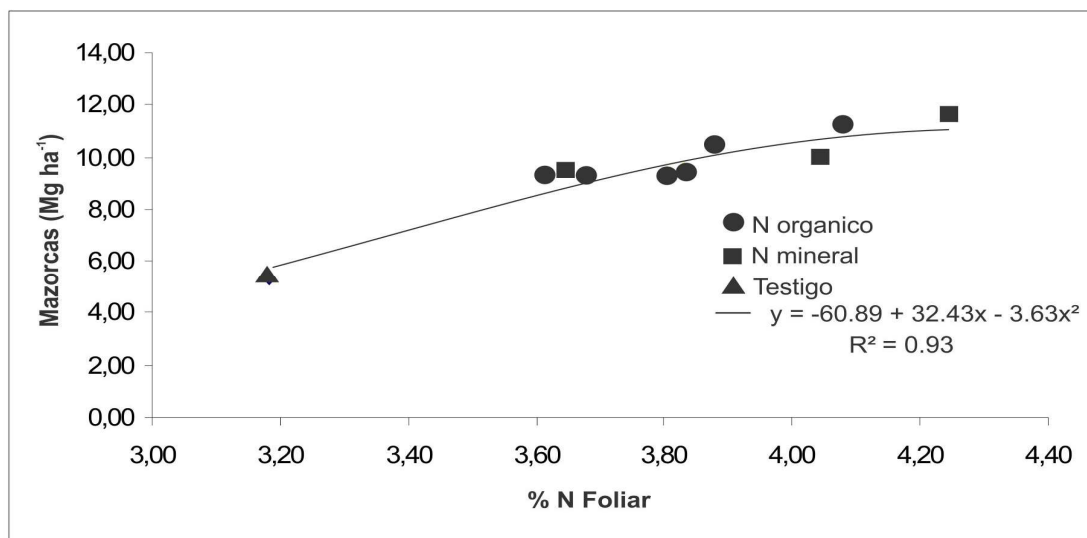
En la figura 12 se muestra la relación entre el rendimiento en mazorcas y la cantidad de N acumulado por el cultivo en el momento de cosecha. Las funciones lineales que se ajustaron para esta relación, no mostraron coeficientes significativamente diferentes cuando se consideraron por separado la fuente de N mineral y las orgánicas. Por esta razón se ajustó una sola curva de regresión que abarca a todas las fuentes de N.

**Figura 12.** Relación entre el N absorbido por el cultivo y el rendimiento de maíz dulce.



Se puede observar que independientemente del tipo de fuente, y si esta es residual o fresca + residual, hay una estrecha relación entre el N absorbido y el rendimiento. En la Figura 13, una vez más se ratifica que en el caso del maíz dulce, hay una menor incidencia del tipo de fuente de N en el rendimiento.

**Figura 13.** Relación entre el N foliar muestreado a mitad del ciclo y el rendimiento de maíz dulce.



Si bien se puede observar que el rango de valores de % de N foliar es relativamente reducido en este cultivo, el muestreo foliar puede ser un buen predictor del rendimiento.



#### IV. CONCLUSIONES

En las condiciones de manejo bajo las cuales se desarrolló el cultivo de zanahoria en este trabajo, solo se detectaron diferencias significativas de rendimiento entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados. En términos de tendencias, se observaron rendimientos de raíces superiores en aquellos tratamientos que recibieron  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de N bajo cualquiera de las 3 formas de estiércol de ave utilizadas.

Los valores de equivalencia en N mineral para las 3 fuentes orgánicas, estimados en base a la acumulación de N por el cultivo para el promedio de las 2 dosis de fertilización aplicadas fueron de 60; 46 y  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para el estiércol fresco, el cómpost y la cama de pollo respectivamente.

Para una misma cantidad de N absorbido, a partir de dosis de fertilización mayores a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, las fuentes orgánicas estuvieron asociadas a rendimientos mayores que los obtenidos con fertilización mineral. En base a la información obtenida en este trabajo no fue posible definir las causas de estas diferencias.

Los resultados obtenidos con maíz dulce revelan la existencia de un importante efecto residual de la fertilización nitrogenada realizada en el cultivo de zanahoria, tanto del fertilizante mineral como de las fuentes orgánicas. El efecto residual observado resultó en un aumento promedio del 37 % en el rendimiento de mazorcas sobre el tratamiento testigo. Si bien no se detectaron diferencias significativas al 5% de nivel de probabilidad entre los tratamientos fertilizados, se aprecian rendimientos superiores para las dosis más altas de N mineral o estiércol fresco aplicados en el cultivo de zanahoria.

A su vez la fertilización inmediatamente previa al cultivo de maíz dulce aumentó significativamente el rendimiento promedio de mazorcas en un 17 % sobre los

rendimientos obtenidos con la fertilización residual, observándose entre los tratamientos fertilizados la misma tendencia que aquella observada para los tratamientos de fertilización residual.

Los valores de equivalencia en N mineral para las 3 fuentes orgánicas, estimados en base al rendimiento de mazorcas, fueron para el promedio de las 2 dosis de abonos orgánicos aplicadas, de 104; 68 y 66 kg ha<sup>-1</sup> de N para el estiércol fresco de ave, el cómpost y la cama de pollo. A su vez los valores de equivalencia estimados en base a la acumulación de N fueron de 134; 67 y 73 para las 3 fuentes.

La relación entre el rendimiento de maíz dulce y el N total acumulado por el cultivo se ajustó a una función de respuesta común para la fuente mineral y las fuentes orgánicas lo cual indica que las distintas fuentes sólo se diferencian en la cantidad de N asimilable que ofrecen al cultivo, sin que existan otros efectos que generen diferencias en términos del rendimiento.

## V. BIBLIOGRAFÍA

Aldabe L, Aldabe R. 1980. Producción comercial de hortalizas. Montevideo, Editorial Epsilon. 144 p.

Aldrich SR, Leng ER. 1974. Producción Moderna del Maíz. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 308 p.

Bandel VA, Mcclurg CA. 1972. Poultry manure – A valuable fertilizer. Fact sheet 99. Coop. Ext. Service . University of Maryland.

Barbazán M, del Pino A, Moltini C, Hernández J, Rodríguez J. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. Agrociencia Uruguay. 15(1): 82-92

Barbazán M, del Pino A, Moltini C, Hernández J, Rodríguez J, Beretta A. 2010. Aplicación de enmiendas orgánicas y efectos en el suelo. En. Seminario de Actualización Técnica sobre Manejo de Suelos para producción Hortícola Sustentable. R. Docampo ed. INIA. Serie Actividades de Difusión No 624. pp 21-31

Barrow NJ, Bolland MDA. 1990 A comparison of methods for measuring the effect of level of application on the relative effectiveness of two fertilizers. Fertilizer Research 26: 1-10.

Barrow NJ. 1984. Comparing the effectiveness of fertilizers. Fertilizer Research: 8. 85-90.

- Baver LD, Gardner WH, Gardner WR. 1991. Física de suelos. México, D. F. Editorial Limusa. 529 p.
- Beauchamp EG, Paul JW. 1989. A simple model to predict manure N availability to crops in the field. In: Hansen JA, Henriksen K. (Eds). Nitrogen in Organic Wastes Applied to Soils. Boston. Harcourt Brace Jovanovich Publication. pp. 140-149
- Beauchamp EG. 1987. Corn response to residual N from urea and manures applied in previous years. Canadian Journal of Soil Science. 67: 931-942.
- Bitzer CC, Sims JT. 1988. Estimation of the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. Journal of Environmental Quality. 17: 47-54
- Bouldin DR, Klausner, SD, Reid WS. 1984. Use of nitrogen from manure. In: Hauck RD (Ed.). Nitrogen in crop production proceedings. Madison, Wisconsin USA. American Society of Agronomy. pp. 221-248
- Calderón FJ, Mc Carty GW, Van Kessel JAS, Reeves JB. 2004. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. Soil Science Society of America Journal. 68(5):1592-1599.
- Campelo E, Cabrera S, Arboleya J, Maeso D, Paullier J, González P. 2004. Directiva y Normas de Maíz Dulce. En: Programa de Producción Integrada. 14 p
- Campelo E, Benzano R, Pla M. 1982. Efecto de diferentes manejos previos del suelo en la producción de tomates para industria y en la respuesta a la fertilización nitrogenada. 5ª Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía. UDELAR. pp. 80-81

Castellanos JZ, Pratt PF. 1981. Mineralization of manure nitrogen – correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal*. 45: 354 – 357

Ciampitti IA, García FO. 1998. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Buenos Aires, IMPI, Cono Sur. [en línea] 8 de diciembre 2010. Disponible en:[http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/3971cbcc1d02f4fb600aa92/\\$FILE/Ciampitti-Garcia%20- Requerimientos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/3971cbcc1d02f4fb600aa92/$FILE/Ciampitti-Garcia%20- Requerimientos.pdf)

del Pino A, Repetto C, Mori C, Perdomo C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26:43-52.

Docampo R, García C, Casanova S, Rabuffetti A. 2005. Sistemas de Cultivo para Producción Hortícola Sostenible en la Región Sur del Uruguay. Efecto del Estiércol de Gallina en la Producción de Cebolla. En: Congreso Nacional de Hortifruticultura. Montevideo, Uruguay. Mayo 23-25

Eghball B, Power JF. 1999. Composted and non composted manure application to conventional and no-tillage corn yield and nitrogen uptake. *Agronomy Journal*. 91:819-825.

Fernández P D, Oliveira GD, Haag HP. 1972. Nutrição Mineral de Hortaliças. Estracção de Macronutrientes pela Cenoura Cultivada em Condições de Campo. *O Solo*. 64: 7-13

Follett RH, Murphy LS, Donahue RL. 1981. *Fertilizers and soil amendments*. Prentice – Hall. 555 p.

- Gale PM, Gilmour JT. 1986. Carbon and nitrogen mineralization Kinetics for poultry litter. *Journal of Environmental Quality*. 15: 423-426.
- Gaskin J, Harris G, Franzluebbbers A, Andrae J. 2010. Poultry Litter Application on Pastures and Hayfields. Georgia, University of Georgia. [en línea] 2 de marzo 2011. [http://www.caes.uga.edu/publications/pubDetail.cfm?pk\\_id=7707](http://www.caes.uga.edu/publications/pubDetail.cfm?pk_id=7707)
- Griffin TS, Honeycutt CW. 2000. Using growing degree to predict nitrogen availability from livestock manures. *Soil Science Society of America Journal*. 64(5): 1876-1882.
- Haag HP, Homa P. 1969. Curva de absorção e extração da cultura da cenoura de 50 toneladas por hectárea. *Anais da ESALQ*. 26: 131-139
- Havlin JL, Beatun JD, Tisdale SL, Nebun WL. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers*. Prentice Hall. 497 p.
- Loecke TD, Liebman M, Cambardella C, Richard T. 2004. Corn response to composting and time of application of solid swine manure. *Agronomy Journal*. 96: 214-223.
- Lorenz OA, Maynard DN. 1988. *Vegetable Growers*. New York. John Wiley & Sons. 456 p.
- Magdoff FR, Amadon JF. 1980. Yield trend and soil chemical changes resulting from N and manure applications to continuous corn. *Agronomy Journal*. 72: 161-164.
- Maynard AA. 1994. Sustained vegetable production for 3 years using composted animal manures. *Compost Science and Utilization*. 2(1): 88-95

- Müller MM, Sudman V, Soininvaara O, Merilainen A. 1988. Effect of chemical composition on the release of nitrogen from agricultural plant materials decomposing in soil under field conditions. *Biol. Fertil. Soils.* 6(1): 78-83
- Nommik H, Vahtras K. 1982. Retention and Fixation of Ammonium and Ammonia in Soils. In: Stevenson FJ.(Ed). *Nitrogen in Agricultural Soils.* Madison, Wisconsin USA. American Society of Agronomy. p: 123-169.
- Ochse JJ, Soule MJ, Dijkman MJ, Wehlburg C. 1991. Propiedades Químicas y Físicas del Suelo. En: *Cultivos y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales.* México, D. F. LIMUSA. 163-237
- Olivera G. 2008. Evolución de enmiendas de alta relación C/N en el suelo e impacto sobre arándanos tipo Highbush en el sur del país. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 71 p.
- Perkins HF, Parker MB, Walker ML. 1964. Chicken manure: its production , composition and use as a fertilizer. *Georgia Agr. Exp. Sta. Bull* 123. University of Georgia.
- Pratt PF, Broadbent FE, Martin JP. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizers. *California Agriculture.* 27(6) 10-13.
- Rabuffetti A, García C, Docampo R, Casanova S, Moura M, Smolark C, Cabral H. 2010. Evaluación agronómica y ambiental del estiércol de ave como fuente de N en sistemas de producción intensiva. En *Seminario de Actualización Técnica sobre*

Manejo de Suelos para producción Hortícola Sustentable. R. Docampo (Ed). INIA Serie Actividades de Difusión No 624. pp. 33-50

Rabuffetti A. 2009. Informe preliminar “Análisis de la información generada por los experimentos de largo plazo sobre sistema de cultivo para la producción hortícola en INIA - Las Brujas”. 59 p.

Rahn EM. 1949. Poultry Manure. As a Fertilizer for Vegetable Crops. University of Delaware. Bulletin No 281. p: 5 -18

Reinertsen SA, Elliott LF, Cochran VL, Campbell GS. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. Soil. Biol. Biochem. 16(5):459-464.

Rubatzky VE, Quiros CF, Simon PW. 1999. Carrots and related vegetable Umbelliferae. New York. CABI Publishing. 297 p.

Schilke-Gartley KL, Sims JT. 1993. Ammonia volatilization from poultry manure amended soils. Biology and Fertility of Soils 16:5-10.

Sims JT. 1987. Agronomy Evaluation of Poultry manure as an N source for conventional and no tillage corn. Agronomy Journal. 79: 563-570.

Sims JT. 1986. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil: Temperature and moisture effects. Journal of Environmental Quality 15:59-63

Sweeten, J.M. 1988. Composting manure and sludge. p. 38-44. In National Poultry Waste Management Symposium. Columbus, Ohio. 18-19 Apr. 1988. Ohio State University.



Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Linères M, Chèneby D, Nicolardot B. 2000.

Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non limiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*. 64:918-926

Tyson SC, Cabrera ML. 1993. Nitrogen mineralization in soils amended with composted and un composted poultry litter. *Com Academic Press, San Diego, CA. mun. Soil Sci. Plant Anal*. 24:2361–2374.

Valenzuela HR, Crosby C. 1998. Effect of compost applications on vegetable yields in the tropics. *Compost Science and Utilization*. 6(3):3

Westerman PW, Safley LM, Barker JC. 1987. Available nitrogen in broiler and turkey litter. *ASAE Paper No. 87–4053*.

Zibilske LM, Bradford JM. 2007. Oxygen effects on carbon, polyphenols, and nitrogen mineralization potential in soil. *Soil Science Society of America Journal*. 71(1):133-139.

## VI. ANEXO

### Valores observados de las variables estudiadas para cada tratamiento

**Cuadro 1.** Rendimiento de la totalidad de las raíces cosechadas, % de descarte de raíces no comerciales y rendimiento de hojas cosechadas en el cultivo de zanahoria.

Repetición	Tratamiento	Rendimiento raíces (Mg ha <sup>-1</sup> )	Descarte (%)	Rendimiento hojas (Mg ha <sup>-1</sup> )
1	1	30,45	13,4	10,37
1	2	30,19	16,9	11,14
1	3	29,60	14,2	10,06
1	4	30,40	13,2	11,75
1	5	37,29	17,0	11,70
1	6	37,51	13,6	12,80
1	7	23,78	19,6	7,11
1	8	30,63	15,1	9,48
1	9	33,74	11,2	10,54
1	10	41,55	11,0	12,66
2	1	21,36	21,7	5,05
2	2	40,19	20,4	12,18
2	3	38,50	23,4	12,73
2	4	40,62	30,0	14,24
2	5	31,81	8,1	9,17
2	6	37,52	15,6	18,26
2	7	46,19	10,5	12,68
2	8	47,56	14,6	14,26
2	9	45,96	10,8	15,54
2	10	40,70	17,6	11,34
3	1	18,50	10,2	5,10
3	2	26,64	19,7	7,46
3	3	27,66	25,5	8,91
3	4	28,57	64,1	7,16
3	5	31,20	19,6	8,47
3	6	34,34	19,1	8,85
3	7	27,10	30,8	8,41
3	8	33,96	23,4	9,69
3	9	27,86	29,0	7,60
3	10	34,24	25,0	10,69

**Cuadro 2.** N en raíces totales cosechadas, en hojas y N total extraído por el cultivo de zanahoria.

Repetición	Tratamiento	N en raíces (kg ha-1)	N en hojas (kg ha-1)	N total (kg ha-1)
1	1	71,3	33,9	105,1
1	2	45,7	28,4	74,1
1	3	87,5	39,3	126,8
1	4	47,5	49,8	97,3
1	5	98,4	37,8	136,2
1	6	87,1	43,0	130,1
1	7	34,1	24,3	58,4
1	8	50,5	37,9	88,4
1	9	62,3	29,7	92,0
1	10	95,7	43,1	138,8
2	1	29,5	14,0	43,5
2	2	104,2	35,2	139,4
2	3	113,6	39,9	153,5
2	4	134,2	48,8	183,1
2	5	52,5	21,0	73,5
2	6	61,7	46,3	108,0
2	7	79,2	34,4	113,6
2	8	94,6	39,8	134,4
2	9	97,2	39,9	137,1
2	10	88,4	31,4	119,8
3	1	32,1	14,3	46,5
3	2	61,3	21,4	82,7
3	3	89,2	25,8	115,1
3	4	89,5	26,9	116,5
3	5	55,9	27,5	83,5
3	6	60,9	28,5	89,3
3	7	42,3	24,9	67,2
3	8	72,9	31,6	104,5
3	9	69,0	22,0	91,0
3	10	60,2	39,3	99,5

**Cuadro 3.** Contenidos de N, P y K en muestras foliares tomadas a mitad del ciclo en el cultivo de zanahoria.

Repetición	Tratamiento	Contenidos foliares		
		Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
1	1	3,46	0,46	3,43
1	2	3,34	0,39	3,58
1	3	4,08	0,43	3,44
1	4	3,12	0,42	3,64
1	5	3,27	0,44	3,35
1	6	3,43	0,48	3,54
1	7	2,91	0,47	3,71
1	8	2,85	0,44	3,57
1	9	2,85	0,46	3,57
1	10	2,88	0,47	3,66
2	1	2,61	0,47	3,54
2	2	3,34	0,39	3,66
2	3	3,45	0,45	3,52
2	4	3,74	0,44	3,54
2	5	3,59	0,40	3,30
2	6	3,54	0,41	3,92
2	7	2,87	0,39	3,54
2	8	3,10	0,45	3,61
2	9	2,88	0,41	3,67
2	10	2,36	0,50	3,95
3	1	3,00	0,41	3,68
3	2	3,39	0,35	3,94
3	3	3,61	0,41	3,77
3	4	3,06	0,40	3,57
3	5	2,61	0,40	3,37
3	6	3,01	0,37	3,48
3	7	3,27	0,36	3,31
3	8	2,85	0,38	3,27
3	9	3,49	0,34	3,21
3	10	3,59	0,35	3,29

**Cuadro 4.** Rendimiento de mazorcas y de plantas en maíz dulce en los tratamientos con fertilización residual y fertilización al inicio del cultivo.

Repetición	Tratamiento	Rendimiento mazorcas (Mg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento plantas (Mg ha <sup>-1</sup> )
1	1	9,26	29,20
1	2	10,74	30,96
1	3	11,24	31,32
1	4	11,67	30,72
1	5	11,96	34,08
1	6	12,78	31,32
1	7	7,60	22,32
1	8	9,22	26,40
1	9	9,58	27,12
1	10	10,35	28,56
2	1	1,06	10,64
2	2	11,05	25,20
2	3	11,91	31,08
2	4	14,03	28,32
2	5	12,51	31,32
2	6	12,20	33,84
2	7	11,74	30,84
2	8	10,86	28,08
2	9	12,25	32,52
2	10	12,03	35,52
3	1	5,60	20,16
3	2	10,03	22,44
3	3	10,60	24,48
3	4	12,04	22,80
3	5	9,59	23,88
3	6	10,70	25,92
3	7	9,57	23,28
3	8	10,75	24,60
3	9	9,57	24,72
3	10	10,20	27,00

**Cuadro 5.** Rendimiento de mazorcas y de plantas en maíz dulce en los tratamientos con fertilización residual.

Repetición	Tratamiento	Rendimiento mazorcas (Mg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento plantas (Mg ha <sup>-1</sup> )
1	1	9,26	29,20
1	2	10,84	35,28
1	3	10,24	30,00
1	4	11,23	34,80
1	5	11,57	32,40
1	6	11,88	27,36
1	7	9,73	26,16
1	8	8,94	25,44
1	9	7,75	23,04
1	10	7,70	20,16
2	1	1,06	10,64
2	2	7,06	23,28
2	3	7,79	25,68
2	4	11,12	26,40
2	5	9,36	27,36
2	6	9,56	24,72
2	7	8,99	30,48
2	8	7,02	21,12
2	9	7,87	22,80
2	10	5,51	19,92
3	1	5,60	20,16
3	2	7,20	19,92
3	3	8,51	23,04
3	4	9,67	23,28
3	5	8,03	19,92
3	6	10,38	20,40
3	7	8,57	20,88
3	8	10,43	22,80
3	9	9,17	20,64
3	10	10,14	24

**Cuadro 6.** N en mazorcas, en plantas y N total extraído por el cultivo de maíz dulce en los tratamientos con fertilización residual y fertilización al inicio del cultivo

Repetición	Tratamiento	N en mazorcas (kg ha <sup>-1</sup> )	N en plantas (kg ha <sup>-1</sup> )	N total (kg ha <sup>-1</sup> )
1	1	50,1	113,7	163,8
1	2	57,8	119,6	177,4
1	3	59,8	123,2	183,0
1	4	62,3	134,7	197,0
1	5	63,1	97,8	160,9
1	6	73,5	168,2	241,6
1	7	36,0	45,7	81,7
1	8	46,3	96,6	142,8
1	9	45,2	89,2	134,5
1	10	53,2	114,4	167,7
2	1	5,2	24,4	29,6
2	2	51,7	68,2	119,8
2	3	62,4	130,3	192,7
2	4	62,9	129,1	192,0
2	5	64,5	96,9	161,4
2	6	69,5	123,1	192,6
2	7	58,6	110,6	169,2
2	8	56,4	77,7	134,1
2	9	63,0	111,6	174,6
2	10	55,5	103,4	158,9
3	1	22,7	44,0	66,7
3	2	46,5	65,8	112,3
3	3	57,6	68,7	126,4
3	4	63,4	104,9	168,3
3	5	50,7	82,5	133,2
3	6	53,6	105,2	158,8
3	7	46,7	76,3	123,0
3	8	52,9	93,3	146,2
3	9	45,5	94,7	140,2
3	10	44,7	113,7	158,5

**Cuadro 7.** N en mazorcas, en plantas y N total extraído por el cultivo de maíz dulce en los tratamientos con fertilización residual.

Repetición	Tratamiento	N en mazorcas (kg ha <sup>-1</sup> )	N en plantas (kg ha <sup>-1</sup> )	N total (kg ha <sup>-1</sup> )
1	1	51,7	119,2	170,9
1	2	56,7	158,8	215,5
1	3	47,9	134,4	182,3
1	4	42,0	127,5	169,5
1	5	63,1	100,1	163,2
1	6	61,6	123,5	185,0
1	7	48,9	98,7	147,6
1	8	40,5	75,8	116,3
1	9	33,8	80,3	114,1
1	10	40,4	64,5	104,9
2	1	4,5	24,1	28,6
2	2	35,4	37,2	72,6
2	3	39,7	69,4	109,1
2	4	51,8	113,6	165,4
2	5	42,9	92,7	135,5
2	6	51,8	72,3	124,1
2	7	48,1	114,4	162,4
2	8	32,1	51,3	83,4
2	9	33,9	62,4	96,3
2	10	23,9	61,3	85,3
3	1	21,3	46,9	68,2
3	2	35,1	49,7	84,7
3	3	39,8	68,9	108,7
3	4	46,5	109,9	156,5
3	5	38,7	54,5	93,2
3	6	39,4	79,9	119,3
3	7	38,0	67,0	105,0
3	8	45,7	96,4	142,1
3	9	43,9	79,5	123,4
3	10	45,2	85,5	130,8



**Cuadro 8.** Contenidos de N, P y K en muestras foliares tomadas a mitad del ciclo en el cultivo de maíz dulce en los tratamientos con fertilización residual y fertilización al inicio del cultivo.

Repetición	Tratamiento	Contenidos foliares		
		Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
1	1	4,23	0,45	3,19
1	2	4,34	0,44	3,04
1	3	4,26	0,37	3,03
1	4	4,39	0,43	2,97
1	5	4,17	0,47	2,98
1	6	4,22	0,46	3,00
1	7	3,08	0,36	3,02
1	8	3,97	0,49	3,11
1	9	3,71	0,44	3,21
1	10	4,17	0,45	3,00
2	1	2,85	0,39	2,96
2	2	3,88	0,38	2,89
2	3	4,11	0,53	2,96
2	4	4,45	0,51	2,71
2	5	3,89	0,50	2,96
2	6	4,22	0,51	3,05
2	7	3,97	0,48	3,12
2	8	3,91	0,45	3,00
2	9	4,10	0,51	2,94
2	10	3,46	0,50	3,14
3	1	3,06	0,35	2,89
3	2	4,03	0,41	3,08
3	3	4,51	0,48	3,03
3	4	4,61	0,54	2,99
3	5	4,18	0,45	2,90
3	6	4,35	0,56	3,08
3	7	4,19	0,50	3,06
3	8	4,14	0,62	3,27
3	9	4,03	0,51	3,09
3	10	3,83	0,53	3,00

**Cuadro 9.** Contenidos de N, P y K en muestras foliares tomadas a mitad del ciclo en el cultivo de maíz dulce en los tratamientos con fertilización residual.

Repetición	Tratamiento	Contenidos foliares		
		Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
1	1	3,44	0,42	2,98
1	2	3,15	0,36	3,27
1	3	3,83	0,40	2,95
1	4	3,80	0,42	3,09
1	5	3,91	0,40	2,93
1	6	4,14	0,50	2,94
1	7	3,67	0,41	3,01
1	8	3,70	0,42	3,14
1	9	3,80	0,37	3,05
1	10	3,68	0,41	3,17
2	1	2,51	0,33	2,90
2	2	3,01	0,37	2,95
2	3	3,34	0,42	2,85
2	4	3,83	0,42	2,82
2	5	3,72	0,40	2,87
2	6	3,77	0,43	3,02
2	7	3,61	0,42	2,99
2	8	3,35	0,44	3,02
2	9	3,09	0,37	2,80
2	10	2,76	0,43	2,87
3	1	3,00	0,37	2,91
3	2	3,47	0,40	2,92
3	3	4,24	0,47	2,90
3	4	4,39	0,50	3,06
3	5	3,41	0,38	2,94
3	6	3,78	0,42	3,09
3	7	3,57	0,43	2,88
3	8	3,91	0,44	2,95
3	9	4,10	0,45	2,89
3	10	3,81	0,45	2,98

