Evaluación de tres criterios de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz en siembra directa, en un suelo Hapludol

- Ing. Agr. Sergio N. Rillo[1]
- Ing. Agr. Pablo F. Richmond[1]

Introducción

A lo largo de los años, los fertilizantes nitrogenados se han convertido en un insumo fundamental de la producción de maíz en la región pampeana.

El laboreo de los suelos, sumado a la disminución de la frecuencia de la rotación entre cultivos de grano y pasturas ha ido reduciendo su contenido de materia orgánica (MO), llegando en muchos casos a valores que alcanzan el 50% de la disponibilidad original. Entre otras consecuencias, esta reducción trae aparejada una disminución de la fertilidad potencial de aquellos nutrientes cuyo reservorio principal es la MO del suelo, como es el caso del nitrógeno (N) y el azufre (S), lo que determina la mayor frecuencia de respuesta de los cultivos a la fertilización con los nutrientes mencionados.

La implementación continua de la siembra directa (SD), por otra parte, puede llevar a una estabilización de los niveles de MO del suelo. En este caso, al no laborear el suelo se disminuye la mineralización de la MO; o sea se acumula fertilidad potencial aunque se reduce la disponibilidad inicial de nutrientes, lo cual torna relevante a la fertilización para el logro de altos rendimientos.

A la empresa agropecuaria le resulta imprescindible ser eficiente en la utilización de los insumos, buscando el mayor retorno económico de su inversión. En este aspecto, y refiriéndonos específicamente a la fertilización nitrogenada en maíz, resulta fundamental conocer la disponibilidad de N que presenta el suelo, el cálculo de la dosis a aplicar de acuerdo al rendimiento objetivo y el momento de aplicación.

Existen diversas metodologías de diagnóstico de nitrógeno para el cultivo. Algunas de ellas son:

-Evaluación de la disponibilidad de N en el suelo en presiembra, siembra o en estados tempranos de desarrollo del cultivo (4 a 6 hojas).

-Contenido de N en jugo de base de tallos.

-Determinación del estado nutricional del cultivo por el color de hojas (uso del equipo SPAD)

De estas, la metodología más difundida es la determinación del nivel de nitratos en el suelo hasta los 60 cm. de profundidad.

En cuanto a la determinación de la dosis a aplicar, se ha difundido el método del balance de N, que contempla las ganancias y pérdidas de este elemento en el sistema suelo – planta – atmósfera. Mediante la ecuación formulada por Meisinger (1984), se determina la dosis de N a aplicar a un determinado cultivo en base al requerimiento de N del mismo, la disponibilidad de

[1] Técnicos AER INTA 9 de Julio

$N\text{-}NO_3^-$ a la siembra hasta los 60 cm. de profundidad, la estimación del N mineralizado durante el ciclo del cultivo y la eficiencia de utilización de cada una de estas fuentes de N. Sin embargo, el método del balance ha prestado escasa utilidad para el diagnóstico de fertilidad nitrogenada en zonas húmedas (Mallarino, 2002), debido a la dependencia de las condiciones ambientales de algunos componentes del balance p.e. lixiviación o mineralización del nutriente

La Cátedra de Cereales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), por otra parte, ha desarrollado un esquema para la toma de decisiones de fertilización en maíz, que considera la disponibilidad inicial de $N\text{-}NO_3^-$ hasta los 60 cm. de profundidad, sumando la disponibilidad en el suelo más el N aplicado con la fertilización fosforada.

A través de los ensayos realizados, caracterizaron ambientes de alta, media y baja respuesta a la fertilización nitrogenada, determinando un umbral de 150 kg./ha. de $N\text{-}NO_3^-$ de disponibilidad, por encima del cual existen bajas probabilidades de respuestas a la fertilización.

En cuanto al momento de aplicación del N, de hacerlo a la siembra tendríamos ventajas operativas al simplificar el manejo del cultivo. Sin embargo, quienes se inclinan por la aplicación en $V_5 - V_6$ sostienen que el cultivo de maíz tiene bajos requerimientos de N hasta ese estado y por lo tanto, de aplicarlo a la siembra, se corre el riesgo de perderlo antes de llegar a la etapa de alto consumo por volatilización o lavado de los nitratos.

En base a estos antecedentes, la A.E.R. INTA 9 de Julio diseñó un ensayo, cuyos objetivos fueron:

1- Evaluar la respuesta del cultivo de maíz utilizando una dosis frecuente y dos modalidades de diagnóstico de la fertilización nitrogenada:

- Dosis modal utilizada por el productor (46 kg./ha. de N)
- Dosis para alcanzar un Nitrógeno disponible de 150 kg./ha. (Esquema de la F.A.U.B.A.)
- Dosis para alcanzar un rendimiento de 10.000 kg/ha.

2- Explorar el efecto de dos momentos de fertilización nitrogenada para cada uno de los tres niveles de N ensayados, a la siembra del cultivo (i) y en estado de quinta hoja expandida (v).

3- Evaluar el retorno y el beneficio económico de la práctica de fertilización.

Desarrollo de la Experiencia:

La experiencia se realizó en el campo agrícola de la Escuela L.M. y M.C. Inchausti ubicado en Valdés, Partido de 25 de Mayo (Bs.As.). El lote provenía de 5 años de siembra directa y la rotación agrícola que se lleva es trigo /soja de 2da., maíz y soja 1ra.

La fecha de siembra fue el 16 de Septiembre de 2004, se empleó el híbrido Dekalb 682 y la densidad lograda fue de 4,8 plantas por metro lineal, equivalente a 68.640 plantas por hectárea. Las parcelas fueron fertilizadas con 21 kg/ha de fósforo (P) y 6 kg/ha de (S). Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple (0-20-0) y sulfato de calcio (0-0-0-18S-22Ca),

respectivamente. La fuente nitrogenada fue nitrato de amonio calcáreo (27% de N).

El lote, de acuerdo al análisis de suelo realizado (0-20 cm.), presentó valores de 3,32 % de MO; 5,6 pH; 6,6 ppm de S-sulfatos; 4,1 ppm de P.

El suelo corresponde a la serie Norumbega, siendo su textura franco arenosa clasificado como Hapludol éntico.

Los tratamientos nitrogenados evaluados, nivel de N disponible y nivel de N aplicado se detallan en el cuadro 1. Las parcelas experimentales constaron de 5 surcos de siembra distanciados a 70 cm y 7 m de largo, distribuidas en 3 bloques al azar.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados, nivel de nitrógeno (N) / ha disponible y aplicado.

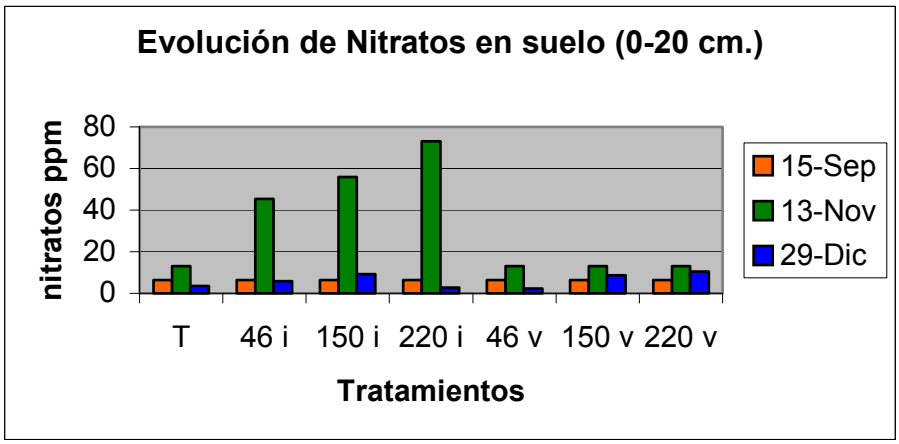
Tratamientos	N-nitratos disponible en el suelo al momento de fertilizar (0-60 cm.) (kg/ha)	N aplicado (kg/ha)
Testigo	7,45	0
Dosis modal (46 i)	7,45	38,5
Dosis 150 kg/ha N (150 i)	7,45	142,5
Dosis 220 kg/ha N (220 i)	7,45	212,5
Dosis modal (46 v)	16,71	29,29
Dosis 150 kg/ha N (150 v)	16,71	133,3
Dosis 220 kg/ha N (220 v)	16,71	203,3

Referencias: (i) N aplicado a la siembra del cultivo **(v)** N aplicado en fase fenológica de V_5 (5º hoja expandida)

Los niveles de N surgen del muestreo a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad correspondiente al momento de siembra (i) y la fase fenológica de 5 hojas desplegadas (V).

En el gráfico 1 se observa la evolución de los nitratos disponibles en el suelo a 0-20 cm de profundidad para 3 momentos diferentes del ciclo del cultivo: a la siembra (16/9), en fase de V_5 (13/11) y en floración (29/12).

Gráfico 1. Evolución de nitratos disponibles en el suelo (0-20 cm) en 3 momentos del ciclo del cultivo.



Fecha de muestreo	Tratamientos						
	T	46 i	150 i	220 i	46 v	150 v	220 v
15-Sep	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
13-Nov	13,1	45,5	55,9	73	13,1	13,1	13,1
29-Dic	3,6	6	9,2	2,8	2,3	8,7	10,6

En el cuadro 2 se detallan las precipitaciones ocurridas en el período Septiembre de 2004 a Marzo de 2005.

Cuadro 2: Precipitaciones período Septiembre 2004 – Marzo 2005

Mes	Precipitaciones (mm)
Septiembre	7,2
Octubre	81
Noviembre	77
Diciembre	198
Enero	189
Febrero	90
Marzo	136
Total	778,20

En el cuadro 3 se detallan los rendimientos medios por cada tratamiento evaluado y sus diferencias

.

Cuadro 3. Rendimiento medio por tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento medio kg/ha
220 i	13.825 a
150 v	13.197 a
220 v	13.003 a
150 i	12.996 a
46 i	11.088 b
46 v	10.852 b
Testigo	8.993 c

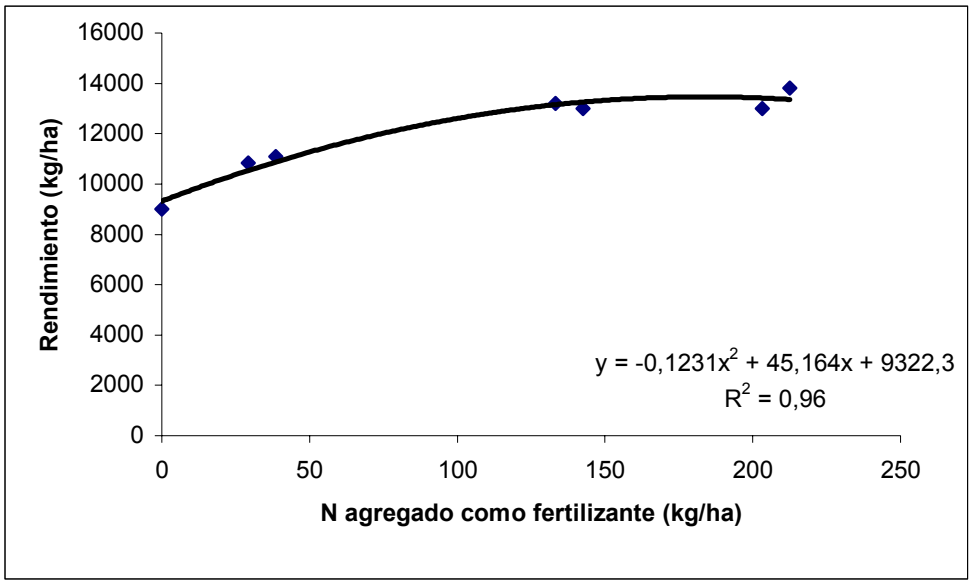
Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) CV:3,91 DMS: 834.22 – Test: LSD Fisher

En el cuadro se observa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos de 150 kg/N/ha y 220 kg/N/ha y sí hay diferencias entre estos niveles y 46 kg/N/ha. Por último, todos los niveles de N evaluados se diferenciaron del testigo.

Analizando los tratamientos respecto al momento de aplicación, se aprecia que la suma de los rendimientos de los tratamientos realizados al inicio superan a la sumatoria de los rendimientos de los tratamientos en V_5 en 857 kg./ha. El tratamiento de 220 kg/N/ha. al inicio superó en rendimiento al tratamiento de igual dosis pero aplicado en V_5 en 822 kg/ha. El tratamiento de 150 kg./N/ha al inicio rindió 200 kg/ha menos que 150 kg/ha en V_5. Por último, el de 46 kg/ha al inicio superó en 236 kg./ha. al tratamiento de 46 kg./ha en V_5.

En el gráfico 2 se visualiza el ajuste del rendimiento al nitrógeno aplicado para todos los tratamientos evaluados

Grafico 2: Respuesta al nitrógeno aplicado



En base a los resultados se calcularon las eficiencias agronómicas (E.A) que se observan en el cuadro 4, respecto al testigo y respecto a los niveles de fertilización evaluados. Para establecer las eficiencias se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{E.A. (respecto al testigo)} = \frac{\text{Rendimiento del cultivo fertilizado} - \text{Rendimiento del cultivo sin fertilizar}}{\text{kg de nutriente aplicado}}$$

$$\text{E.A. (marginal entre dosis)} = \frac{\text{Rendimiento del cultivo con dosis (x)} - \text{Rend. del cultivo con la dosis (x-1).}}{\text{kg de nutriente dosis (x)} - \text{kg de nutriente dosis (x-1).}}$$

Cuadro 4. Eficiencia Agronómica (E.A.) del fertilizante aplicado respecto al testigo y marginal entre las dosis evaluadas

Tratamiento	E.A	E.A marginal
46 i	54,4	54,4
150 i	28,1	18,3
220 i	22,7	11,8
46 v	63,4	63,4
150 v	31,5	22,5
220 v	19,7	-2,8

Se aprecia en el cuadro 4 que las mayores eficiencias del fertilizante aplicado respecto del testigo se obtuvieron con las dosis de 46 kg/N/ha, le siguen en orden de importancia las dosis de 150 kg/N/ha, aplicados en la fase fenológica de V_5 y a la siembra respectivamente. Cuando se analiza la eficiencia marginal -entre dosis empleadas- el patrón alcanzado es similar al primer análisis, observándose que el tratamiento de 220 kg/N/ha aplicado en V_5 fue el más ineficiente, lo cual está determinado por los incrementos de rendimiento decrecientes a medida que se incrementan las dosis. Las eficiencias para los tratamientos de 46 y 150 kg/N/ha fueron mayores para las aplicaciones en V_5 en los dos casos analizados. Este comportamiento se relaciona a que en ese estado se aplicó menor cantidad de nutriente que la aplicación en inicio del cultivo, debido a que el suelo acumuló una mayor cantidad de nitrógeno por mineralización, tal como se aprecia en el cuadro 1 (N disponible en siembra 7,45 kg/ha, N disponible en V_5 16,71 kg/ha).

También se analizó el porcentaje de proteína bruta en base seca en granos. Con este parámetro se calculó el nitrógeno absorbido y la fracción aparente del nutriente aplicado recuperado (FR) con el fertilizante. Los valores obtenidos se encuentran en el cuadro 5.

Cuadro 5: Proteína (% base seca), Nitrógeno absorbido y Fracción de recuperación aparente del nutriente aplicado.

Tratamiento	Rendimiento (kg / ha)	Nitrógeno Aplicado (kg/ha)	Ptroteína (% base seca)	Nitrógeno Absorbido total Biomasa (kg/ha)	Fracción de recuperación
Testigo	8.993	0	6.6	135.7	0
46 I	11.088	38.5	7.4	187.5	1.35
150 I	12.997	142.5	8.4	249.5	0.60
220 I	13.825	212.5	9.0	284.4	0.50
46 V	10.852	29.29	7.3	181.4	1.56
150 V	13.197	133.29	9.4	283.5	0.98
220 V	13.003	203.29	10.3	306.1	0.32

Se aprecia un nivel adecuado en la fracción de recuperación del fertilizante para los tratamientos 150 V, 150I, 220I lográndose eficiencias de 0.98, 0.60 y 0.50 respectivamente. Las relaciones positivas para los tratamientos 46 I y 46 V (1.35 y1.56) estaría indicando para las condiciones del trabajo una fuerte limitante de nitrógeno y efectos positivos adicionales de las dosis empleadas sobre los mecanismos intervinientes en la mineralización, que se traducen en altos valores de nitrógeno absorbido por el cultivo. Así lo sugieren Gonzalez Montaner y Di Napoli en sus trabajos. También podría deberse a una mayor habilidad del cultivo para explorar el suelo, a medida que mejoran las condiciones de crecimiento por efecto de la fertilización. Por otro lado, es de destacar el bajo contenido proteico del tratamiento testigo y de las dosis de 46 kg de nutriente. Las dosis de 150 y 220 kg elevaron el tenor proteico. Respecto al momento de aplicación, los tratamientos realizados en quinta hoja expandida incrementaron la acumulación de proteína en grano respecto a los tratamientos realizados al inicio del cultivo para los niveles de 150 y 220 kg.

En los gráficos 3 y 4 se muestra la relación entre el rendimiento y el nitrógeno absorbido para las dosis y los momentos evaluados. De acuerdo con las funciones ajustadas, los rendimientos se incrementaron en 48,4 y 62,3 kg/ha por kg de N aplicado a la siembra y en V5, respectivamente.

Gráfico 3: Relación entre nitrógeno absorbido y rendimiento para las dosis aplicadas en inicio del cultivo

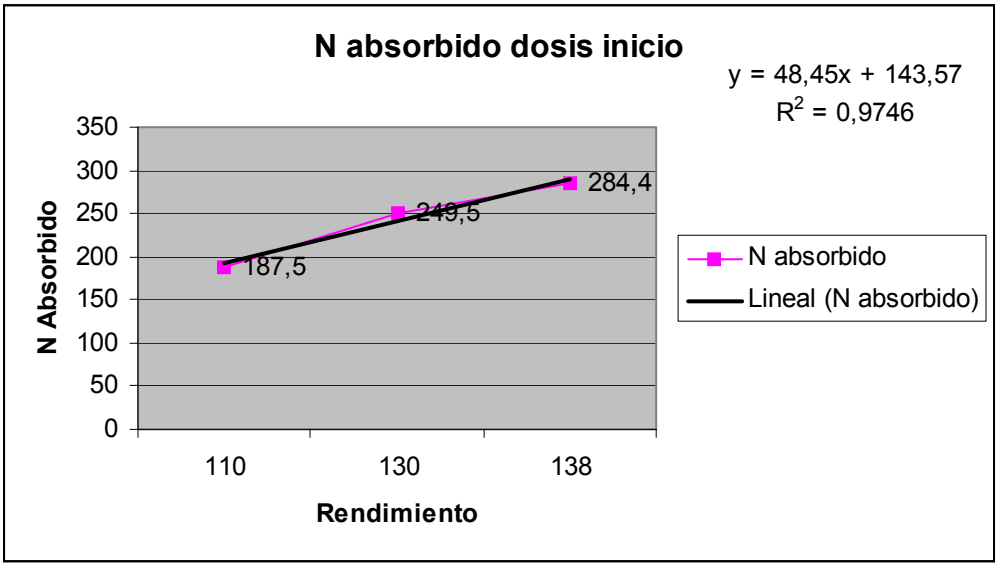
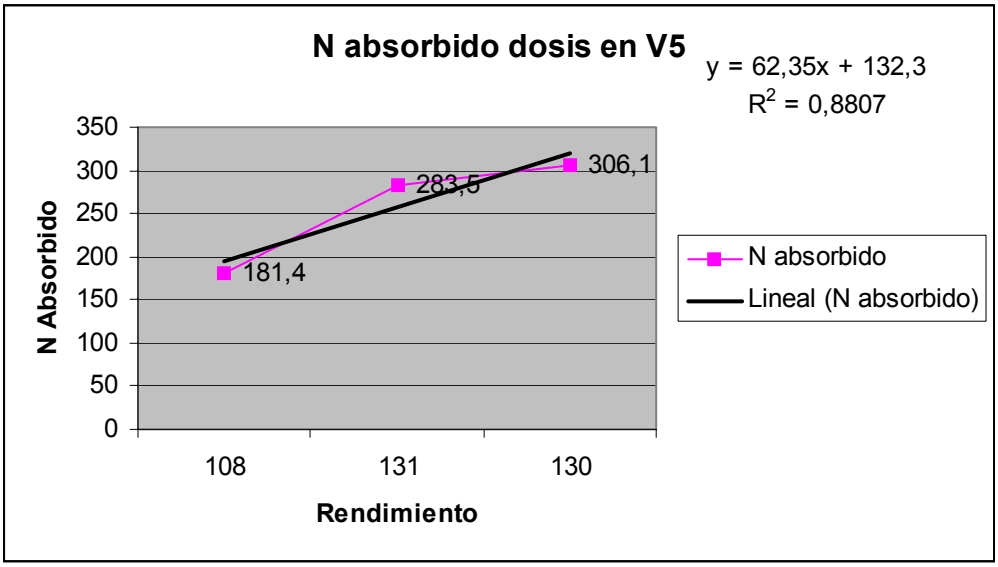


Gráfico 4: Relación entre nitrógeno absorbido y rendimiento para las dosis aplicadas en quinta hoja expandida del cultivo



En el cuadro 6 se detallan los índices de cosecha aparente en porcentaje (I.C %), peso de granos y peso por planta (gramos). Se aprecia que independientemente de las eficiencias agronómicas de los fertilizantes nitrogenados utilizados hubo una tendencia a lograr mejores índices de cosecha cuando el fertilizante se aplicó al inicio, lo cual estaría relacionado al efecto del N sobre la expansión foliar, y a una mayor partición hacia destinos vegetativos en la fertilización temprana.

Cuadro 6: Índice de cosecha aparente (%) y peso de grano y planta en gramos de materia seca

Tratamiento	Índice de cosecha aparente %	Peso de granos (gramos)	Peso materia seca total / planta (gramos)
Testigo	25,96	159,4	614
46 i	33,83	210,1	621
150 i	30,94	221,9	717
220 I	31,75	226,1	712
46 v	30,88	196,4	636
150 v	28,90	207,5	718
220 v	28,84	212,9	738

Análisis de presupuesto parcial de los tratamientos evaluados

En el cuadro 7 se observa el análisis de presupuesto parcial, realizado para cuantificar que tratamiento obtuvo el mayor retorno del dinero invertido.

Para interpretar el análisis de presupuesto parcial debemos considerar que esta metodología no incluye todos los costos de producción, sólo se analizan los que son afectados por los tratamientos considerados. El **beneficio bruto** resulta de multiplicar el rendimiento de cada tratamiento por la cotización del cereal, descontados los gastos de comercialización y cosecha. El total de **costos variables** corresponde del gasto de fertilizante de cada tratamiento más la aplicación. **El beneficio neto** es la resultante de descontar al beneficio bruto el total de costos que varían. **El beneficio neto de la práctica** es la diferencia entre los beneficios netos de cada tratamiento respecto al testigo.

Se consideraron los siguientes parámetros: cotización de maíz Rosario, 29/4/2005: 18,97 $/q; gastos de comercialización: 26% (incluye secada hasta 16,5 % de humedad), de manera que hace una cotización neta de 14,03 $/q; gastos de cosecha: 140 $/ha; fertilizante: 582 $/t; cotización del dólar: 2,91 $/dólar.

Cuadro 7: Presupuesto parcial de los tratamientos evaluados, Beneficio Neto de la práctica y retorno por peso invertido.

	Testigo	**46 i**	**150 i**	**220 i**	**46 v**	**150 v**	**220 v**
Rendimiento q/ha	89,93	110,08	129,96	138,25	108,52	131,97	130,00
Precio por quintal	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03
Beneficio bruto $/ha.	1122,0	1415,6	1683,3	1799,6	1382,5	1711,5	1684,0
Costo fertilizante	0	82,64	307,12	458,00	63,15	287,30	438,12
Costo aplicación	0	15	15	15	15	15	15
Total costos variables	0	97,64	322,12	473,00	78,15	302,30	453,12
Beneficio neto $/ha.	1122,0	1317,9	1361,1	1326,6	1304,3	1409,2	1230,8
B. Neto de la práctica $/ha		**195,96**	**239,18**	**204,60**	**182,35**	**287,20**	**108,88**
$ retornado / $ invertido		**3,01**	**1,74**	**1,43**	**3,33**	**1,95**	**1,24**
Fertilizante aplicado / kg / ha (nitrato amonio calcáreo)		**142,0**	**527,7**	**787,0**	**108,5**	**493,7**	**752,8**

Se aprecia del cuadro 7 que el tratamiento que mejor retornó el dinero invertido es el correspondiente a 46 kg/ha/N aplicado en V_5. Le sigue el tratamiento de igual kg de nitrógeno pero aplicado al inicio. Luego continúan el tratamiento de 150 kg/N/ha aplicado en V_5 y al momento de la siembra, por último, con una eficiencia económica muy baja se ubican los tratamientos de 220 kg/N/ha. Realizando un análisis global, y observando el beneficio neto de la práctica se observa que los tratamientos de mejor perfomance fueron 150v y 150i, lo cual confirma la validez de este nivel de fertilización como cercano al óptimo. Observando la última fila del cuadro se puede relacionar los kilogramos aplicados para cada momento evaluado, donde se aprecia una estrecha relación entre las dosis de fertilizantes empleadas y las eficiencias económicas logradas.

Conclusiones

- No hubo diferencias significativas en el rendimiento entre los niveles de nitrógeno de 220 y 150 kg/ha. Estos se diferenciaron significativamente del nivel de 46 kg/ha y todos los niveles se diferenciaron del tratamiento testigo.
- Se observó un diferencial de rendimiento a favor de los tratamientos realizados al inicio para 220 y 46 kg/N/ha .sin llegar al nivel de significancia.
- Las eficiencias agronómicas disminuyeron a medida que se incrementó el nivel de nitrógeno. Este comportamiento es normal en tecnología de fertilización, y se debe a que

las respuestas en rendimiento disminuyen a medida que se incrementa la oferta de nutrientes.

- Los tratamientos que mejor retorno expresaron por peso invertido fueron 46 v, 46 i, 150 v, 150 i, teniendo un retorno de 3,33 - 3,01 - 1,95 y 1,74, respectivamente.
- Los tratamientos de150v y 150i fueron los que mejor beneficio neto de la práctica lograron, con un resultado de 287,20 y 239,18 $/ha respectivamente.
- Las fracciones de recuperación aparente del nitrógeno fueron adecuadas para los tratamientos de 150V, 150I y 220I.
- El nivel de proteína en grano se incrementó conforme aumentaron las dosis de nitrógeno. Los tratamientos 150V y 220V son los que lograron tenores proteicos más cercanos a los que la bibliografía menciona como valores normales en grano de maíz. Para estas dosis, la aplicación de N a la siembra incrementó en mayor medida el rendimiento y la aplicación diferida el contenido de proteína, lo cual evidenciaría un efecto del momento de aplicación sobre el particionamiento del nutriente.
- Independientemente de los niveles de nitrógeno y momento evaluados, la respuesta a las dosis de N siguió una función cuadrática, de respuestas decrecientes al incrementar las dosis de nutriente.
- Independientemente de las eficiencias agronómicas se registraron mejores índices de cosecha en los tratamientos donde el nitrógeno estuvo disponible al inicio

Los resultados y conclusiones brindados en este trabajo corresponden a una experiencia anual, habría que seguir investigando en futuras campañas, de manera de poder captar diferencias debidas a las condiciones del año, sobre todo respecto al momento de aplicación del nutriente. De todos modos, los datos aquí brindados podrían resultar de suma utilidad al definir la estrategia nutricional nitrogenada en el cultivo de maíz y compatibilizar las tomas de decisiones de manera de armonizar los criterios de rendimiento biológico, económico y de sostenibilidad del sistema agrícola.

Andriulo, A.; J. Galantini y F. Abrego. 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes después de 80 años de agricultura continua. Carpeta de Producción Vegetal. Información 147 Tomo XIV.

Maddoni, G.; Ruiz, R.; Vilariño, P. y García de Salamone, I. 2003. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Capítulo XIX: Fertilización en los cultivos para grano. Editorial Facultad de Agronomía.

Di Nápoli, M. y González Montaner, J 1997. Parámetros del modelo de balance de nitrógeno para el cultivo de maíz en el sur de la provincia de Buenos Aires. Actas del VI Congreso Nacional de maíz. III: 166-172.

Satorre, E.; Ruiz, R.;Miralles, D.;Calderini, D.y Maddoni, G. 2001. Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en las zonas norte de Buenos Aires, sur

de Santa Fe y centro de AACREA. Capítulo 3. En: Cuaderno de actualización técnica de AACREA Nº 63

Agradecimiento:

Por la asistencia para el análisis de la información generada, los autores agradecen al Ing. Agr. M. Sc. Gustavo Ferraris y la Ing. Agr. M. Sc, Dr. María Elena Otegui.

Por la colaboración brindada para el desarrollo de esta experiencia, a los directivos de la Escuela Inchausti y Cooperativa Agrícola Ganadera de Dudignac Ltda. A los Sres. Walter Didier y Gastón Lamban, pertenecientes a la sección agricultura de la Escuela M.C y L.M y Inchausti y al Ing. Agr. Claudio Maibon Acuña, de la Cooperativa Agrícola Ganadera de Dudignac Ltda.