

HERRAMIENTAS DE AYUDA A LA DECISIÓN II

para el manejo correcto de los fertilizantes nitrogenados en **MAÍZ**



BERTA LASA, JOSU IRAÒETA, ANA PILAR ARMESTO, ARTURO SEGURA, ALBERTO LAFARGA
(ITG AGRÓCOLA)

LUIS MIGUEL ARREGUI, MIKEL MERINA, EDURNE BAROJA, MIGUEL QUEMADA
(UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA)

a ctualmente desde el ITGA estamos desarrollando nuevas herramientas de "Ayuda a la decisión para el correcto manejo de los fertilizantes nitrogenados", que podrán ser utilizadas directamente por los agricultores y técnicos. Sobre estas herramientas se han publicado resultados en cereal de invierno, trigo y cebada (Navarra Agraria nº 133, 2002). En este artículo se publican los resultados de maíz. En primer lugar, como primera herramienta, se propone el análisis del Nitrógeno Mineral existente en el suelo, análisis denominado NMIN. Este Nitrógeno Mineral (NMIN) medido de este

modo, estará a disposición del cultivo que vamos a sembrar y por tanto podremos contar con él a la hora de calcular las necesidades del cultivo, permitiendo ajustar la dosis de nitrógeno recomendada.

En segundo lugar se pretende utilizar un instrumento denominado N-tester que es capaz de indicarnos el estado nutricional del cultivo antes de la última cobertura de nitrógeno, determinando si este aporte es necesario y en qué dosis. Esta segunda herramienta será utilizable tan sólo en cultivos de maíz con riego por aspersión que permite el aporte tardío de nitrógeno.



Uno de los principales factores limitantes del rendimiento del cultivo de maíz cuando el suministro hídrico es el adecuado es el aporte de nutrientes minerales, especialmente el nitrógeno. La importancia en el establecimiento de dosis adecuadas de nitrógeno en cualquier cultivo reside en la necesidad de que el aporte de nitrógeno satisfaga las necesidades del cultivo evitando excesos de fertilización nitrogenada que perjudiquen el medio ambiente.

El problema de la contaminación de aguas subterráneas por nitratos está ligado a la práctica de la fertilización nitrogenada de los cultivos entre otras causas, y en la actualidad está tomando gran importancia por la declaración de zonas vulnerables.

El maíz en concreto, al tratarse de un cultivo de verano, requiere de riego. El aporte de agua puede ser relativamente controlado cuando es por aspersión o menos controlado cuando se realiza a manta, siendo ésta una práctica frecuente entre los agricultores que conlleva un mayor riesgo de lixiviación de nitratos.

Estos antecedentes sugieren la necesidad de desarrollar metodologías de diagnóstico de los requerimientos de N y del estatus nitrogenado del cultivo, con el fin de realizar un uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados y evitar la lixiviación.

LA FERTILIZACIÓN Y LA EXPERIMENTACIÓN EN EL ITGA

Tradicionalmente el sistema de recomendaciones de fertilización nitrogenada del ITGA se basa en los resultados obtenidos de ensayos anuales realizados por los técnicos del ITG agrícola en Navarra en parcelas de agricultor y con la colaboración de las cooperativas cerealistas. Los ensayos que se han venido realizando incluyen un tratamiento testigo sin fertilización nitrogenada y varias dosis de nitrógeno, distintos fraccionamientos y tipos de nitrógeno: urea, nitrato amónico...

Con el análisis de producción de estos ensayos se obtiene una curva de respuesta productiva a la dosis de nitrógeno. De esta curva se obtienen la Dosis de Nitrógeno Óptima Técnica y la Óptima Económica, siendo esta última la Dosis de fertilizante Recomendada (DR).

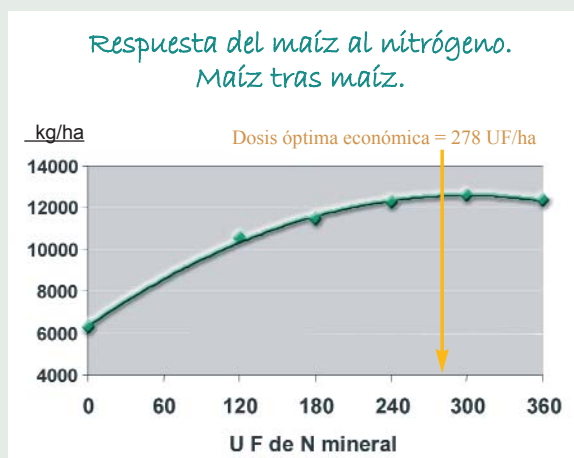
Las conclusiones de estos ensayos fueron publicadas en la revista Navarra Agraria nº 41 (1989) y nº 51 (1990). Estos estudios han servido de referencia para elaborar las recomendaciones de fertilización que vienen recibiendo los agricultores.

Hasta ahora este método de recomendación de dosis de abonado ni-

trogenado, garantiza una buena aproximación para la obtención de un rendimiento óptimo de la cosecha debido a que está respaldado por una gran cantidad de datos experimentales.

El siguiente paso consiste en afrontar las limitaciones que el método tiene, al no incorporar las condiciones meteorológicas particulares de la campaña y el manejo del agua de riego, por una parte, ni la cantidad y disponibilidad real del nitrógeno aportado por el propio suelo de cultivo

Así, la dosis recomendada en una parcela en concreto puede estar subestimada, de forma que no se obtendría la producción óptima o sobrestimada de forma que el exceso de fertilizante que no aprovecha el cultivo puede ser lixiviado a perfiles profundos del suelo, siendo potencialmente un riesgo de contaminación ambiental.



Herramientas de decisión

En este contexto, se ha realizado un proyecto de investigación cofinanciado con fondos Feder, cuyo objetivo general ha sido definir un modelo de "Ayuda a la decisión", listo para su uso por los agricultores y técnicos, **que posibilite el correcto manejo de los fertilizantes nitrogenados**, dosis y momentos de utilización, a través de compatibilizar criterios de rentabilidad económica de los cultivos y protección medioambiental, **en función de las particularidades agronómicas y climatológicas de las parcelas agrícolas, áreas de cultivo y campañas de producción.**

En concreto los objetivos son:

OBJETIVO 1.

Modelizar el flujo del nitrógeno en el medio suelo-planta, a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo, para cuantificar la contribución del suelo a la

nutrición nitrogenada de la planta.

OBJETIVO 2.

Calibrar un método rápido de evaluación del índice de nutrición nitrogenada de la planta como es el método colorimétrico en hojas verdes del cultivo (N-tester), susceptible de ser utilizado como herramienta de ajuste de las dosis de fertilizantes nitrogenados a suministrar a los cultivos.

OBJETIVO 3.

Definir un modelo de "Ayuda a la decisión", que proporcione al agricultor las dosis y momentos de utilización del nitrógeno más apropiados, para optimizar productividad, calidad y protección medioambiental, en función de las particularidades agronómicas y climatológicas de las parcelas agrícolas, áreas de cultivo y campañas de producción.

Ensayos a largo plazo

Se han realizado ensayos de dosis de nitrógeno a largo plazo con el objetivo de realizar un seguimiento de la evolución del nitrógeno en suelo y planta a lo largo de varias campañas consecutivas y modelizar la evolución de este elemento en distintas condiciones de suelo y de riego.

- **En aspersión** el fraccionamiento del N en cobertera, se realizó de la siguiente forma: La diferencia entre la dosis total y la aportada en fondo se distribuirá en 2 coberteras iguales. Se distribuyeron en fertirrigación con solución nitrogenada N-32.

1.- 6-8 hojas.

2.- A los 15-20 días de la 1ª cobertera.

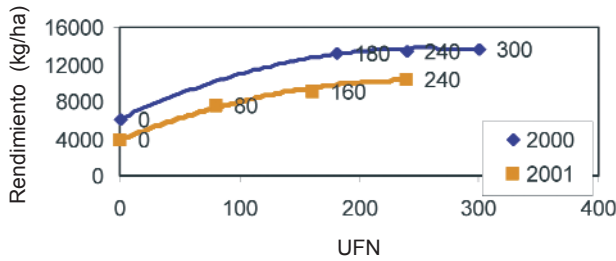
- **En inundación** se aporta el nitrógeno en una cobertera cuando el cultivo está en el estadio de 6-8 hojas.

ENSAYO	AÑO	LOCALIDAD	RIEGO	RIEGOM3/HA	VARIEDAD	SIEMBRA	COSECHA
ELP-052	2000	Montes de Cierzo	ASPERSIÓN	7000	DRACMA	26/4/00	21/11/00
ELP-053	2000	Cadreita	INUNDACIÓN	12000	DRACMA	30/5/00	22/12/00
ELP-052	2001	Montes de Cierzo	ASPERSIÓN	7000	DRACMA	8/5/01	12/11/01
ELP-053	2001	Cadreita	INUNDACIÓN	12000	DRACMA	10/5/01	14/11/01

Los tratamientos realizados según ensayo y año fueron los siguientes:

ENSAYO AÑO 2000	TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	UFN	ENSAYO AÑO 2001	TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	UFN
ELP-052	N0	TESTIGO	0	ELP-052	N0	TESTIGO	0
	N1	X-120	180		N1	X-160	80
	N2	X-60	240		N2	X-80	160
	N3	X	300		N3	X	240
ELP-053	N0	TESTIGO	0	ELP-053	N0	TESTIGO	0
	N1	X-180	120		N1	X-200	80
	N2	X-120	180		N2	X-140	160
	N3	X-60	240		N3	X-80	240
	N4	X	300		N4	X	320

Respuesta del rendimiento al aporte nitrogenado. Cadreita (2000-2001)



En el caso del ensayo de Cadreita, se observó que tanto en la campaña 2000 como 2001, la respuesta a la fertilización nitrogenada es mínima, y el rendimiento en la producción de grano es similar al tratamiento sin aporte de fertilizantes nitrogenados.

La explicación a este tipo de resultados se puede encontrar en el estudio del flujo del nitrógeno en el medio suelo-planta, a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo, de modo que se cuantifica la contribución del suelo a la nutrición nitrogenada de la planta.

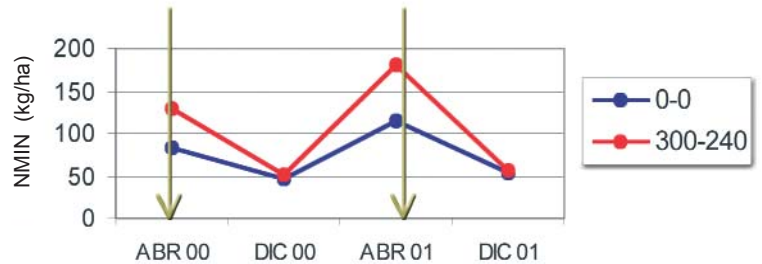
El conocimiento del contenido de Nitrógeno MINeral disponible en el suelo para el cultivo (NMIN) en el periodo de presembrado es una importante herramienta, porque si el contenido en nitrógeno es alto existe la posibilidad de evitar total o parcialmente el primer abonado en siembra o coberteras tempranas.

El contenido en nitrógeno mineral (NMIN) en el suelo en el periodo de presembrado (abril) fue superior en las parcelas que recibieron la dosis de abonado recomendada en la campaña anterior que en las parcelas testigo que no recibieron abonado nitrogenado. Esta situación se repite tanto en el ensayo de Montes de Cierzo (campaña 2000 y 2001) como en el de Cadreita (campaña 2001). Este nitrógeno proviene principalmente del nitrógeno de los fertilizantes no utilizados el cultivo anterior y del nitrógeno procedente de la mineralización de los restos de cosecha enterrados en el suelo.

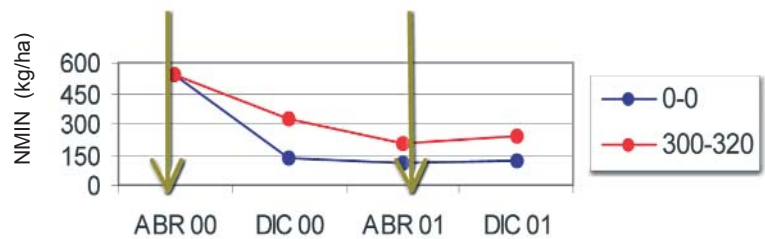
Además en estas gráficas se observa como en la parcela del ensayo de Cadreita, en la campaña del año 2000 se parte en presembrado de una parcela con un contenido de N mineral en suelo (NMIN) muy alto (500 kg por hectárea), lo cual explica la pobre respuesta en rendimiento que tuvo el cultivo a la fertilización nitrogenada.

Por otra parte, el valor de NMIN tras la cosecha (diciembre) en Montes de Cierzo es similar en las parcelas testigo y en las parcelas a las que se les aplicó la dosis recomendada en los dos años de ensayo, mientras que en Cadreita el valor de NMIN es mayor en las parcelas que recibieron la dosis de nitrógeno recomendada que en las parcelas testigo, existiendo riesgo de que ese nitrógeno residual sea lavado en el perfil del suelo.

Evolución Nmin (0-120 cm) Montes de Cierzo



Evolución Nmin (0-120 cm) Cadreita



El seguimiento del ciclo de nitrógeno en el sistema suelo-planta se ha realizado sobre los dos ensayos de largo plazo, según el modelo que se presenta a continuación, a partir de los análisis de nitrógeno mineral en el suelo (NMIN) en varios momentos del cultivo.

ENTRADAS DE NITRÓGENO		=	SALIDAS DE NITRÓGENO	
NMIN presembrado			N extraído por el cultivo	
N mineral aplicado		=	NMIN postcosecha	
N mineralizado			N lixiviado en verano	

- ★ **NMIN presembrado:** NMIN en el perfil del suelo (0-90 cm) antes de la siembra (kg N/ha)
- ★ **N mineral aplicado:** Dosis aplicada de N mineral en kg N/ha
- ★ **N aportado en el riego:** cantidad de N calculada a partir de la dosis de agua utilizada y su concentración en nitratos disueltos.
- ★ **N extraído cultivo:** N absorbido por parte aérea del cultivo (kg N/ha), incrementado en un 25 % como estimación del N radical.

El CAU Fertilizante indica la cantidad de N (en kg) aprovechado por el cultivo por cada kg de N aportado con la fertilización de las coberteras. Se calcula como (N extraído en el tratamiento fertilizante - N extraído en el tratamiento testigo) dividido entre el N fertilizante aportado.

■ **CAU NMIN presiembra o coeficiente de utilización del N mineral del suelo existente en el momento de la presiembra.**

Indica la cantidad de N (en kg) aprovechado por el cultivo por cada kg de N mineral que existe

en el suelo en el momento de presiembra y que procede del nitrógeno que el cultivo no ha aprovechado en la campaña anterior y de la mineralización del nitrógeno orgánico existente entre campañas. Se calcula como el cociente entre la cantidad de N extraído por el cultivo en el tratamiento testigo entre en la cantidad de N mineral (NMIN) en el momento de presiembra.

■ **Extracción de N por el cultivo.**

Cuantifica las necesidades del cultivo como los kg de nitrógeno necesarios para producir cada tonelada de grano. Existen valores de índices de extracción de N para los cultivos que indican una óptima eficiencia de la utilización del N, valores por encima del óptimo pueden indicar un exceso de fertilización nitrogenada y valores por debajo pueden indicar una deficiencia de nitrógeno.

BALANCE DE NITRÓGENO	Montes de Cierzo				Cadreira			
	AÑO 2000		AÑO 2001		AÑO 2000		AÑO 2001	
Dosis aportada:	Testigo	300	Testigo	240	Testigo	300	Testigo	320
NMIN presiembra	82	126	114	180	527	527	107	200
N mineralizado	40	40	-20	-20	-168	-168	262	262
N aportado riego	16	16	16	16	30	30	30	30
N aplicado fertilizantes	0	300	0	240	0	300	0	320
Entradas de N totales:	137	482	109	415	389	689	399	812
N extraído cultivo	92	246	55	243	260	256	271	314
NMIN postcosecha	45	51	54	56	129	316	114	244
Salidas de N totales:	137	297	109	299	389	571	385	558
N no computado		184		116		118		254

r e s u m e n

El resumen de parámetros que se presenta en las siguientes tablas indican de forma general que la eficacia de la fertilización nitrogenada en cobertera fue mayor en Montes de Cierzo que en Cadreira y que para los dos ensayos tanto en la campaña del 2000 como del 2001, la utilización del nitrógeno mineral del suelo en el momento de presiembra es alta y podría haber sustituido en gran parte a la fertilización nitrogenada.

Ensayo a largo plazo en Montes de Cierzo

	Año 2000		Año 2001	
Fertilización (kg N/ha)	0	300	0	240
Producción (t de grano/ha)*	5,33	11,52	3,30	8,76
N extraído (kg N/t de grano)	17	21	17	28
CAU fertilizante		0,5		0,8
CAU NMIN presiembra	1,1		0,5	

*peso seco de grano

Ensayo a largo plazo en Cadreira

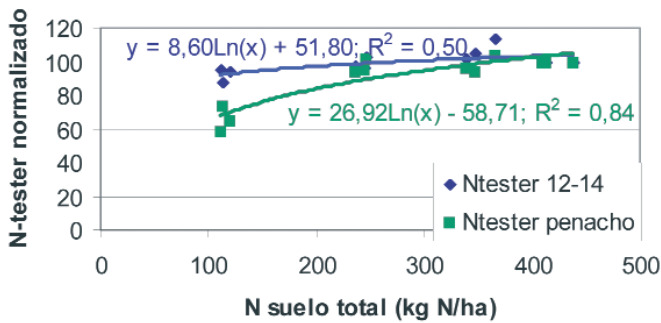
	Año 2000		Año 2001	
Fertilización (kg N/ha)	0	300	0	320
Producción (t de grano/ha)*	11,13	10,86	10,00	12,06
N extraído (kg N/t de grano)	23	24	27	25
CAU fertilizante		0,1		0,6
CAU NMIN presiembra	0,5		2,5	

*peso seco de grano

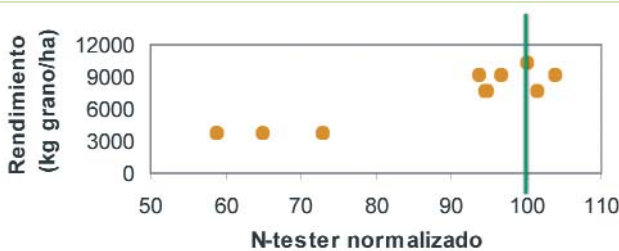
suelo que las lecturas en el estadio de inicio de penacho. Por lo tanto, la deficiencia de nitrógeno que se manifestó con un bajo rendimiento del cultivo en las parcelas testigo, no se habría detectado con lecturas N-tester en estadio de 12-14 hojas mientras que sí se habría detectado en el estadio de inicio de penacho.

Por otra parte, en el estadio de inicio de penacho nos muestra que el tratamiento de 160 UFN (262 UFN totales al sumarle el NMIN presiembra) alcanza ya el nivel 100% (N-tester relativo deseado) mientras que el rendimiento siguió creciendo hasta las 240 kg de nitrógeno aportados. El modelo N-tester necesita por tanto mayor recopilación de datos para poder ajustarlo para su uso en maíz en próximos experimentos.

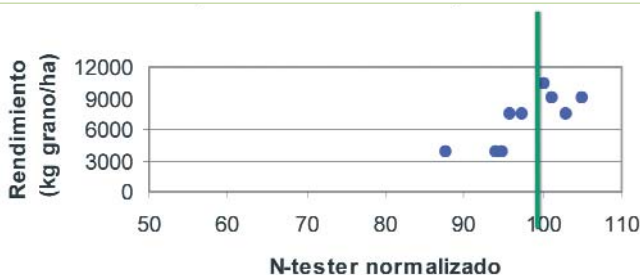
RELACIÓN ENTRE N TOTAL Y N-TESTER NORMALIZADO EN EL ESTADÍO DE 12-14 HOJAS Y DE INICIO DE PENACHO (Montes de Cierzo, 2001).



RELACIÓN ENTRE LECTURA N-TESTER EN ESTADÍO DE INICIO DE PENACHO Y RENDIMIENTO (Montes de Cierzo-2001)



RELACIÓN ENTRE LECTURA N-TESTER EN ESTADÍO DE INICIO DE 12- 14 HOJAS Y RENDIMIENTO (Montes de Cierzo-2001)



definir un modelo de "Ayuda a la decisión"

El uso de la herramienta NMIN puede ser interesante en situaciones de mineralización baja durante el cultivo o para resolver la recomendación en parcelas que parten de valores muy elevados de nitrógeno en suelo, sirva de ejemplo Cadreita con más de 500 kg/ha de NMIN al iniciar el cultivo de maíz. En todo caso será importante conocer este punto de partida.

Necesitamos crear modelos de previsión utilizando el NMIN que tengan en cuenta riego, lluvia, temperatura y tipo de suelo.

Por otra parte, la posibilidad de que la lectura NMIN integre en un futuro la fracción de N fácilmente mineralizable aumentará las posibilidades de uso de esta herramienta.

En maíz la eficiencia del nitrógeno aportado con los fertilizantes ha resultado variable en condiciones de regadío. Esta variabilidad está condicionada principalmente al contenido del suelo en nitrógeno mineral. Por tanto, el control del contenido del de nitrógeno mineral del suelo resulta clave para ajustar la dosis idónea del nitrógeno a aplicar y mejorar su eficiencia.

La herramienta N-tester es una herramienta complementaria, que nos permitirá detectar carencias no previstas con el NMIN. Permite aportes de fertilizantes menores, lo que apoya una mayor protección medioambiental, y reajustes en fases avanzadas del cultivo.

La recomendación de uso del N-tester en cultivo de maíz, a falta de más información experimental sería la de realizar las lecturas con esta herramienta en el estadio de penacho, ya que ofrece una información más fiable, además de ser un estadio que en la práctica es fácilmente reconocible. Por este motivo esta herramienta será utilizable tan sólo en condiciones de riego por aspersión donde son posibles aportes de N tardíos con el agua de riego.