

EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Comparación de la siembra directa y el laboreo convencional: determinación de las pérdidas de fertilizantes nitrogenados mediante lixiviación de nitratos

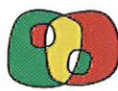
Laura Rodríguez Bragado*, Aurora Sombrero Sacristán, Marta María Cedrún del Agua

*E-mail autor: rodbrala@itacyl.es



INSTITUTO
TECNOLÓGICO
AGRARIO

Junta de Castilla y León
Consejería de Agricultura y Ganadería



PROGRAMA
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA
ESPAÑA - PORTUGAL
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRICA
2007 - 2013



Unión Europea
FEDER
Invertimos en su futuro



1. IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ

El nitrógeno es el macronutriente fundamental para el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays*). Se considera, además, el nutriente limitante para el desarrollo de la planta, ya que cuantitativamente es el que se requiere en mayor cantidad. Una correcta dosificación de este elemento, en equilibrio con las aportaciones de potasio y fósforo, son los factores más influyentes en la consecución de unos rendimientos óptimos de maíz, de ahí la importancia de programar una fertilización adaptada a las necesidades del cultivo tanto en cantidad como en momento óptimo de aplicación y tipo de formulación del fertilizante nitrogenado. La importancia del nitrógeno para la planta se debe a las numerosas funciones en las cuales interviene este nutriente, entre las cuales destacan las siguientes:

- Forma parte de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos.
- Es un componente fundamental en la síntesis de clorofila.
- Es un componente de vitaminas, derivados de azúcares, celulosa, almidón y lípidos.
- Forma parte de coenzimas y enzimas.
- Alarga las fases del ciclo de cultivo.

Figura 1. Cultivo de maíz bajo siembra directa y restos de cosecha de maíz.



- Favorece la multiplicación celular y estimula el crecimiento.

► ASIMILACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL MAÍZ

El maíz es una planta C4, ello implica una elevada eficiencia en la actividad fotosintética lo que explica su rápido crecimiento y sus elevados rendimientos frente a otros cereales, pero por el contrario es muy exigente ►►►

en lo referente a agua y abonados, especialmente al abonado nitrogenado. Las plantas de maíz solamente pueden asimilar el nitrógeno en forma de nitrato en la solución del suelo, es decir es necesario que este nitrato se encuentre en el agua útil contenida en el suelo, por tanto, a mayor contenido de agua, mayor concentración del nutriente en la solución del suelo, más tasa transpiratoria de la planta y una mayor temperatura edáfica ambiental, la absorción de nitrógeno por parte del cultivo será mayor. Todo el nitrógeno que se aporte de forma no nítrica debe pasar un proceso de transformación hasta formar nitratos solubles asimilables. Esta forma de nitrógeno es muy móvil a través del perfil del suelo y se pierde fácilmente por lavado, por lo que es de vital importancia favorecer mecanismos que sean capaces de retener los nitratos el mayor tiempo posible en el horizonte de suelo correspondiente a la profundidad de extracción de nutrientes. Entre estos mecanismos destaca por su eficiencia el mantenimiento de la cubierta vegetal y la mejora de la estructura del suelo mediante siembra directa.

► ACUMULACIÓN DEL NITRÓGENO EN LA PLANTA

De forma general, el maíz necesita absorber entre 1.5 y 2.2 kgNha⁻¹ por cada 1000 kg de grano producido (Andrade

et al., 1996), es decir, para obtener rendimientos de 14000 kgha⁻¹ de maíz, se requeriría un aporte de N de unos 280 kgNha⁻¹ y la cantidad de fertilizante a aportar dependerá del contenido en nitrógeno, también debe considerarse el tipo de suelo, contenido de materia orgánica, su capacidad de retención de agua, el tipo de laboreo, pérdidas por lixiviación, etc.

La acumulación de nitrógeno en la biomasa aérea de las plantas de maíz suele oscilar entre 200 y 350 kgha⁻¹ con unas tasas diarias de acumulación de entre 2.5 y 4 kgNha⁻¹d⁻¹. Estas tasas se refieren al periodo vegetativo del maíz comprendido entre el primer y el cuarto mes después de la emergencia. Además durante la floración, es muy importante que la planta pueda disponer de nitrógeno asimilable en el agua útil del suelo, no puede faltar nitrógeno ni agua de riego, esta etapa es determinante para que posteriormente todo el nitrógeno acumulado en las partes vegetativas pueda ser movilizado hacia los granos y se produzca un llenado completo de los mismos.

De todo el nitrógeno absorbido por el maíz, casi la mitad permanece en los restos de cosecha, y en el caso de la siembra directa, es devuelto al suelo para posteriormente incorporarse al ciclo de este nutriente en el sistema.

► SÍNTOMAS DE DEFICIENCIAS DE NITRÓ- ►►►



Figura 2. Siembra directa de maíz en una parcela sobre el residuo del cultivo previo de maíz.



GENO EN EL CULTIVO

Los síntomas de las deficiencias de nitrógeno pueden ser más o menos severos dependiendo del estado vegetativo de la planta en el que se hayan presentado tales deficiencias, los síntomas visuales en maíz suelen detectarse a partir de las 6 hojas desarrolladas y suelen presentarse los expuestos a continuación:

- Generalmente se produce una disminución progresiva del área foliar de hasta el 60%, además las hojas se mantienen verdes durante menos tiempo, lo que implica un menor periodo de tiempo durante el cual se acumula nitrógeno en las partes vegetativas (Cordi *et al.*, 1997).
- Las plantas deficientes de N son más pequeñas de lo normal, los tallos son finos y entrenudos más cortos, aunque no suele afectar al número de hojas producidas, si bien éstas presentarán un menor desarrollo.
- Se puede producir un desfase entre la polinización y la aparición de estigmas, lo que produce una mayor tasa de mazorcas abortadas.
- Clorosis en las hojas adultas, con distintas tonalidades de verde, dependiendo de las variedades de maíz (el nitrógeno se transporta de hojas adultas a hojas más jóvenes debido a su alta movilidad).
- Las plantas de maíz muestran una coloración purpúrea causada por la acumulación de pigmentos antocianos debido a un aumento de la concentración de azúcares.
- Disminución de tamaño celular y disminución de síntesis de proteínas, lo que hace que los granos presenten menos materia seca, se puede reducir el peso del grano en hasta un 30% debido a un menor periodo de llenado.
- La floración queda muy restringida con notable reflejo en la fructificación.
- Las plantas son más sensibles a las heladas.

Figura 3. Equipo de determinación de lixiviados con el agua de riego. Este equipo consta de tres muestreadores de cápsula porosa a 50, 100 y 150 cm, una bomba de succión, un tubo de extracción y botellas especiales para la extracción del agua con posibles contaminantes.



- El crecimiento se hace lento e incluso puede paralizarse.

- Se adelanta la maduración.

► EXCESO DE NITRÓGENO

Un exceso de nitrógeno en el suelo, conlleva a un gasto innecesario en fertilizantes y daños medio ambientales, que perjudican al sector agrícola en particular y al ►►►

Figura 4. Instalación en campo del equipo de extracción de solución del suelo, para determinar contaminantes por lixiviación del agua de riego. También se observa la instalación de equipos de apoyo: Tensiómetros y sonda FDR para estudiar la evolución del agua de riego en el perfil del suelo.



bienestar social en general.

Cuando este exceso de nitrógeno se encuentra en forma de nitratos, debido a su alta movilidad en el perfil del suelo, se lixivian hacia aguas subterráneas imposibilitando su aprovechamiento por las plantas. Estos nitratos en el agua provocan graves daños medio ambientales, entre los que destacan la contaminación de acuíferos, la incorporación de nitratos y nitritos (formados por la reducción de los nitratos) cancerígenos a la cadena trófica y eutrofización de las aguas superficiales (el nitrato sirve de alimento a numerosas algas verdes que desplazan el crecimiento de otras especies, además la actividad fotosintética de éstas crece exponencialmente creando una capa que impide la penetración de la radiación solar en el medio acuático, por tanto, las especies de los estratos inferiores mueren, al igual que de forma natural lo hacen las algas verdes, y se van formando capas de materia orgánica que con el paso del tiempo hacen que estos medios acuáticos queden deteriorados e incluso desaparezcan).

2. EFECTOS DE LA SIEMBRA DIRECTA EN LA EFICIENCIA DEL USO DEL NITRÓGENO POR EL MAÍZ

El abonado de maíz en siembra directa está condicionado por las propias características de este sistema de cultivo, en el que no se realiza ningún tipo de laboreo en el suelo, impidiendo el enterramiento del abono y obligando a su

Tabla 1. Manejo y labores culturales del cultivo de maíz bajo siembra directa y laboreo convencional, durante las campañas 2012 y 2013.

		LABORES PREPARATORIAS		
		Laboreo convencional	Siembra directa	
MAÍZ		Arado vertedera	Tratamiento herbicida	
		Cultivador	Siembra	
		Siembra		
SIEMBRA (VARIEDAD Y DOSIS)				
MAÍZ	Variedad		Dosis (plantas ha ⁻¹)	
	Bergxxon (2012) y Alixxia (2013)		90000	
FERTILIZANTES				
MAÍZ	Fondo (8-15-15 NPK)	Cobertera (NO ₃ NH ₄ 27%)		
		F. convencional	F. racional	
	800 kg.ha ⁻¹	700 kgha ⁻¹	600 kgha ⁻¹	
FITOSANITARIOS				
MAÍZ	Laboreo convencional		Siembra directa	
	Clorpirifos 5%	15 kgha ⁻¹	Glifosato 36%	2.50 lha ⁻¹
	Mesotriona 4%+ S-Metolacloro 40%	3.50 lha ⁻¹	Clorpirifos 5%	15 kgha ⁻¹
	Clorpiralida 42.5 %	0.30 lha ⁻¹	Mesotriona4% + S-Metolacloro 40%	3.50 lha ⁻¹
	Bromoxinil 20%	2.25 lha ⁻¹	Clorpiralida 42.5 %	0.30 lha ⁻¹
			Bromoxinil 20%	2.25 ha ⁻¹

aplicación en superficie o localizarlo (Figura 1). Además, mantener el suelo inalterado produce cambios en la dinámica y distribución de los nutrientes en el perfil del terreno. La siembra directa mantiene un nivel de humedad en el suelo cuantitativa y temporalmente superior al laboreo convencional, por lo que la mineralización del nitrógeno se >>>

Figura 5. Equipo de medición de nitratos instalado en campo. Fotografía correspondiente al momento de extracción de agua de riego para determinar la concentración de nitratos.



acelera. Además los restos de cosecha hacen que se inmovilice parte del nitrógeno aportado, ya que numerosos microorganismos utilizan parte de este nitrógeno para obtener energía y poder descomponer los restos vegetales, esto provoca que pueda requerirse un aporte superior de fertilizantes nitrogenados los primeros años de implantación de este sistema de laboreo.

El suelo bajo siembra directa está cubierto por los restos de cosecha del cultivo anterior, los cuales pasan a una fase de descomposición en la cual se aporta fósforo (P) y potasio (K) al suelo, de esta forma, la siembra directa requiere abonos con un alto contenido en N para favorecer la descomposición de los restos de cosecha y un menor contenido en P y K que en el caso del laboreo convencional (ENTEC, EuroChem Agro).

La siembra directa es capaz de retener mayor cantidad de agua en el perfil del suelo, este hecho se debe al mantenimiento y mejora de la estructura del mismo, creando macroporos capaces de almacenar agua con nutrientes, evitando su lixiviación.

Es importante tener en cuenta que en siembra directa se pueden presentar pérdidas de nitrógeno importantes al aplicar fertilizantes amoniacales, con la consecuente liberación de amoníaco a la atmósfera. Esto es especialmente importante al aplicar urea ya que produce un pH alcalino en la zona de disolución.

3. ENSAYO CIENTÍFICO EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO DE CASTILLA Y LEÓN, ITACYL. DOSIS DE FERTILIZACIÓN

► DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Este estudio se ha llevado a cabo en el Instituto Tec-

nológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), en la finca Zamadueñas (41° 42'23" N, 4° 41'36" W), Valladolid, durante los años 2012 y 2013. El experimento se estableció en un suelo clasificado como Typic Xerofluvent (classification USDA 87) rico en limos, con un nivel alto de carbonatos, una capacidad de retención de agua de 175 mm⁻¹. El pH osciló entre 8 y 8.5 y la cantidad de materia orgánica oscila entre un 1% en superficie hasta 0.3% a un metro de profundidad.

► OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo principal de este estudio fue determinar y comparar las pérdidas de nitrógeno por lixiviación en dos sistemas de laboreo, siembra directa y laboreo convencional, con el fin de comprobar si la siembra directa es capaz de retener más nitrógeno durante más tiempo, en el perfil del suelo.

El segundo objetivo se basó en evaluar si las diferentes dosis de fertilización influyen en el rendimiento del cultivo de maíz y en las pérdidas de nitrógeno por lixiviación.

► MANEJO DEL CULTIVO

A principios de mayo de 2012 (07-05-12) fue sembrado maíz de ciclo 450 "Bergxxon 400", en siembra directa sobre el residuo previo de maíz. El segundo año se sembró maíz de ciclo corto 300 (04-05-14), variedad "Alixxia 300". La distancia entre surcos fue de 55 cm y 22 cm entre plantas, obteniendo una densidad de 90.000 plha⁻¹. El cultivo fue cosechado a mediados de noviembre en ambas campañas.

En cuanto a la fertilización se han establecido dos tipos de abonado, fertilización convencional (FC) y fertilización racionada (FR). Antes de la siembra se realizó un abonado de fondo con un fertilizante estándar NPK (8-15-15) y un abonado de cobertera con nitrato amónico cálcico (NAC ►►►

27%) bajo una dosis de 700 y 600 kg ha⁻¹ en FC y FR respectivamente, este fertilizante fue incorporado cuando el maíz presentaba 8 hojas desarrolladas (V8 según Ritchie and Hanway, 1982).

El seguimiento de estados fenológicos del maíz y control de malas hierbas se ha realizado semanalmente mediante identificación visual en cada una de las parcelas.

El riego se ha realizado mediante aspersión, con un marco de 12 m*12 m y un caudal medio de 5 lh⁻¹. La cantidad de riego aplicada fue de 693 mm y 544 mm durante la campaña de 2012 y 2013 respectivamente; en periodos de máximas necesidades se realizó un fraccionamiento de la aplicación del riego de dos días a la semana con 4h cada uno, con el fin de optimizar la cantidad de agua aportada y reducir la lixiviación de la misma, la cantidad de agua a aportar semanalmente fue facilitada por INFORIEGO y su aplicación informática gratuita accesible para todos los agricultores.

Durante la campaña de riego se instalaron muestreadores de agua de riego a distintas profundidades a lo largo del

Tabla 2. Rendimientos y parámetros de cosecha del cultivo de maíz.

SL	MAIZ							
	Rendimiento Kg ha ⁻¹		Humedad (%)		Peso específico		Rendimiento Kg ha ⁻¹ (14%)	
LC	15289	a	22.15	a	689	a	13841.4	a
NL	15806	a	27.77	a	683	a	14003.2	a
ABONADO								
FC	15593	a	23.04	a	686	a	13950	a
FR	15501	a	22.88	a	685	a	13894	a

perfil del suelo (Figura 3), este tipo de muestreadores son unos tubos de PVC que en su extremo inferior poseen una cápsula cerámica, esta cápsula es capaz de absorber el agua que posee el suelo al realizar una succión de -0.6 bares en el tubo de acceso (Figura 4). Las profundidades del perfil del suelo estudiadas son 50, 100 y 150 cm, con el fin de determinar la dinámica de la lixiviación de nitratos a lo largo de todo el perfil del suelo. Si el muestreador localizado a 150 cm contiene agua con nitratos, se consideraron lixiviados hacia aguas subterráneas, con las consecuencias medio ambientales y económicas que lleva consigo este hecho.

La medición de lixiviados se realizó todas las semanas durante la campaña de riego, la recogida de muestras ►►►



Avda. La Crosa s/n - 17168 Vilobi d'Onyar (Girona)
Tfno: 972 474 137 - comercial@ampsprayers.com

AMPLIACIÓN DE LA GAMA DE PULVERIZADORES WORKER DE AMP SPRAYERS

[SUSPENDIDO CON FRONTAL ►]



[ARRASTRADO ⚙]



Nueva gama de pulverizadores suspendidos AMP Sprayers Serie WORKER P, que comprenden cisternas de nuevo diseño de 1300, 1600 y 1900 l. (con capacidad real de 1400, 1700 y 2000 l.).

También nueva gama de pulverizadores frontales WORKER F de 1100 y 1500 l. de capacidad nominal (con 100 l. más de capacidad real cada uno aproximadamente).

se produjo un día después de regar y las muestras fueron llevadas al laboratorio para determinar la concentración de nitratos por cromatografía iónica.

► LABOREO

El laboreo

convencional consistió en un pase de vertedera en diciembre (modelo Kverneland VD85 de tres cuerpos), a una profundidad aproximada de 40 cm. Esta labor fue seguida de un pase de cultivador de discos en abril (modelo Nodet gougis GC de cuatro cuerpos) a 15 cm de profundidad.

La siembra directa consistió en un control químico con un herbicida total N-(phosphomethyl) glicinim, comúnmente denominado glifosato. Posteriormente se procedió a la siembra de maíz con una sembradora modelo SEMEATO SHMAA09.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las labores, tratamientos y fertilizantes aplicados en cada uno de los sistemas de laboreo.

4. RESULTADOS

► RENDIMIENTOS

Los rendimientos de maíz obtenidos en cada sistema de laboreo y cada tipo de abonado son los expuestos en la Tabla 2. No se observan diferencias de rendimiento significativas por sistema de laboreo ni por abonado. Además el factor sistema de laboreo y el factor abonado no influyen significativamente en el comportamiento de las variables humedad del grano y peso específico de la semilla.

► MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA DE AGUA DE RIEGO Y LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS HACÍA AGUAS SUBTERRÁNEAS

El sistema de laboreo afectó significativamente al contenido de humedad volumétrica en cada una de las diferentes profundidades del perfil del suelo, además se comprobó que la siembra directa retuvo el agua de riego de forma más eficiente durante toda la campaña, evitando de este modo las pérdidas de nitratos por lixiviación. En la Figura 6 se observa la dinámica del agua de riego en ambos sistemas de

Figura 6. Dinámica del agua de riego en el perfil del suelo, comparación entre el laboreo convencional y la siembra directa.

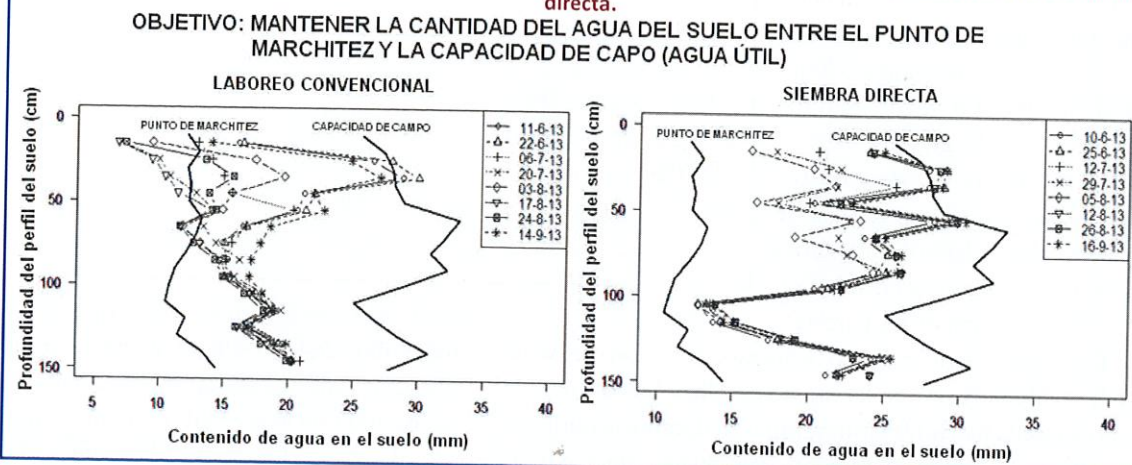
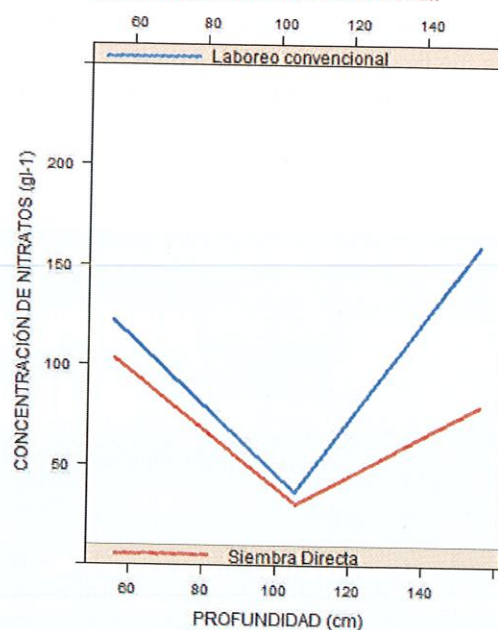


Figura 7. Media de concentración de nitratos en las diferentes profundidades del perfil del suelo, comparación de la siembra directa con el laboreo convencional.



laboreo, comprobando así que la siembra directa mantiene el contenido de agua en el suelo entre el punto de marchitez y la capacidad de campo durante toda la campaña agrícola; sin embargo, el laboreo convencional, debido a una pérdida de estructura del terreno, provoca un rápido movimiento del agua a capas profundas a través del perfil del suelo, con lo cual el suelo está expuesto a un estrés hídrico más fácilmente que la siembra directa, con la consecuente pérdida de nitrógeno por lixiviación.

El contenido de humedad volumétrica fue significativamente mayor en el tratamiento correspondiente a no laboreo ($p < 0.05$) sobretodo en las profundidades ►►►

que coincidieron con la profundidad de extracción de agua del cultivo y en los momentos de máximas necesidades hídricas en maíz, desde el julio hasta mediados de agosto (Figura 6)

También se ha determinado que el 2013 fue un año en el que el contenido de agua en el suelo fue significativamente mayor a 2012, debido a las abundantes lluvias primaverales que recargaron el perfil del suelo.

Sin embargo no se establecen diferencias significativas entre las dos dosis de abonado en ninguna de las variables determinadas en el estudio ($p=2.77$), esto determina que la fertilización racionada produce los mismos rendimientos que la convencional, con el consecuente ahorro de fertilizante y reducción de pérdidas de nutrientes por lavado.

► LIXIVIACIÓN DE NITRATOS

El sistema de laboreo influye de forma significativa en la lixiviación de nitratos ($P<0.05$). El laboreo convencional presentó una media de concentración de nitratos lixiviados hacia aguas subterráneas de 107.9 gl^{-1} mientras que en siembra directa fue de 59 gl^{-1} (nivel máximo permitido por la Directiva Comunitaria 1998 cuyos límites propuso la Organización Mundial de la Salud, es de 50 gl^{-1}), del mismo modo la fecha de extracción de lixiviados influyó en la concentración de nitratos en la muestra. Los valores máximos de concentración de nitratos lixiviados coincidieron a primeros de julio, 210 gl^{-1} , unos días después de aplicar el abonado de cobertera, de lo que se deduce que parte del fertilizante fue perdido por lavado con el agua de riego. Para evitar este

problema se propone fraccionar el abonado en cobertera en dos dosis de aplicación o proporcionarlo a la planta mediante el agua de riego utilizando un fertilizante de liberalización controlada de nitrógeno.

El nivel mínimo de nitratos analizados en agua lixiviada fue de 13.75 gl^{-1} concentración que coincide con el final de la campaña de maíz.

La profundidad a la que se determinaron un menor contenido de nitratos en agua fue a 100 cm, coincidiendo con la profundidad de extracción de nutrientes del maíz. A lo largo de todo el perfil, la lixiviación de nitratos hacia aguas subterráneas fue mayor en laboreo convencional (Figura 7).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean expresar su agradecimiento al Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), institución donde se lleva a cabo este proyecto de investigación, gracias al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), 0450_AGRI_SOS_6_F_POCTEC Project y 0671_RED_AGROTEC_6_E, por financiar las actividades realizadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

Andrade, F.H., A. Cirilo, S. Uhart, and M.E. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalpress, Buenos Aires, Argentina.

Cordi, M., Uhart, S.A., Echeverría, H.E. Y Sainz Rosas, H. 1997. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la tasa y duración del llenado de granos en maíz.

USDA. 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (USDA).



NUTRIFERTIL

Fertilizantes sólidos, Fertilizantes líquidos

NUESTRA GARANTÍA, LAS MATERIAS PRIMAS DE PRIMERA CALIDAD

Ctra. Fuentes de Nava-Becerril de Campos 34377 - Fuentes de Nava (Palencia)
Tfno: 979 188 000 - Email: nutrifertil@profopal.com