



ESTABILIZADORES DE NITRÓGENO EN MAÍZ EN ARGENTINA:
ANÁLISIS DEL MERCADO ACTUAL
Y PERSPECTIVAS DE UTILIZACIÓN

Trabajo final presentado para optar al título de Especialista de la Universidad de Buenos Aires en Fertilidad de suelos y fertilización

RODRIGO GASTON FALCONE

Ingeniero Agrónomo – Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Rosario – Año 2008

Director: *Ing. Agr. Dr. Martín Torres Duggan*

*Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires*

Índice

1. Agradecimientos.....	3
2. Abreviaturas, símbolos y acrónimos.....	3
3. Resumen.....	4
4. Introducción	
4.1 Importancia agronómica y ambiental del nitrógeno en el cultivo de maíz.....	6
4.2 ¿Qué son los fertilizantes de eficiencia mejorada y su uso a nivel mundial?.....	8
4.3 Revisiones internacionales que muestran el impacto de los UI y de los NI sobre el rendimiento de los cultivos de grano y la mitigación de GEI	13
4.4 Información local del uso de estos inhibidores en el cultivo de maíz.....	14
4.5 Factores que inciden en la adopción del uso de estabilizadores de nitrógeno.....	18
5. Objetivos e hipótesis	
5.1 Objetivo general.....	19
5.2 Objetivos específicos.....	19
5.3 Hipótesis.....	19
6. Metodología	
6.1 Abordaje metodológico.....	20
6.2 Indagación de datos de mercado.....	22
6.3 Preguntas a expertos.....	22
7. Resultados y Discusión	
7.1 Uso actual y evolución reciente del uso de estabilizadores de N en maíz en Argentina.....	22
7.2 Jerarquización de opiniones de expertos.....	24
7.3 Adopción del uso de inhibidores de la ureasa y nitrificación en maíz la Argentina	
7.3.1 ¿Qué factores explicarían el uso diferencial de los distintos estabilizadores de N?.....	27
7.3.2 Perspectivas de uso de estabilizadores de N.....	29

7.3.3. El contexto global y su influencia en la adopción de fertilizantes nitrogenados y estabilizadores de nitrógeno en Argentina	31
8. Análisis FODA y estrategias derivadas	33
9. Conclusiones.....	36
10. Bibliografía.....	37
11. Anexo 1: Respuestas de expertos tal cual las dieron.....	40

1. Agradecimientos

A Profertil SA, por apostar siempre al conocimiento y crecimiento de sus empleados;

A Martín Torres Duggan, por aceptar ser mi director de este trabajo final integrador y guiarme en cada paso;

A mis hijos Simón y Lorenzo, por dejarme aprender a su lado cada día un poquito más;

Y en especial a mi compañera de vida Ane, quien me aguanta y apoya en cada objetivo que me propongo para mejorar...GRACIAS!!!

2. Abreviaturas, símbolos y acrónimos

MHas: millones de hectáreas

qq/ha: quintales por hectárea

MTn: millones de toneladas

N: nitrógeno

NO₃: nitratos

NH₃: amoníaco

N₂O: óxido nitroso

EUN: eficiencia uso del nitrógeno

NH₄: amonio

MPM: mejores prácticas de manejo

FEM: fertilizante de eficiencia mejorada

AAPFCO: Association of American Plant Food Control Officials

CRF: Fertilizantes de liberación controlada o Controlled-Release Fertilizers

SRF: Fertilizantes de liberación lenta o Slow-Release Fertilizers
SCU: Fertilizantes recubiertos con azufre o Sulfur-Coated Fertilizers
SNF: Fertilizantes nitrogenados estabilizados o Stabilized Nitrogen Fertilizers
UI: Inhibidores de la ureasa o Urease Inhibitors
NI: Inhibidores de la nitrificación o Nitrification Inhibitors
NCU: Ureas recubiertas de Neem o Neem Coated Urea
WSF: Fertilizantes solubles en agua o Water-Soluble Fertilizers
UAN: Nitrato de amonio y urea
IFA: international fertilizer association
NBPT: N-butyl-phosphorothioic triamide
NPPT: N-propyl-phosphorothioic triamide
ULC: ureas de liberación controlada
GEI: gases efecto invernadero
Kg: kilogramos
C: carbono
CO₂: dióxido de carbono
CO₂ eq: dióxido de carbono equivalente

3. Resumen

El maíz es uno de los cultivos de mayor importancia en la Argentina. El Nitrógeno es el principal nutriente que limita el rendimiento del maíz en la región pampeana, representando un nutriente fundamental para el logro de altos rendimientos. Sin embargo, este nitrógeno está sujeto a pérdidas. Hacia la atmósfera, que incluyen formas gaseosas como NH₃ y N₂O, o hacia las capas profundas del suelo como NO₃. Todas ellas representan un detrimento económico para los productores y una baja EUN (eficiencia utilización nitrógeno) con consecuencias ambientales negativas. Los SNF (Fertilizantes nitrogenados estabilizados o Stabilized Nitrogen Fertilizers) forman parte de las MPM (mejores prácticas de manejo) de los fertilizantes ya que pueden contribuir a una mejor EUN (eficiencia utilización nitrógeno) al reducir las pérdidas de nitrógeno por volatilización, lixiviación y desnitrificación. El mercado mundial de los FEM (fertilizantes eficiencia mejorada) es muy importante, siendo los SNF

(Fertilizantes nitrogenados estabilizados o Stabilized Nitrogen Fertilizers) los más utilizados con 7,4 MTn (millones de toneladas) de UI y 2,1 MTn (millones de toneladas) de NI. Estos inhibidores presentan no solo un beneficio agronómico directo (mayor rendimiento) sino también ambiental, mitigando las emisiones de GEI (gases efecto invernadero) y aumentando la captura de C de los suelos. Existen múltiples factores que inciden en la adopción de estos productos por parte de los productores agropecuarios. El objetivo del presente trabajo es analizar el panorama actual del mercado de SNF (Fertilizantes nitrogenados estabilizados o Stabilized Nitrogen Fertilizers) y sus perspectivas de adopción en el cultivo de maíz en la Argentina. El abordaje metodológico utilizado fue diverso, contemplando revisiones y antecedentes bibliográficos nacionales e internacionales, información de redes de experimentos locales y entrevistas personalizadas a profesionales nacionales e internacionales expertos en el tema. Si bien no existen relevamientos oficiales al respecto, en el mercado nacional se observa un aumento progresivo en la utilización de estos productos. Algunos factores locales desalientan la adopción de estas tecnologías: retenciones a los granos, la escasa aplicación de un marco legal en materia de conservación de suelos y la alta proporción de campos alquilados. En cuanto al panorama internacional, se destaca la elevada incertidumbre derivada de la situación bélica en Ucrania y sus consecuencias evidentes sobre el mercado de fertilizantes en particular. También existen factores que alientan su adopción como: mayor número de hectáreas sembradas de maíz en las últimas décadas, antecedentes locales de uso de UI (Inhibidores de la ureasa o Urease Inhibitors) en maíz con resultados favorables, incremento en la dosis de aplicación de nitrógeno, condiciones edafoclimáticas predisponentes a las pérdidas de nitrógeno fuera del sistema suelo-cultivo, crecimiento de planteos de maíz tardío donde se exploran condiciones ambientales predisponentes a las pérdidas de nitrógeno por volatilización, entre otras. Algunas de las conclusiones arribadas en este trabajo son: por distribución geográfica, nivel tecnológico utilizado y dosis de nitrógeno aplicada, las mayores perspectivas de uso estarían en zona maicera núcleo. Las perspectivas de uso serían medias en el norte del país, porque a pesar de que las dosis de nitrógeno y el nivel tecnológico usado son bajos, vienen aumentando progresivamente y además imperan temperaturas muy altas predisponentes para la volatilización del amoníaco (mayor uso de Inhibidores de la ureasa o Urease Inhibitors). En maíces tardíos o de segunda fecha de siembra, se ve un nicho muy favorable para los UI (Inhibidores de la ureasa o Urease

Inhibitors) por las condiciones predisponentes a las pérdidas de nitrógeno. Por último, destacar que los cambios en los precios de los fertilizantes, las relaciones de precios con los granos y los contextos climáticos adversos presentarán un considerable impacto en las decisiones de adopción de estas tecnologías por parte de los agricultores argentinos.

4. Introducción

4.1. - Importancia agronómica y ambiental del nitrógeno en el cultivo de maíz.

El maíz es uno de los cultivos de mayor importancia en la Argentina. El área nacional sembrada en la campaña 2021/2022 fue de 8,64 millones de hectáreas (MHAs), con un rinde promedio nacional de 68,8 quintales por hectárea (qq/ha), y una producción de 51 millones de Ton (MTn). Con ese volumen de granos, es el principal cultivo de la Argentina, superando a la soja cuya producción alcanzó 42,2 Mtn en la misma campaña (BCR, 2022).

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento del maíz en la Región Pampeana, representando un nutriente fundamental para el logro de altos rendimientos. Sin embargo, la recuperación aparente de N suele ser baja, en algunos casos no supera el 50% del N aplicado.

Este N está sujeto a pérdidas. Hacia la atmósfera, que incluyen formas gaseosas como NH_3 y N_2O , o hacia las capas profundas del suelo como NO_3 . Todas ellas representan un detrimento económico para los productores y una baja EUN con consecuencias ambientales negativas (Fig. 1)

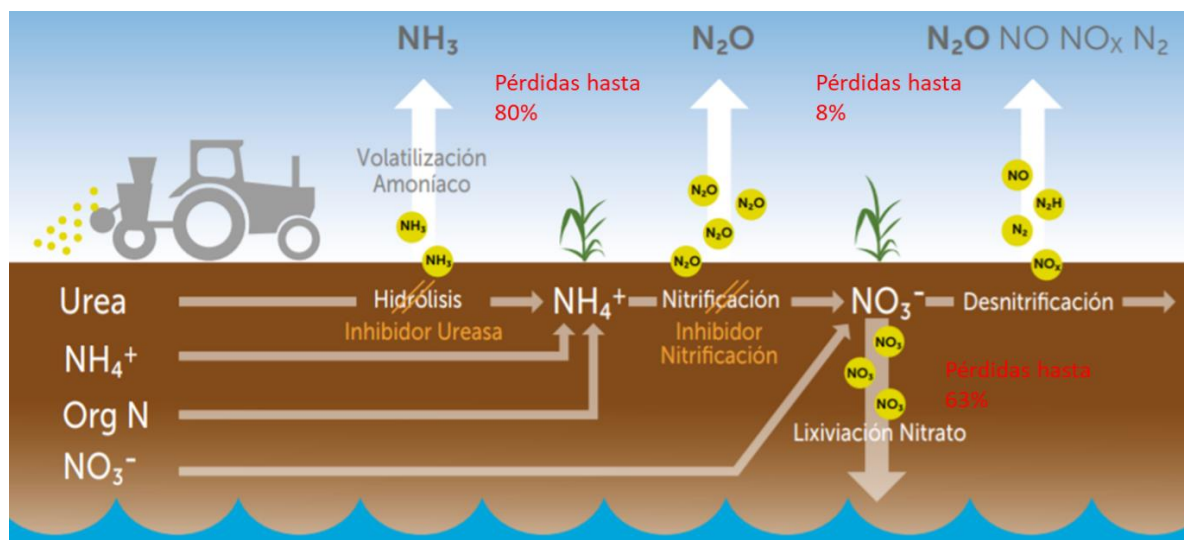


Fig. 1. Diferentes formas de pérdidas de nitrógeno cuando es aplicado al suelo de manera superficial por medio de fertilizantes. Fuente: Basf (Congreso Ifa Argentina Año 2018)

En la actualidad, la fertilización inicial con N se realiza en un periodo que va desde la emergencia del cultivo hasta el estadio de 4 a 6 hojas (V_4 - V_6), (Ritchie & Hanway, 1982) del maíz con el objetivo de sincronizar la oferta con la demanda del nutriente (Barbieri *et al.*, 2003; Bonelli *et al.*, 2017). Sin embargo, el incremento de temperatura del suelo en la medida que se demora el momento de aplicación favorecería las pérdidas por volatilización de NH_3 , disminuyendo la eficiencia de recuperación del fertilizante y, en consecuencia, el rendimiento del cultivo (Bonelli *et al.*, 2017). Las pérdidas globales de NH_3 en la agricultura y ganadería se estiman en 37 MTn de N (Sutton *et al.*, 2013).

La volatilización del NH_3 es un mecanismo que ocurre naturalmente en todos los suelos, por mineralización del N orgánico que produce amonio (NH_4), y éste podría fugarse en forma gaseosa si el pH del suelo es relativamente alcalino. No obstante, las pérdidas provenientes de fertilizantes químicos amoniacales como la urea (46-0-0), cuando son aplicados en superficie, son considerablemente mayores que las del suelo, siendo significativas desde el tercer día (Ferguson *et al.*, 1984; Hargrove *et al.*, 1988, Sainz Rosas *et al.*, 1997). Esta puede ser la principal causa de la baja EUN de dichos fertilizantes (Keller *et al.*, 1986; Fox *et al.*, 1993; Garcia *et al.*, 1999; Ferraris *et al.*, 2009). Sumado a esto, la urea es el principal fertilizante nitrogenado utilizado a nivel mundial, representando en el año 2018/2019 el 55% de la industria global (IFA, 2021).

Los fertilizantes nitrogenados estabilizados forman parte de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de los fertilizantes ya que pueden contribuir a una mejor EUN al reducir las pérdidas de N por volatilización, lixiviación y desnitrificación.

4.2. ¿Qué son los fertilizantes de eficiencia mejorada y cuál es su uso a nivel mundial?

Los Fertilizantes de eficiencia mejorada (**FEM**) son todos aquellos que modifican la liberación de nutrientes de los fertilizantes minerales. Otra definición de FEM, según la Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO) de los Estados Unidos refiere que los FEM son “fertilizantes con características que permiten un incremento en la absorción de nutrientes por parte de las plantas y reducen el potencial de pérdidas al ambiente, en comparación con productos de referencia”.

Los FEM se pueden clasificar en:

- . **Fertilizantes de liberación controlada (CRF** por sus siglas en inglés, Controlled-Release Fertilizers): a base de urea (así como algunos multinutrientes). Fertilizantes que están físicamente recubiertos con un polímero o una membrana de polímero-azufre que controla la liberación de nutrientes de acuerdo con los requerimientos de las plantas en diferentes etapas de crecimiento. Esta liberación puede durar semanas a meses.

- . **Fertilizantes de liberación lenta (SRF** por sus siglas en inglés, Slow-Release Fertilizers): son formas químicas condensadas de urea (por ejemplo, urea formaldehído, isobutileno urea, urea triazona) que se biodegradan o hidrolizan lentamente, permitiendo una liberación más lenta de los nutrientes disponibles para las plantas durante semanas o meses.

- . **Ureas recubiertas con azufre elemental (SCU** por sus siglas en inglés, Sulfur-Coated Urea): ureas recubiertas con azufre elemental que proporcionan una liberación de nutrientes durante varias semanas.

. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados (SNF** por sus siglas en inglés, Stabilized Nitrogen Fertilizers): son fertilizantes nitrogenados, a los que se les añaden sustancias específicas para inhibir o ralentizar la transformación biológica de las formas de N (urea y / o amonio) en el suelo, reduciendo así las pérdidas de N y mejorando la disponibilidad de nutrientes. Existen 2 tipos:

- **Inhibidores de la ureasa (UI** por sus siglas en inglés, Urease Inhibitors) que ralentizan la hidrólisis de urea por la enzima ureasa para disminuir las pérdidas de N a través de la volatilización del NH_3
- **Inhibidores de la nitrificación (NI** por sus siglas en inglés, Nitrification Inhibitors) que ralentizan la oxidación biológica de N-amonio a N-nitrato para reducir las pérdidas de N a través de la lixiviación de NO_3 y las emisiones de N_2O .

. **Ureas recubiertas con Neem (NCU** por sus siglas en inglés, Neem Coated Urea): es urea que la recubren con aceite de neem que ralentiza el proceso de nitrificación. Este producto es obligatorio para la aplicación directa de urea en algunos países (Ej.: India).

. **Fertilizantes hidrosolubles (WSF** por sus siglas en inglés, Water-Soluble Fertilizers): son fertilizantes sólidos que presentan alta solubilidad en agua y por consiguiente se los utiliza en fertirriego, riego por goteo y/o fertilización foliar. Ej.: sulfato y nitrato de potasio, fosfato mono potásico, nitrato de calcio, etc.

De acuerdo con un relevamiento llevado a cabo por RAMS & Co en el 2016 y presentado por la International Fertilizer Association (IFA, 2016), se estima que la demanda mundial actual de FEM:

- ▶ alcanzaría las 17,2 MTn
- ▶ proporcionaría 7,9 MTn de nutrientes ($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$). El 4,3% del total de nutrientes suministrados por la industria del fertilizante.
- ▶ representaría 8,6 mil millones de dólares. El 7,1% de los ingresos totales de la industria del fertilizante.

Por categorías de productos dentro de los FEM, los **SNF** son lo más utilizados a nivel mundial con 9,5 Mtn totales, constituidos por 7,4 Mtn de **UI** y 2,1 Mtn de **NI**. Si lo vemos por nutrientes,

el 6,1 % del N total (es decir 6,3 Mtn N) es aplicado con productos especiales, principalmente SNF, constituidos por un 49% de **UI** y un 23% de **NI**. (ver Fig. 2).

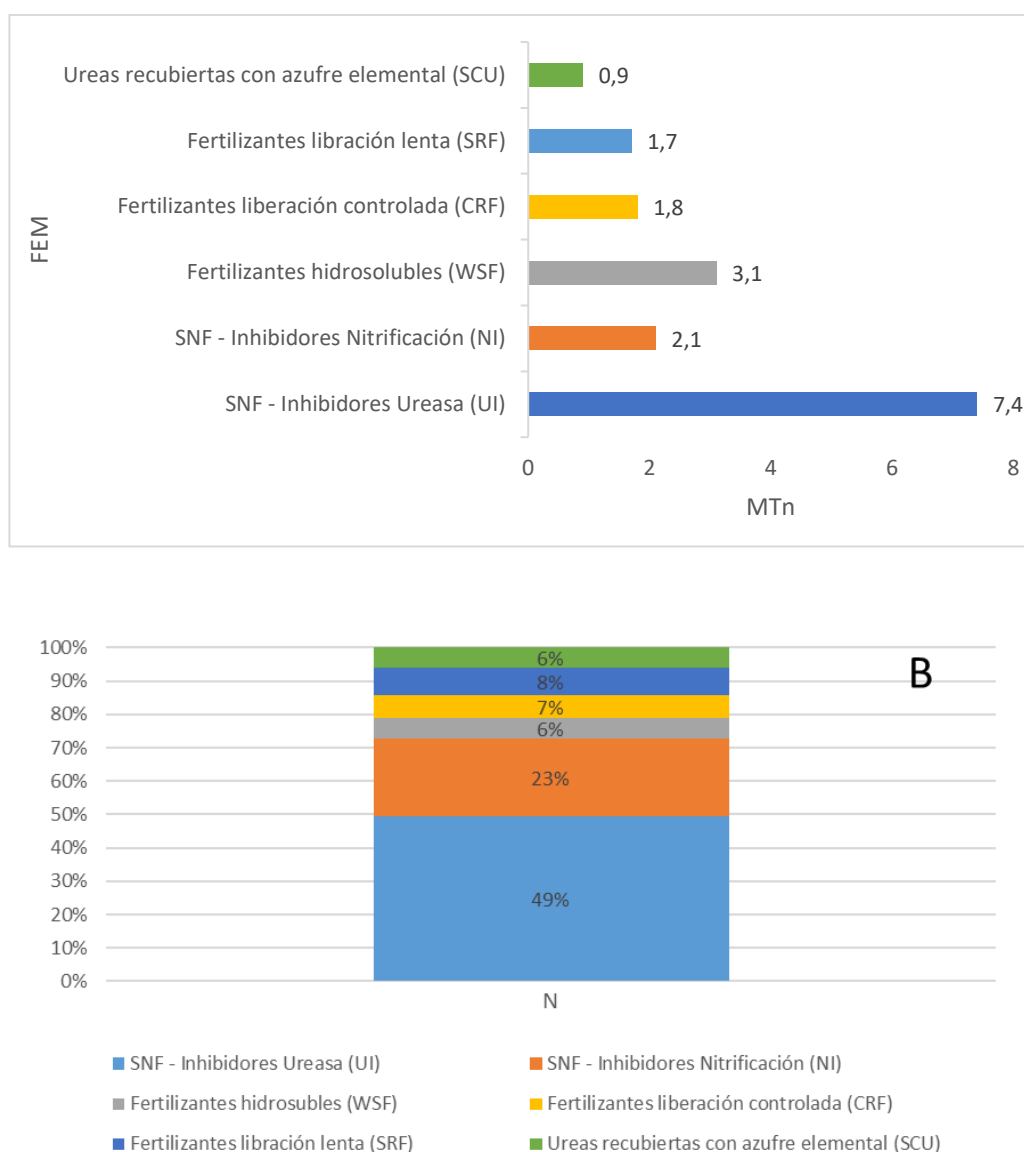


Fig.2. A. Participación del mercado global de fertilizantes de eficiencia mejorada (FEM) según categoría de producto en millones de toneladas. B. Demanda de fertilizantes de eficiencia mejorada (FEM) según nutriente en millones de toneladas y el porcentaje que ocupa cada categoría de producto. SNF: fertilizantes nitrogenados estabilizados. WSF: fertilizantes hidrosolubles. CRF: fertilizantes liberación controlada. SRF: fertilizantes liberación lenta. SCU: fertilizantes cubiertos de azufre. Fuente: Propia. Adaptado de IFA-RAMD&Co Año 2016.

La demanda de **SNF** está dominada por América del Norte, donde los inhibidores se han utilizado por más de 40 años, luego lo sigue Asia Oriental (China), América del Sur (Brasil) y Europa (Fig. 3).

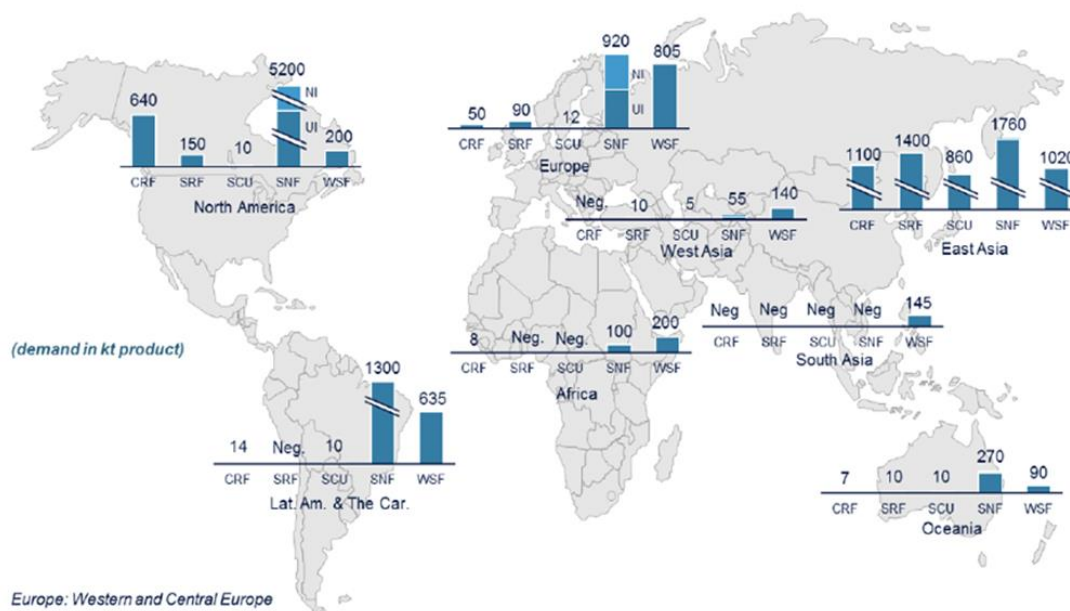


Fig. 3. Patrones de demanda mundial por regiones de fertilizantes de eficiencia mejorada (FEM). Fuente: IFA-RAMS&Co. Año 2016.

Los **NI** más importantes en términos de volumen e historia de uso se muestran en la Tabla 1. Las nitrapirinas son de los más importante y más del 90% de ellas son aplicadas al cultivo de maíz. Existen en el mercado nuevas formulaciones microgranuladas (Ej.: Instinct de Corteva agrosociencia) que tiene como ventaja menor volatilidad del ingrediente activo una vez aplicada al suelo, mayor miscibilidad con fertilizantes líquidos y la posibilidad de ser utilizada para impregnación de fertilizantes granulados.

Tabla. 1. Descripción de los inhibidores de la nitrificación más usados en el mundo.

Nombre Genérico	Nombre Comercial	Nombre Químico	Desarrollador	Mayor uso
NITRAPYRINAS	N-serve	2-cloro-6-triclorometilpiridina	Corteva Agriscience	EEUU
	Instinct			EEUU - Canadá - Argentina
	N-Lock			Europa
	N-Trench			China
DCD		diciandiamida	Showa Denko	Europa Occidental
DMPP		Fosfato 3,4-dimetilpirazol	Basf	Europa
PRONITRIDINA	Proditridine		Koch Agronomic Service	Mundo

Fuente: elaboración propia, adaptado de Trenkel (2010) y Weber y McCann (2015).

El principal UI utilizado en el mundo en cultivos extensivos como maíz es el N-butyl-phosphorothioic triamid (NBPT). Uno de los productos comerciales más conocidos es el Agrotain® de la empresa Koch Agronomic Services. Este inhibidor también se comercializa en mezcla con el DCD (nombre comercial Agrotain Plus); en cambio en China, el UI más utilizado es la Hidroquinona.

El Limus® de Basf es una mezcla de N-butyl-phosphorothioic triamid + N-propyl-phosphorothioic triamide (NBPT + NPPT) que viene creciendo considerablemente en el mercado (Tabla 2).

Tabla. 2. Descripción de los inhibidores de la volatilización de la urea más usados en el Mundo.

Nombre Genérico	Nombre Comercial	Nombre Químico	Desarrollador	Mayor uso
NBPT	Agrotain	n-butil-triamida tiofosfórica	Koch	Mundo
NBPT + DCD	Agrotain Plus		Koch Agronomic Service	Mundo
NBPT + DUROMIDE	Anvol		Koch Agronomic Service	Mundo
NBPT + NPPT	Limus	n-butil-triamida tiofosfórica + triamidas N-fenilfosfóricas (2-NPT)	Basf	Europa
HIDROQUINONA	Hidroquinona			China

Fuente: elaboración propia, adaptado de Trenkel (2010) y Webber y McCann (2015).

El desarrollo más reciente en el mercado global de SNF, es el lanzamiento que hizo la firma Koch Agronomic Services en la campaña 2020-2021, una nueva generación de **NI** para tratar formulaciones líquidas de fertilizantes de nitrato de amonio y urea (UAN) cuyo ingrediente activo es la **Pronitridina** (Tabla 1). Y en cuanto a **UI**, desarrolló un producto comercial llamado Anvol cuyo principio activo es **NBPT + Duromide** (Tabla 2). Ambos inhibidores muestran una eficiencia agronómica superior a los inhibidores clásicos y por ende aumentan la estabilidad de la formulación tanto en condiciones de almacenamiento como en el suelo, aumentando la ventana de aplicación.

4.3 Revisiones internacionales del impacto de los fertilizantes nitrogenados estabilizados (UI y NI) sobre el rendimiento de los cultivos de grano y la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI).

Está comprobado que el uso de los SNF puede reducir las emisiones de N_2O y mejorar la EUN en la producción de cereales. Hay numerosos estudios que avalan la eficiencia de estos productos en reducir las emisiones de N_2O , las cuales, dependen de su modo de acción, características del suelo, condiciones ambientales y factores de manejo. Por ejemplo, en algunos estudios estos fertilizantes redujeron la emisión de N_2O entre un 14 a 61% comparado con fertilizantes convencionales (Halvorson et al., 2014), mientras otros no mostraron efecto. En un meta análisis realizado por Thapa et al., 2016, se observó que el uso de **UI** en el cultivo de maíz, redujo significativamente las emisiones de N_2O si lo comparamos con fertilizantes nitrogenados convencionales, siendo esta reducción de un 36% promedio (variando entre 17 y 55%).

En cuanto a la efectividad de **NI**, Thapa et al. (2016) en su conclusión señalaron que la misma varía según el tipo de cereal. Así, se evaluaron 3 cultivos (maíz, trigo y arroz), siendo el maíz donde se detectaron las mayores eficiencias, con una reducción en las emisiones del N_2O del 51% en promedio (variando entre 42 y 61%), luego el trigo (promedio: 30%, 24 a 36%) y por último el arroz (promedio: 27%. 18 a 37%). Esto indica que los NI pueden reducir las emisiones de N_2O más efectivamente en aquellos sistemas de cultivos que demandan más N.

En este estudio, también se observó que la eficiencia de los NI variaba con el principio activo. El DCD y el DMPP reducen las emisiones de N₂O e incrementan el rendimiento cuando se comparan con los fertilizantes convencionales. Por otro lado, el Nitrapyrin reduce la emisión de N₂O por 43% promedio (27 a 54%), pero el efecto sobre el rendimiento fue moderado (promedio 3,2%; 7,9 a 11%). Finalmente se concluyó que el DMPP es el NI que más efectividad tuvo, lo cual puede deberse a que tiene una movilidad similar al amonio (NH₄) en el suelo. En contraste, la movilidad del DCD es más alta y la del Nitrapyrin más baja (Fig. 5)

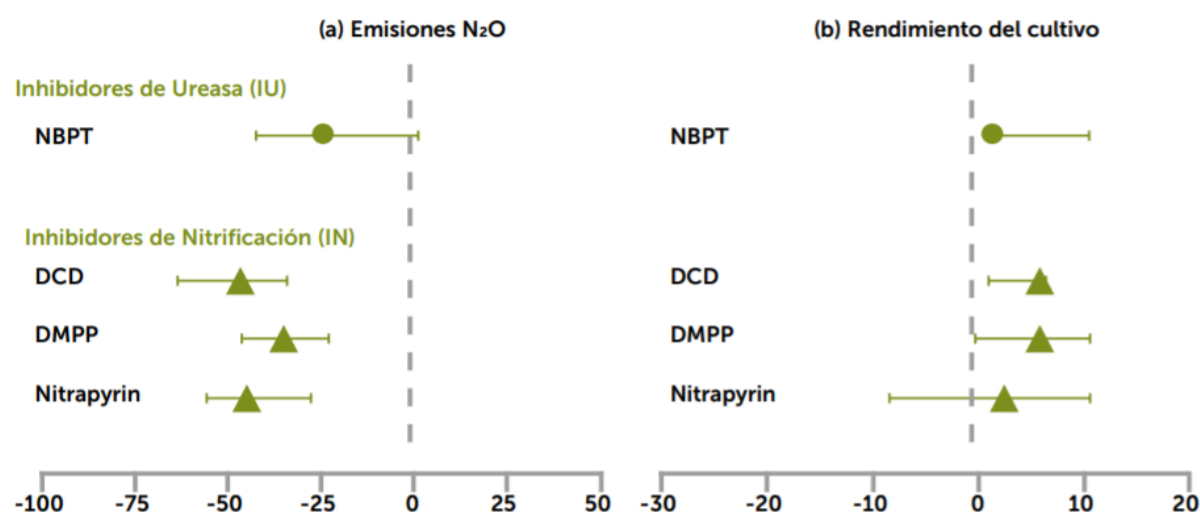


Fig. 5. Efecto individual en porcentaje (%) de la eficiencia de uso de los fertilizantes estabilizados versus los convencionales, sobre a) las emisiones de óxido nitroso (N₂O) y b) rendimiento del cultivo. Fuente: Thapa et al., 2016.

4.4 Información local del uso de estos inhibidores en el cultivo de maíz.

La capacidad que tienen los FEM de aumentar los rendimientos de los cultivos, reducir las GEI y aumentar la captura de carbono de los suelos, presentan no solo un beneficio agronómico directo (mayor rendimiento y rentabilidad) sino también ambiental, a través de la mitigación de las emisiones de GEI. Estos efectos se evaluaron en 118 ensayos a campo en maíz durante 16 años (campañas 2005/06 al 2019/20) en 62 localidades diferentes (Fig. 6 Profertil, 2020).

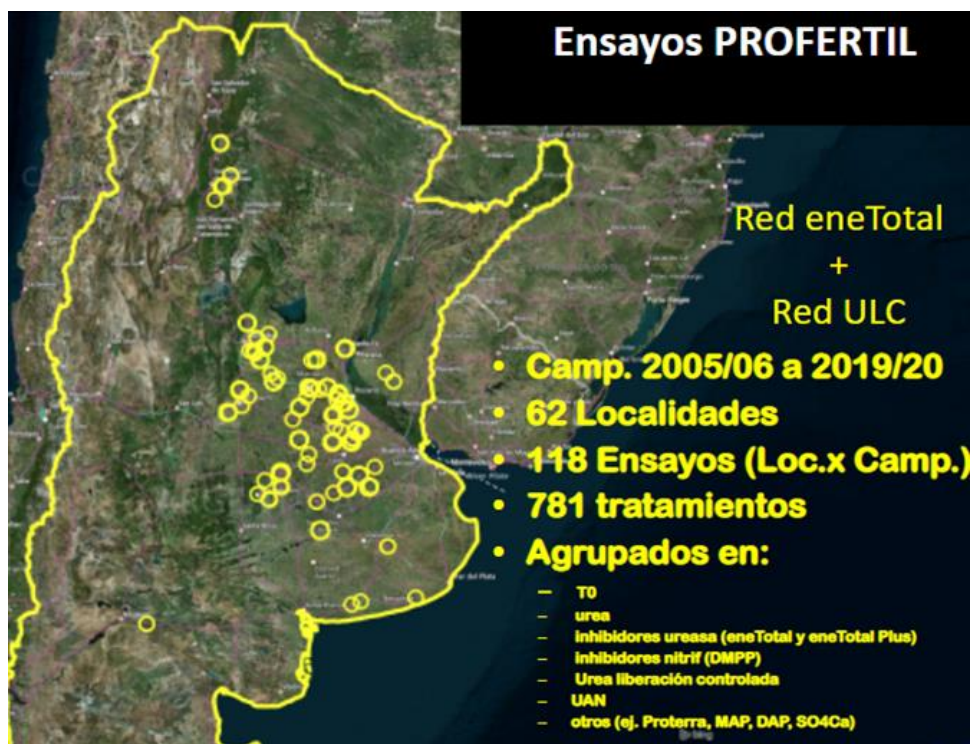


Fig. 6. Campañas, localidades y tratamientos donde se llevó a cabo el estudio de evaluación del uso de inhibidores de la ureasa y de la nitrificación en maíz. Fuente: Profertil 2020

En estos ensayos, en donde se observó una respuesta positiva en el 67% de los sitios y un aumento de rendimiento promedio de 640 kg de maíz/ha, se redujo en un 30% las emisiones netas de GEI (kg CO₂ eq/ha año) (Fig. 7) y aumentó en un 40% la eficiencia de los FEM respecto de la urea (kg grano producido/kg CO₂ eq emitido) (Fig. 8). Asimismo, en base al uso de modelos como el Roth C y el AMG se pudo simular que los tratamientos que incluyeron los FEM, debido a las mejoras en los rendimientos, aumentaron el secuestro de carbono (C) del suelo.

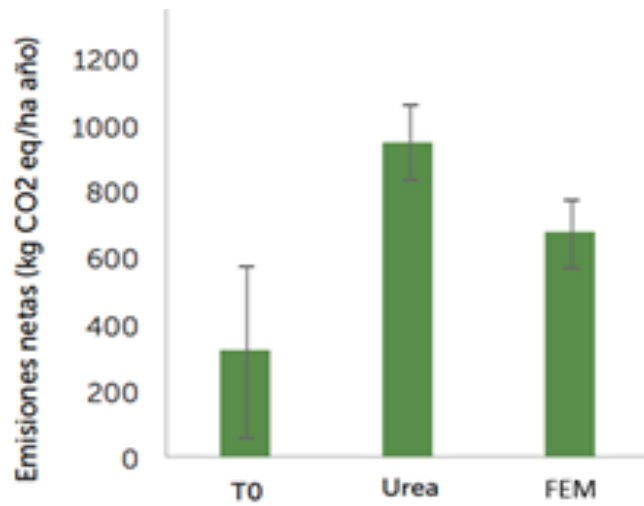


Fig. 7. Comparación de emisiones netas de gases efecto invernadero en distintos tratamientos a campo de productos nitrogenados expresados en kilos de dióxido de carbono equivalente por hectarea año. Fuente: Profertil 2020.

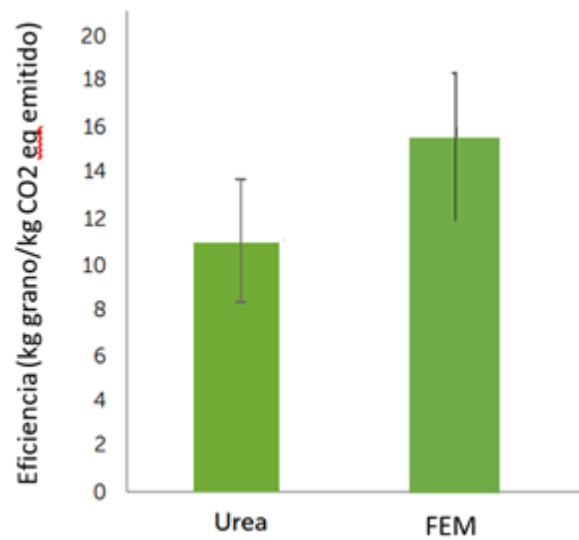


Fig. 8. Comparación de la eficiencia en distintos tratamientos a campo de productos nitrogenados expresada en kilos de grano de maíz por kilo de dióxido de carbono emitidos. Fuente: Profertil 2020.

Al desglosar las emisiones totales de GEI según el tipo de FEM, se evidenció que las mayores reducciones respecto a la urea granulada (testigo) ocurrieron con los NI (24%) seguidos de los UI y las ureas de liberación controlada (ULC) con reducciones de 21% y 9%, respectivamente (Fig. 9).

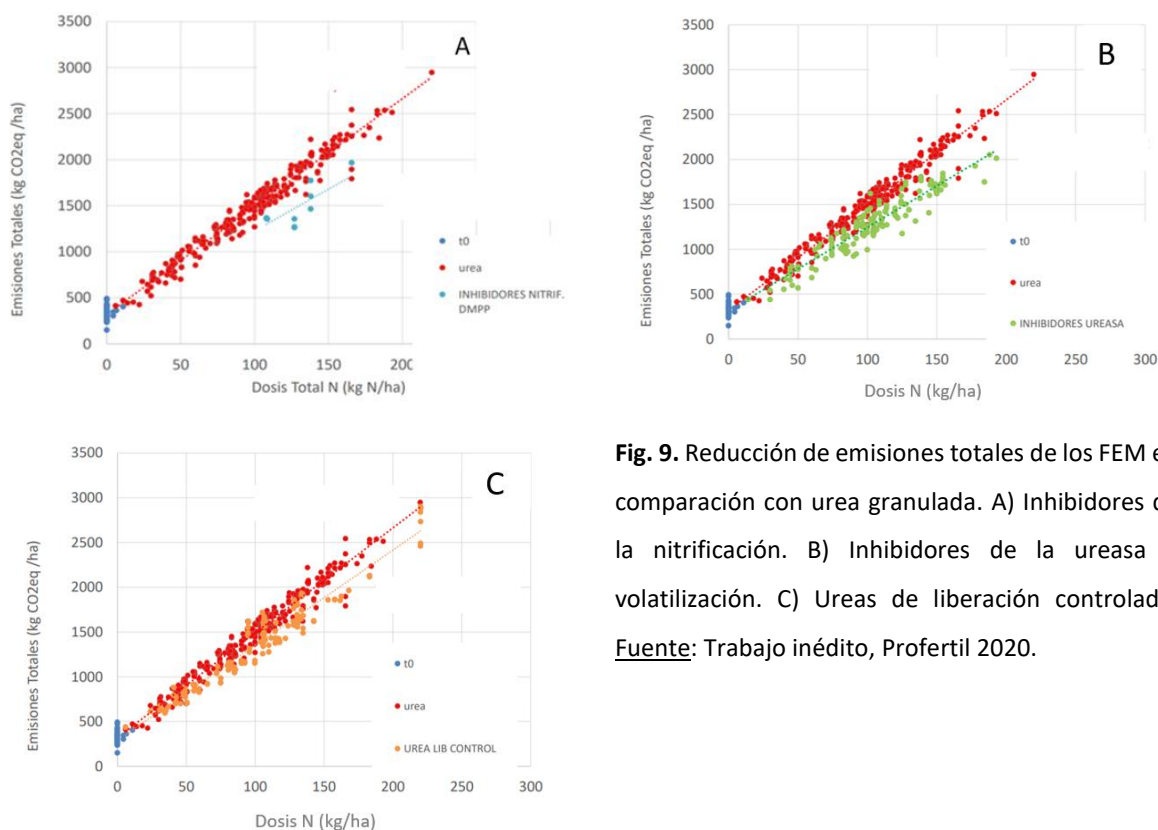


Fig. 9. Reducción de emisiones totales de los FEM en comparación con urea granulada. A) Inhibidores de la nitrificación. B) Inhibidores de la ureasa o volatilización. C) Ureas de liberación controlada. Fuente: Trabajo inédito, Profertil 2020.

Debido a la relevancia creciente que tiene la reducción de emisiones de GEI y el secuestro de C de los suelos como estrategia de mitigación del cambio climático, la utilización de SNF se los debe considerar, no solo como tecnologías que mejoran o pueden mejorar la productividad (“tecnologías de insumo”), sino también como “eco innovaciones”, es decir, herramientas para mejorar los stocks de C del suelo. Posiblemente en el futuro cercano estas tecnologías tengan mayor adopción a medida que se consideren en las certificaciones ambientales internacionales para otorgar créditos de C asociadas con el manejo de sistemas productivos en el marco de una agricultura intensificada sustentable.

4.5 Factores que inciden en la adopción del uso de estabilizadores de nitrógeno

Si bien el precio de los FEM sigue siendo el principal atributo de interés comercial para evaluar las posibilidades de adopción de cualquier fertilizante especial (“specialty fertilizer”) en cultivos extensivos, la adopción tecnológica es un proceso complejo que depende de diversos factores como tamaño de los campos, fluctuaciones en los precios de los granos y agro-insumos, logística, edad y nivel de educación del productor, región geográfica, entre otros. En el caso particular de las “eco-innovaciones” (donde se podrían ubicar a los SNF), la percepción del productor y asesor en cuanto a implicancias ambientales, como así también el acceso a la información y el uso de redes sociales, aumentarían la probabilidad de adopción de esta tecnología.

De acuerdo con un extenso relevamiento realizado a partir de encuestas a 1840 productores de maíz del Midwest de EE. UU por Weber & McCann en 2016, existen algunos factores claves que predicen la adopción del uso de NI en este cultivo:

- ✓ Utilización de sistemas de siembra directa y otras prácticas de conservación de suelos (sobre todo cuando hay incentivos gubernamentales para su uso)
- ✓ Utilización de riego
- ✓ Fertilización variable de N
- ✓ Uso de pre-tratamiento de semillas con fito-terápicos
- ✓ Uso de tecnologías de sensoramiento remoto

Asímismo, el estudio mencionado previamente indica que el 10% de los productores de maíz del Midwest (donde se localiza la mayor proporción del maíz sembrado en EE. UU), aplican regularmente NI. Así, (Bierman et al. 2012), a partir del análisis de datos de 7000 productores de maíz de Minnesota, reportaron que la proporción de uso del N-Serve (Nitrpyrina) en aplicaciones de otoño junto con el N anhidro variaron desde el 51,1% en la región central del sur al 6,6% en el sudoeste y oeste, siendo este patrón consistente con las mayores precipitaciones y el mayor potencial de lixiviación de nitratos en la región central del sur. Por su parte, Grant y col. 1996, concluyeron que los beneficios máximos del uso de NBPT pueden esperarse donde el potencial de rendimiento de los cultivos es alto, los niveles de N del suelo

son bajos y las condiciones ambientales promueven grandes pérdidas de N por volatilización. Las condiciones ambientales no pueden predecirse con antelación y eficazmente, por eso los inhibidores muchas veces son usados como un “seguro”.

Según información inédita, en el 50% de la superficie de maíz de los EE.UU. se usan SNF, de éstos, el 50% corresponden a UI y el otro 50% a NI.

5. Objetivos e hipótesis

5.1 Objetivo general

El propósito de este trabajo es analizar el panorama actual del mercado de estabilizadores de nitrógeno y sus perspectivas de adopción en el cultivo de maíz en la Argentina.

5.2 Objetivos específicos

(i) Analizar el mercado argentino de inhibidores de la ureasa (UI) e inhibidores de la nitrificación (NI).

(ii) Discutir la adopción diferencial de los UI e NI y las perspectivas de utilización de estos estabilizadores de nitrógeno en el cultivo de maíz en la Región Pampeana.

5.3 Hipótesis y predicciones

Se postuló como hipótesis que el principal determinante de la adopción de los estabilizadores de N se relaciona con la magnitud y tipo de impacto, ya sea sobre rendimiento en UI o la mitigación de emisiones de GEI en NI. La predicción derivada es que, los agricultores adoptarán estabilizadores de N con claros efectos positivos sobre el rendimiento por sobre las tecnologías con mayores impactos sobre la mitigación de GEI, excepto que estas últimas sean de rentabilidad adecuada.

6. Metodología

6.1 Abordaje metodológico

Los métodos utilizados para dar respuestas a los objetivos fueron:

- (i) Revisión de antecedentes bibliográficos, sobre todo metaanálisis y revisiones, tanto a escala nacional como internacional. En la tabla 3 se presentan los antecedentes publicados del tema, los autores, país y año de publicación.

Tabla. 3. Resumen de trabajos de revisión bibliográfica.

Trabajo	Autor	País	Año
Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno	Barbieri, P.A.; Echeverría, H.E. & Sainz Rozas, H.	Argentina	2003
Legislación sobre uso y conservación de suelos en Argentina: ¿vacío legal?	Abruzky, N.; Torres Duggan, M.	Argentina	2013
Fuente y momento de aplicación de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en Balcarce.	Bonelli, L.E.; Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.; Barbieri, P.	Argentina	2017
Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity.	Ferguson, R.B.; Kissel, D.E.; Koelliker, J.K.; Basel, W.	EEUU	1984
Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores.	Ferraris, G.N.; Couretot, L.A.; Toribio, M.	Argentina	2009
Mercado argentino de fertilizantes especiales.	Fertilizar AC	Argentina	2021
Management and urease inhibitor effect on nitrogen use efficiency in no-till corn.	Fox, R.H.; Piekielek, W.P	EEUU	1993
Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina.	Garcia, F.O.; Fabrizzi, K.P.; Picone, L.I.; Justel, J.F.	Chile	1999
Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation.	Halvorson, A.D., Snyder, C.S.; Blaylock, A.D. and Del Grosso, S.J.	EEUU	2013
Soil, Environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions.	Hargrove, W. L.	EEUU	1988

Assessment of the Global Market for Slow-and Controlled-Release, Stabilized and Water-Soluble Fertilizers in 2016.	IFA International Fertilizer Association–RAMS & Co,	Francia	2016
Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn.	Keller, G.D.; Mengel, D.B.	EEUU	1986
Slow-and Controlled Release and Stabilized Fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture.	M.E Trenkel,	Francia	2010
Boletines técnicos N° 29 y 30.	Departamento técnico I+D Profertil SA	Argentina	2020
How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology.	Ritchie, S.W. & Hanway, J.J.	EEUU	1982
Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa.	Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.E.; Studdert, G.A.; Andrade, F.H.	Argentina	1997
Our Nutrient World: the challenge to produce more food and energy with less pollution.	Sutton, M.A.; Bleeker, A.; Howard, C.M.; Bekunda, M; Grizzetti, B.; de Vries, W.	Escocia	2013
Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions and crop yields: a meta-analysis.	Thapa	EEUU	2016
Mejora de la eficiencia del uso de nitrógeno en los sistemas de producción de cultivos y ganado. Adopción de tecnologías eficientes en nitrógeno por los productores de maíz de EE.UU.	Weber y McCann,	EEUU	2015

- (ii) Análisis de la información de redes de experimentos llevados a cabo por el área de I&D de Profertil SA
- (iii) Entrevistas a expertos utilizando un cuestionario estructurado.
- (iv) Análisis FODA y estrategias derivadas.

El análisis FODA es una técnica que se utiliza para identificar las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas de un proyecto, de un negocio o de una situación en particular. Por lo general se usa muchísimo en pequeñas empresas, organizaciones sin fines de lucro, empresas grandes y otras organizaciones, pero también se puede aplicar tanto con fines profesionales como personales. En resumen, es una herramienta simple y, a la vez potente que ayuda a identificar las oportunidades competitivas de mejora (Asana, 2021).

6.2 Indagación de datos de mercado

Para el estudio del mercado global y sus usos en los distintos países, se utilizó la evaluación presentada por IFA en el año 2016, la cual fue realizada por la firma RAMS & Co.

En lo que respecta al mercado nacional de estabilizadores, se utilizó la base de datos (Blackbox) de fertilizantes especiales provisto por Fertilizar AC (datos que no son públicos). Si bien esta base de datos no representa el verdadero tamaño del mercado debido a que hay empresas que operan en el mercado de estabilizadores de N y no están afiliadas a Fertilizar AC o no presentan los datos para este estudio, esta fuente de información resulta muy efectiva para estudiar cambios en el patrón temporal de consumo de estos productos, proxy relevante de la adopción de los estabilizadores de N en el ámbito argentino.

6.3 Cuestionario a expertos

A continuación, se detallan las preguntas que se les hicieron a los expertos:

- 1) *¿Qué factores inciden en la adopción del uso de los SNF (estabilizadores de N) tanto en los inhibidores de la ureasa (UI) como de la nitrificación (NI)?*
- 2) *¿Cuáles son las perspectivas de utilización de los UI e NI a nivel nacional e internacional para el corto, mediano y largo plazo?*
- 3) *¿Cómo inciden y podrían incidir en el futuro las tendencias globales relacionadas con el ambiente y la sustentabilidad (Ej. bonos de carbono, subsidios gubernamentales, etc.) sobre la adopción de los SNF a escala de agro-ecosistema? ¿Cómo impactarían en América del Sur y en Argentina?*

Los expertos consultados fueron:

- Ing. Agr. Dr. Fernando. O. Garcia (Consultor privado y docente en UIB)
- Ing. Agr. Dr. Miguel A. Taboada (FAUBA, CONICET y Carbon Group Agro Climatic Solutios)
- Ing. Agr. Dr. Guillermo Peralta (Consultor privado, Carbon Group Agro Climatic Solutions y FAO)
- Ing. Agr. Matias Ruffo (Koch Agronomic Services)

- Ing. Agr. Dr. Raúl S. Lavado (FAUBA y CONICET)
- Ing. Agr. Dr. Nahuel Reussi Calvo (UIB y CONICET)
- Ing. Agr. Dr. Fernando Salvagiotti (INTA Oliveros)
- Ing. Agr. Martín Sofler Inglesi (Bioline Invivo – Francia)
- Ing. Agr. Cesar Quintero (FCA de la UNER)

7. Resultados y Discusión

7.1 Uso actual y evolución reciente del uso de estabilizadores de N en maíz en Argentina.

Cabe destacar que, no existen relevamientos oficiales (i.e. públicos) que analicen la adopción de estas tecnologías en la Argentina. Así, en base a las estadísticas de Fertilizar AC basado en los datos aportados por las empresas asociadas, se observa un aumento progresivo en la utilización de los SNF (Fig. 10).



Fig. 10. Mercado argentino de estabilizadores de nitrógeno en cultivos extensivos. Fuente: Fertilizar AC. Año 2022.

A partir de 2019 se observó un vaivén en el consumo de FEM, que habrá que seguir analizando a futuro para ver si se debe a un cambio coyuntural o de un cambio de tendencia. Cabe aclarar

que solo se incluyó información de UI, ya que en el período estudiado (2015-2021), no existían NI de uso comercial.

7.2 Jerarquización de opiniones de expertos.

En la metodología de las opiniones de expertos, muchas de ellas se repetían, por lo que se decidió agruparlas y darle un puntaje asociado a su frecuencia o jerarquía relativa.

1) ¿Qué factores inciden en la adopción del uso de los SNF, tanto en los inhibidores de la ureasa (UI) como de la nitrificación (NI)?

Como se aprecia en la Fig. 11, el diferencial de precios respecto a los fertilizantes commodities y el conocimiento que tienen los productores y/o técnicos de estos productos sobre el rendimiento diferencial y la disminución de emisiones de GEI, fueron las opiniones más frecuentes mencionadas por los expertos.

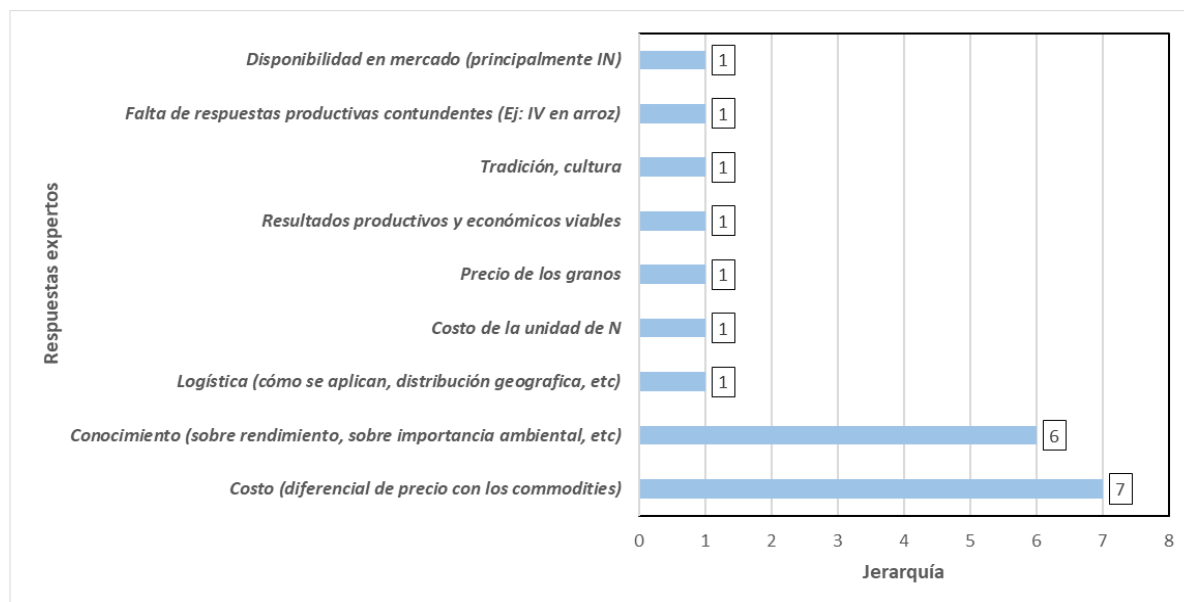
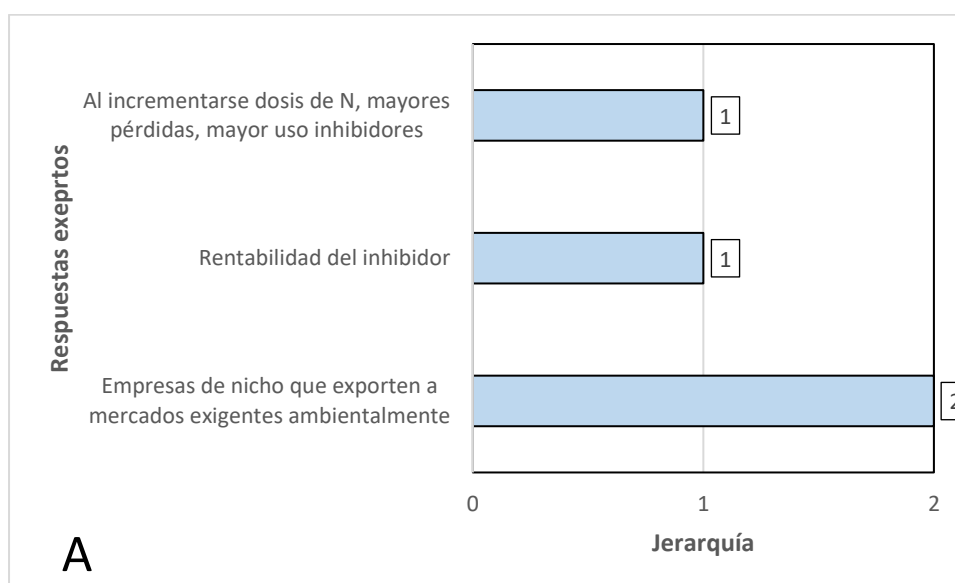


Fig. 11. Jerarquización de opiniones de expertos – Factores que inciden en la adopción del uso de los estabilizadores de nitrógeno. Fuente: elaboración propia. 2021

2) ¿Cuáles son las perspectivas de utilización de los UI e NI a nivel nacional e internacional para el corto, mediano y largo plazo?

Si bien la mayoría de los expertos no disponían de estadísticas de consumo de este tipo de tecnologías, resaltaron que, la adopción de éstas será mayor a escala internacional que local, debido a dos factores. Por un lado, tienen una mayor preocupación por las emisiones de GEI y el cuidado del medioambiente que nuestro país. Por otro lado, tanto Europa, EE. UU como Asia, utilizan una mayor dosis de N (sobre - fertilizan), por ende, tienen mayores pérdidas de N y contaminación que los conduce a un mayor uso de estos inhibidores. De todos modos, las perspectivas de uso a nivel nacional son buenas y dependerán de varios factores como: exigencias de los mercados internacionales a los cuáles exportemos, cuánto valoricemos la ventaja ambiental que conllevan, políticas gubernamentales como subsidios, iniciativas privadas como Bonos de Carbono, etc. (Fig. 12)



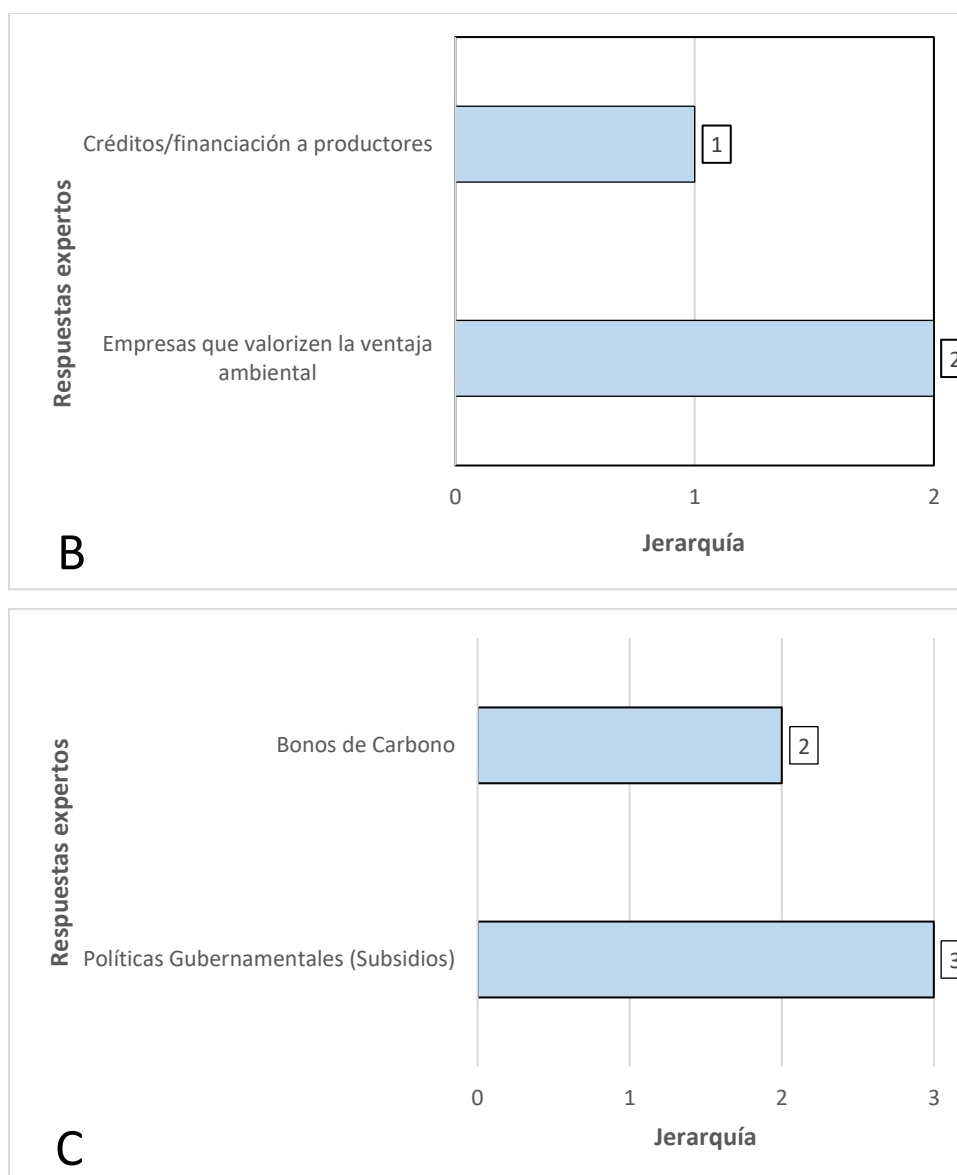


Fig. 12. Jerarquización de opiniones de expertos. Perspectivas de utilización de estabilizadores de nitrógeno. Nota: A) corto plazo. B) mediano plazo. C) largo plazo. Fuente: elaboración propia. 2021

3) ¿Cómo inciden y podrían incidir en el futuro las tendencias globales relacionadas con el ambiente y la sustentabilidad (Ej. bonos de carbono, subsidios gubernamentales, etc.) sobre la adopción de los SNF a escala de agro-ecosistema? ¿Cómo impactarían en América del Sur y en Argentina?

Según las opiniones de los expertos, las tendencias globales relacionadas con el ambiente y la sustentabilidad van a hacer fundamentales para el crecimiento de estos inhibidores, tanto las privadas (Ej. bonos de Carbono) como las públicas (subsidios). A éstas, hay que sumarles

esta tendencia y presión global de la gente común que exige cada vez más que le demuestren que los alimentos que comen se hacen con el menor impacto posible (regulaciones del propio mercado) (Fig. 13).

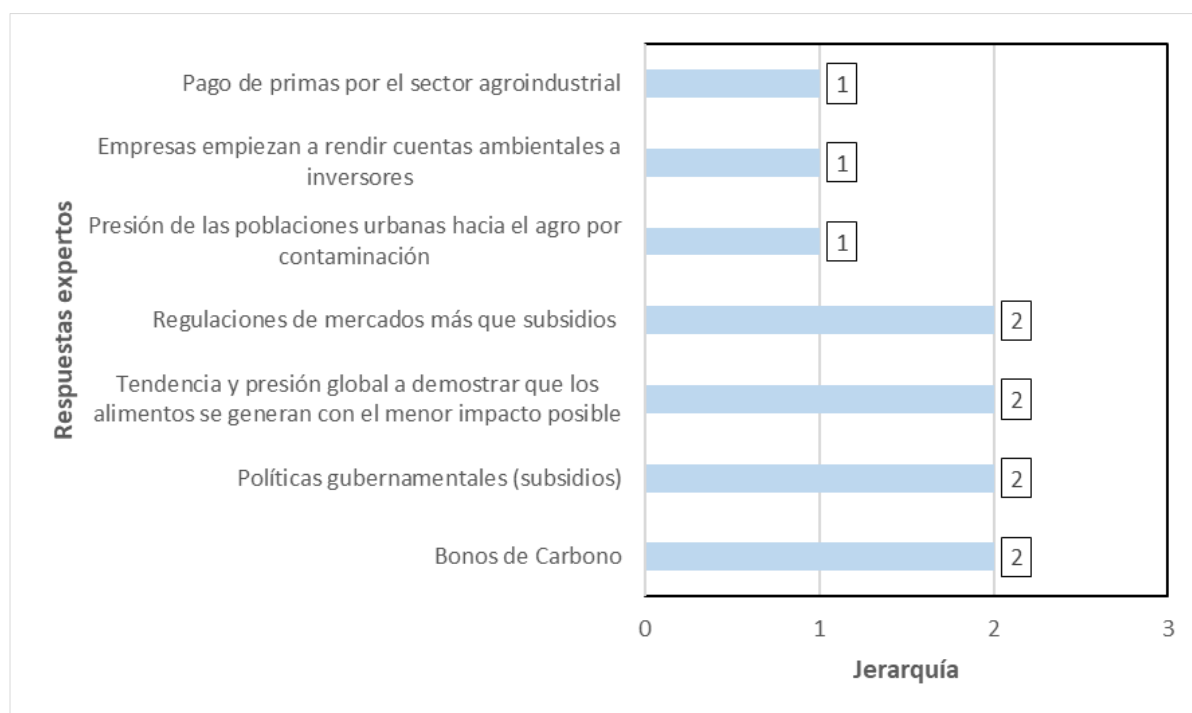


Fig. 13. Jerarquización de opiniones de expertos. Tendencias globales futuras relacionadas con el medio ambiente y la sustentabilidad que podrían incidir en el uso y la adopción de los estabilizadores de nitrógeno.

Fuente: elaboración propia. 2021.

7.3 Análisis retrospectivo y prospectivo de la adopción de estabilizadores de N en maíz en la Argentina

7.3.1. Evolución de la adopción tecnológica del cultivo de maíz en la Argentina

En Argentina, alrededor del 80% de la producción de maíz se concentra en el norte de la provincia de Buenos Aires, el sudeste de Córdoba y el centro-sur de Santa Fe, zona conocida tradicionalmente como “Zona Núcleo Maicera” (Fig. 14)

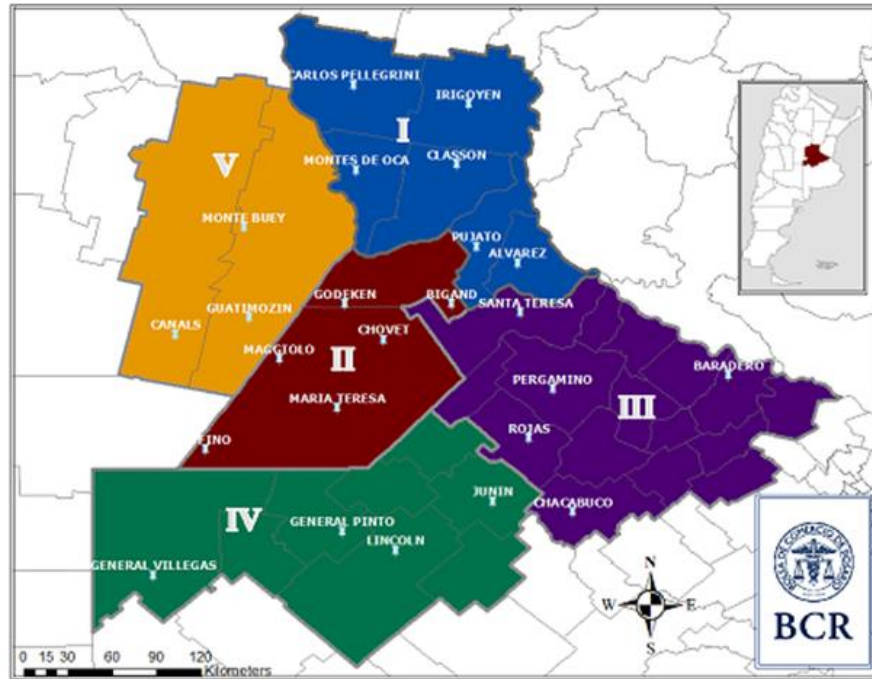


Fig. 14. Zona núcleo maicera Argentina. Fuente: BCR

El crecimiento que ha experimentado el cultivo de maíz en relación con la superficie sembrada y el rendimiento en los últimos años, está acompañado por el desarrollo, transferencia y adopción de tecnologías. La definición de tecnologías no solo está vinculada a la utilización de insumos (Ej.: semilla, fitosanitarios, fertilizantes, etc.), sino también a las prácticas de manejo (Ej.: siembra directa, fecha y densidad de siembra, nutrición, etc.) y conservación del cultivo empleadas en la producción de maíz con destino a grano comercial. De la conjunción de estas tres tecnologías por parte del agricultor, surgen distintos esquemas, que son los que determinan tres niveles tecnológicos: Alto, Medio y Bajo. En la campaña 2020/21, la adopción de tecnología en maíz total se distribuyó en 48% nivel alto, 50% nivel medio y 2% nivel bajo (Fig. 15)

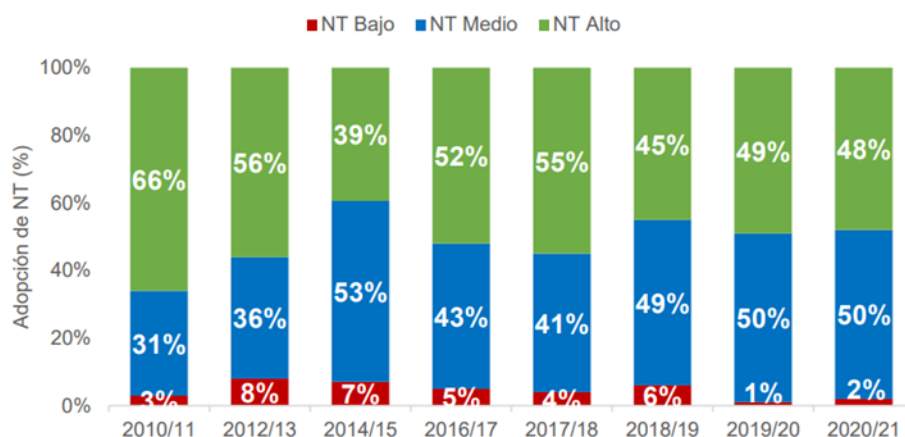


Fig. 15. Evolución de la adopción tecnológica en el cultivo de maíz en Argentina. Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2021.

Cabe resaltar que el nivel tecnológico nacional, utilizado en maíces tempranos es superior al utilizado en maíces tardíos (Fig. 16).

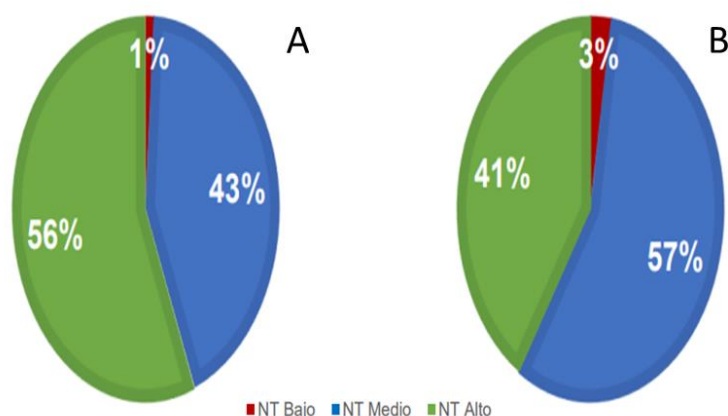


Fig. 16. Nivel tecnológico utilizado en el cultivo de maíz campaña 20/21. A) maíz temprano. B) maíz tardío. Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2021.

7.3.2. Dosis y reposición de nitrógeno a escala nacional y subregional

El maíz es un cultivo con elevados requerimientos nutricionales y alta capacidad de respuesta a la fertilización. El uso de fertilizantes no sólo es una herramienta para cubrir la demanda nutricional de los cultivos y aumentar la producción, sino también permite hacer un uso más eficiente y sustentable de los recursos. En la campaña 2020/21, la dosis promedio de N

aplicado en maíz total fue de 71 kg/ha, con picos superiores a 100 kg N/ha en zona núcleo, más precisamente en sur de la provincia de Santa Fe y norte de la provincia de Buenos Aires (Fig. 17).

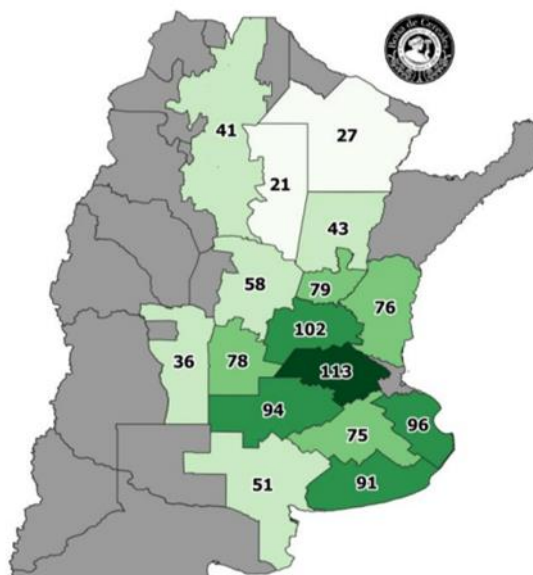


Fig. 17. Dosis promedio de Nitrógeno aplicado a maíz por región (kg N/ha) para campaña 20/21. Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2021

En la campaña 2020/21 la reposición del N alcanzó el mayor porcentaje de los últimos años. Por cada 100 kg de N extraídos vía cosecha de granos en cultivos extensivos, se repusieron 70 kg de N vía fertilización. Esta mayor reposición principalmente es el resultado de una menor extracción de nutrientes debido a una baja en la producción y en menor medida a incrementos en la dosis de fertilización (Fig. 18).

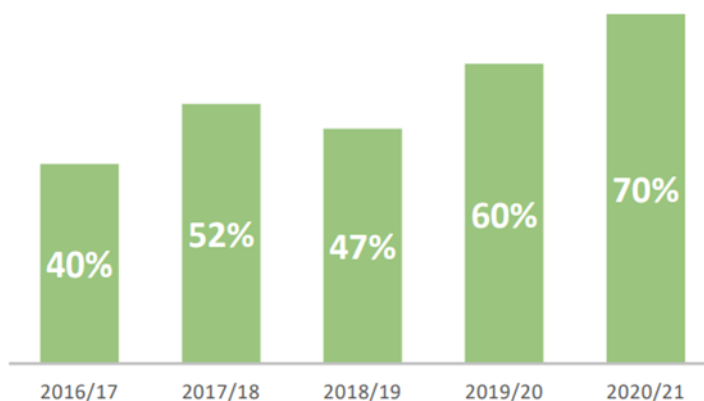


Fig. 18. Evolución en el porcentaje de reposición de nitrógeno a nivel nacional. Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2021

En la Fig. 19 se presenta el porcentaje de reposición de N para cada región productiva del país en la campaña 2020/21. En la zona núcleo la reposición de N ronda valores superiores al 85% y son destinadas principalmente a los cultivos de maíz y trigo. En cambio, en el norte del país se encuentran los menores porcentajes de reposición, y esto se debe a una baja adopción de tecnología y a menores rindes potenciales. Hacia el sur del área agrícola, los mayores porcentajes de reposición de N se vinculan a cultivos de trigo y cebada.

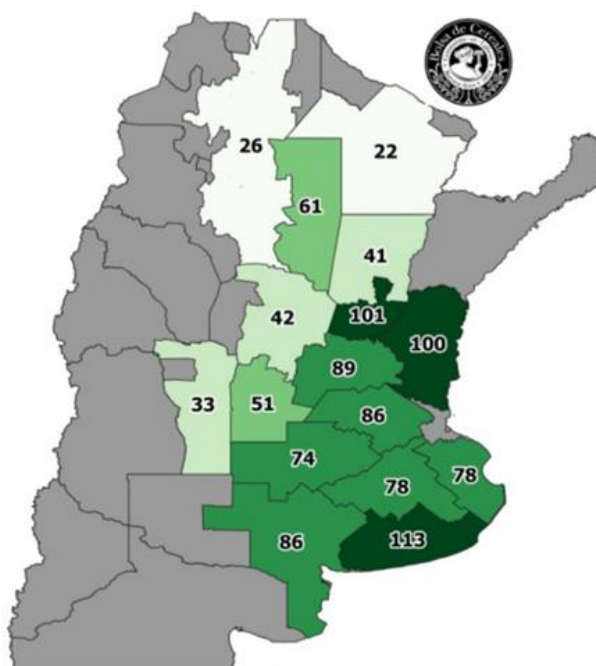


Fig. 19. Porcentaje (%) de reposición de nitrógeno por regiones para la campaña 20/21. Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2021

7.3.3. El contexto global y su influencia en la adopción de fertilizantes nitrogenados y estabilizadores de nitrógeno en Argentina

La pandemia de Covid-19 y más recientemente la guerra en Ucrania han generado una fuerte disrupción en los mercados energéticos, de fertilizantes y de alimentos, y por ello no se pueden soslayar en el análisis de cualquier tecnología de uso agropecuario (Fig. 20).

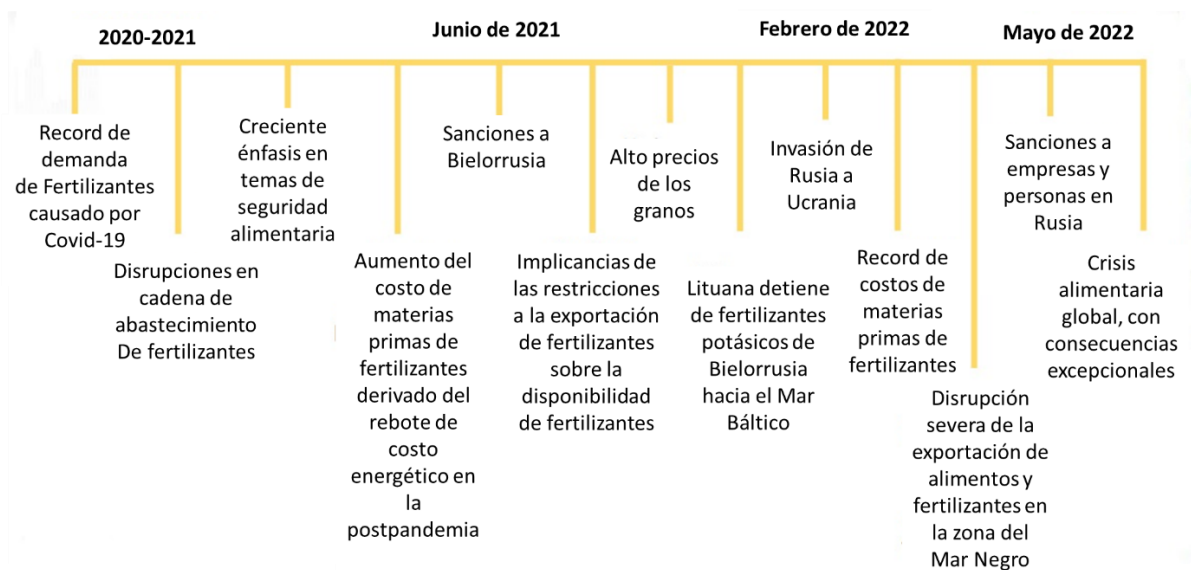


Fig. 20. Disrupciones recientes derivadas de la pandemia de Covid-19 y la guerra en Ucrania. Fuente: adaptado de IFA (2022)

Si bien la Argentina, por tratarse de un país agroexportador, tener menor exposición relativa a la crisis alimentaria (i.e. capacidad de generar divisas) y una menor exposición relativa a restricciones al comercio internacional de fertilizantes nitrogenados por contar con una planta de urea que abastece una parte significativa de la demanda local de N (en el año 2021, el 40% de la urea utilizada en el país fue de origen nacional, Fertilizar AC 2021), no deja de ser un país fuertemente dependiente de la importación de fertilizantes, incluyendo a los nitrogenados. Según un estudio realizado por la firma Kynetec y presentado por Fertilizar AC, el 72% de los fertilizantes nitrogenados utilizados por los agricultores en el año 2021 en Argentina fue importado. Así mismo, actualmente rigen medidas de restricción de las importaciones de fertilizantes por parte del Banco Central, aspecto no muy favorable ya que se suma a todas las fuentes de incertidumbre antes descriptas. Otros factores locales que desalientan la adopción de tecnologías de procesos y la innovación en la Argentina son:

- (i) Retenciones a los granos, ya que actúan sobre el ingreso y no sobre las ganancias o rentabilidad de las empresas agropecuarias

(ii) Escasa aplicación del marco legal en materia de conservación de suelos que, sumado a un ordenamiento jurídico de tipo federal, hace que en la práctica los programas de implementación de las leyes se encuentren desfinanciadas (Abruzky y Torres Duggan, 2013).

(iii) Alta proporción de campos alquilados, sobre todo en zona núcleo en donde tiene lugar una porción significativa de la producción de maíz en la Argentina

En cuanto al panorama internacional, se destaca la elevada incertidumbre derivada de la situación bélica en Ucrania, y sus consecuencias ya evidentes sobre los mercados de la energía, de los fertilizantes y alimentos.

Por otro lado, a los factores mencionados, se debería sumar los efectos del cambio y variabilidad climática que presenta una marcada incidencia en las áreas sembradas con maíz y en su dinámica temporal (i.e. aumento o reducción). Dichos cambios afectan directamente la demanda de fertilizantes y tecnologías asociadas como los estabilizadores de N. Así, por ejemplo, en las campañas agrícolas 2020, 2021 y 2022 se presentaron años “La Niña” en la Argentina, pero cada una con características particulares, siendo especialmente grave la campaña 2022 en donde se prevén marcadas reducciones en el área sembrada de maíz, sobre todo en planteos de siembra temprana, que son los sistemas de producción de maíz con mayor potencial de uso de NI. Sin embargo, la mayor área implantada que se prevé de maíz tardío representa una oportunidad de incremento de tecnologías de bajo costo relativo y que propenden a aumentar la EUN como lo son los UI.

8. Análisis FODA y estrategias derivadas

Tabla 4. Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que se pueden considerar en el sistema analizado en el presente trabajo.

Fortalezas	Debilidades
<p>-Expansión del área sembrada de maíz en las últimas décadas</p> <p>-Muy buen nivel de desarrollo en investigación científica en disciplinas de Ciencias del Suelo y afines, incluyendo fertilidad de suelos y nutrición vegetal</p> <p>-Antecedentes de uso inhibidores de ureasa en maíz con resultados muy favorables</p> <p>-Incremento en la dosis de aplicación de N</p> <p>-Aumento de la reposición de N</p> <p>-Condiciones edafoclimáticas predisponentes a las pérdidas de N fuera del sistema suelo-cultivo</p> <p>-Variabilidad climática en Región Chaco Pampeana, sobre todo en precipitaciones que promueven las pérdidas por lixiviación de nitratos</p> <p>-Crecimiento de los planteos de maíz tardío en donde se exploran condiciones ambientales predisponentes a las pérdidas de N por volatilización de amoníaco</p>	<p>-Bajo o nulo incentivo gubernamental a la adopción de tecnología de procesos</p> <p>-Escasa aplicación del marco normativo en materia de manejo y conservación de suelos</p> <p>-Alto porcentaje de campos alquilados mediante esquemas de arrendamiento de corto plazo</p> <p>-Retenciones al precio de los granos, que funciona como un impuesto distorsivo que restringe, sumando barreras para la innovación</p> <p>-Panorama socioeconómico adverso</p> <p>-Control de importaciones de fertilizantes</p> <p>-Balances negativos de N (niveles de reposición aún bajos en términos comparativos a países con sistemas agrícolas comparables)</p>

Oportunidades	Amenazas
<p>-Crisis alimentaria mundial</p> <p>-Renovado interés en el desarrollo y uso de tecnologías amigables con el ambiente</p> <p>-Renovado interés en desarrollo de mecanismos que premien la adopción de buenas prácticas agrícolas y la mitigación de GEI (e.g. bonos de C)</p>	<p>-Guerra en Ucrania</p> <p>-Alta incertidumbre global y caída en el consumo global de fertilizantes, crisis energética, crecientes conflictos sociales y alimentarias</p> <p>-Relaciones de precios (N y grano de maíz) no tan favorables durante la post pandemia (i.e. menor adopción de tecnologías)</p>

¿Qué estrategias emergen del diagnóstico FODA?

- ✓ Promover el uso de estabilizadores de N como parte de las prácticas para mitigar los GEI para mejorar sus ingresos mediante el uso de mecanismos como “Bonos” de C o monetizar a partir de programas similares que algunas empresas proveedoras de insumos están comenzando a ofrecer
- ✓ Aprovechar el sistema científico, tecnológico y de extensión en Argentina para el desarrollo de agro tecnologías de base web (i.e. Ag-Techs) que permitan predecir la respuesta a la aplicación de estabilizadores de ureasa o nitrificación según el contexto edáfico y/o meteorológico (e.g. temperatura, balances hidrológicos, precipitaciones, condición de humedad del suelo, etc.). Este tipo de herramientas

permitiría al agricultor modelar *ex ante* la probabilidad de respuesta al uso de los estabilizadores de N y evaluar el beneficio económico y ambiental de su utilización

- ✓ Zonificar regiones y/o subregiones y sistemas de producción de maíz y condición agroecológica con mayor o menor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático (e.g. variabilidad y magnitud de las lluvias) y posicionar diferencialmente los diferentes tipos de estabilizadores de N según el planteo de fechas de siembra de maíz, como así también considerando la dinámica hidrológica y térmica
- ✓ Considerar la medición de indicadores de interés ambiental (e.g huella de carbono) al estudiar el efecto del agregado de estabilizadores de N, que permitan a los agricultores conocer los beneficios del uso de estas tecnologías más allá del aumento de rendimiento en grano

9. Conclusiones

En base a la información y análisis presentado previamente, se pueden mencionar algunas conclusiones con relación al uso de estabilizadores de N:

- ✓ Por distribución geográfica, nivel tecnológico utilizado y dosis de N aplicado, las mayores perspectivas de uso de SNF estarían en zona maicera núcleo, aunque con adopción variable de cada tipo de estabilizador según fechas de siembra.
- ✓ Las perspectivas de uso de UI serían medias en el norte del país, porque a pesar de que las dosis de N y el nivel tecnológico usado son bajos, vienen aumentando progresivamente y además imperan temperaturas muy altas, predisponentes para la volatilización del amoníaco. Asimismo, el régimen de precipitación monzónico en un clima neo tropical podría implicar una oportunidad para el desarrollo de NI, aspecto que ha sido poco estudiado en esa región.

- ✓ Existe un mayor potencial de adopción de SNF en maíz temprano que tardío debido a la mayor dosis de N y al mayor nivel tecnológico. Sin embargo, teniendo en cuenta que la opción de maíces tardíos o de segunda fecha de siembra son cada vez más elegidas por los agricultores, y que las condiciones ambientales son más favorables para el uso de los UI, se esperaría un aumento de la demanda en este cultivo en el mediano o largo plazo.
- ✓ Los cambios en los precios de los fertilizantes en el mercado internacional, como así también las relaciones de precios con los granos o los contextos climáticos adversos, presentan un considerable impacto en las decisiones de adopción de tecnologías de fertilización por parte de los agricultores argentinos, y esto no escapa al uso de los SNF.

10. Bibliografía

- . **Abruzky, N.; Torres Duggan, M. 2013.** Legislación sobre uso y conservación de suelos en Argentina: ¿vacío legal? En: actas de las Jornadas Argentinas de Conservación de Suelos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. INTA. 2-4 de julio de 2013. Buenos Aires, Argentina.
- . **Asana. 2021.** Análisis FODA: Qué es y cómo usarlo <https://asana.com/es/resources/swot-analysis>
- . **Barbieri, P.A.; Echeverría, H.E. & Sainz Rozas, H. 2003.** Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. Ciencia del Suelo 21:18-23.
- . **BASF. 2018.** Figura recuperada de presentación en congreso IFA de Argentina.
- . **BCBA. 2021.** Bolsa de Cereales de Buenos Aires, ReTAA, Informes y datos. Maíz 20/21, informe N°51. [file:///C:/Users/rfalcone/Downloads/retaamensualnC2%BA51-maiz%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/rfalcone/Downloads/retaamensualnC2%BA51-maiz%20(5).pdf)
- . **BCBA. 2021.** Bolsa de Cereales de Buenos Aires, ReTAA, Informes y datos. Balance de nutrientes 20/21, informe N°54.

[file:///C:/Users/rfalcone/Downloads/retaamensualn%C2%BA54-balancedenutrientes20.21%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/rfalcone/Downloads/retaamensualn%C2%BA54-balancedenutrientes20.21%20(4).pdf)

. **BCR**, Bolsa de Comercio de Rosario, Guía estratégica para el agro, Estimaciones, Año 2022, recuperado de: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones>

. **BCR**, Bolsa de Comercio de Rosario, Guía estratégica para el agro, Mapa zona núcleo maicera <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/sobre-gea/sobre-guia-estrategica-para-el-agro>

. **Bonelli, L.E.; Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.; Barbieri, P. 2017**. Fuente y momento de aplicación de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en Balcarce. EEA INTA - FCA UNMP.

. **Ferguson, R.B.; Kissel, D.E.; Koelliker, J.K.; Basel, W. 1984**. Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. Soil Sci. Am. J. 2:578-582.

. **Ferraris, G.N.; Couretot, L.A.; Toribio, M. 2009**. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. Inf. Agron. 43. Int. Plant Nutr. Inst., Buenos Aires. p. 19–22.

. **Fertilizar AC. 2021**. Mercado argentino de fertilizantes especiales. <https://fertilizar.org.ar/estadisticas/>

. **Fertilizar AC. 2021**. Mercado argentino de fertilizantes.

. **Fox, R.H.; Piekielek, W.P. 1993**. Management and urease inhibitor effect on nitrogen use efficiency in no-till corn. J. Prod. Agr. 6:195-200.

. **Garcia, F.O.; Fabrizzi, K.P.; Picone, L.I.; Justel, J.F. 1999**. Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón. Actas en CD.

. **Halvorson, A.D., Snyder, C.S.; Blaylock, A.D. and Del Grosso, S.J. 2014**. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. Agron. J. 105:715–722. doi:10.2134/ agronj2013.0081.

. **Hargrove, W. L. 1988**. Soil, Environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In B. R. Bock and D. E. Kissel (ed.). Bulletin Y-206. National Fertilizer Development Center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama. 2:17-36.

- . **IFA International Fertilizer Association**. Fertilizer outlook 2017–2021. IFA annual conference – 22–24 May 2017 Marrakech (Marocco). Paris: IFA International Fertilizer Association, Services PITaA; 2017 June 2017.
- . **IFA International Fertilizer Association– RAMS & Co, 2016**. Assessment of the Global Market for Slow-and Controlled-Release, Stabilized and Water-Soluble Fertilizers in 2016.
- . **Keller, G.D.; Mengel, D.B. 1986**. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. Soil Sci. Am. J. 50:1060-1063.
- . **M.E Trenkel, 2010**. Slow-and Controlled Release and Stabilized Fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Second edition, IFA, Paris, France, October 2010.
- . **Profertil SA. 2020**. Departamento de I&D. Boletines técnicos N° 29 (<https://www.profertil.com.ar/index.php/cereales/maiz-cereales/bt-29-fertilizantes-estabilizados>) y 30 (<https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2021/06/BT-30-ETP-en-maiz.pdf>)
- . **Ritchie, S.W. & Hanway, J.J. 1982**. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report N°48 pp. 24.
- . **Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.E.; Studdert, G.A.; Andrade, F.H. 1997**. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 15: 12-16.
- . **Sutton, M.A.; Bleeker, A.; Howard, C.M.; Bekunda, M; Grizzetti, B.; de Vries, W. 2013**. Our Nutrient World: the challenge to produce more food and energy with less pollution (Pág. 114) Editorial Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, Escocia.
- . **Thapa et al 2016**, Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions and crop yields: a meta-analysis. Soil Sci Soc Am J 80: 1121-1134
- . **Weber C & McCann L. 2015**. Adoption of nitrogen-efficient technologies by u.s. Corn farmers. J Environ Qual 44(2):391-401. doi: 10.2134/jeq2014.02.0089.

11. Anexo 1: Respuestas de expertos

Recordemos que el cuestionario fue el siguiente:

1) *¿Qué factores inciden en la adopción del uso de los estabilizadores de nitrógeno (EN) tanto en los inhibidores de la ureasa (IU) como de la nitrificación (IN)?*

2) *¿Cuáles son las perspectivas de utilización de los IU e IN a nivel nacional e internacional para el corto, mediano y largo plazo?*

3) *¿Cómo inciden y podrían incidir en el futuro las tendencias globales relacionadas con el ambiente y la sustentabilidad (Ej. bonos de carbono, subsidios gubernamentales, etc.) sobre la adopción de los EN a escala de agro ecosistema? ¿Cómo impactarían en América del Sur y en Argentina?*

- **Ing. Agr. Dr. Fernando O. Garcia**

1) Probablemente la adopción dependa de varios aspectos: 1) conocer la ventaja en rendimiento y entender la importancia de la ventaja en reducción de externalidades ambientales negativas (reducción de emisión de N₂O), 2) temas logísticos (como se aplica el inhibidor o ya viene incluido en el fertilizante), y 3) costo del producto (rentabilidad).

2) En la medida que se reconozca ventajas en cuanto a rentabilidad, la práctica se va a adoptar y la utilización se va a expandir. Sería importante valorizar la ventaja ambiental para que este otro aspecto aporte al uso de los inhibidores. También se podría aprovechar las simplificaciones de la logística que pueden aportar los inhibidores: ampliar la ventana de aplicación sin dejar el N expuesto a pérdidas.

3) Obviamente, la posibilidad de que se valore el impacto ambiental positivo del uso de inhibidores puede impulsar fuertemente su uso. Imagino que este uso debería ser mayor en ambientes de mayor temperatura y precipitaciones, por ej. ambientes tropicales y subtropicales de Brasil, Paraguay y Bolivia o el norte argentino.

- **Ing. Agr. Dr. Miguel A. Taboada**

1) Ambos productos están en el mercado hace mucho tiempo. Sin embargo, no sólo su precio es más caro, sino que también no hay información técnica local precisa acerca de su

efectividad y eficiencia. El productor y la empresa necesitan esta información para la toma de decisiones.

Es muy probable que las nuevas demandas ambientales planteadas por el cambio climático sean un factor que acelere la adopción de estos productos.

2) Es un tema opinable, pero entiendo que aquellas empresas vinculadas a mercados exportadores con altos requisitos de trazabilidad y huella ambiental deberán adoptar estas fuentes asap. Es urgente reducir las huellas de carbono y una de las formas es bajar emisiones de N₂O. A mediano - largo plazo, depende más de las políticas que adopte el país en sus Compromisos de reducción de emisiones y el apoyo crediticio y/ financiero a los pequeños y medianos productores para que compren estas fuentes.

3) En la Argentina es un poco como dije recién. En América del Sur la agricultura es muy muy heterogénea. Es probable que los grandes productores de commodities agropecuarios del Cono sur los adopten, también muy vinculado a si hay cambios en los mercados compradores que actualmente no o exigen.

Pero en el caso de productores de specialities como café, cacao, piña, etc., que deben entrar a mercados altamente exigentes en trazabilidad, ya los cambios se han producido. No necesariamente en fertilizantes, sino en prácticas que eviten deforestación y aseguren agricultura baja en carbono y sin uso de agroquímicos.

- **Ing. Agr. Dr. Guillermo Peralta**

1) Creo que el principal hoy es el diferencial de precio de este tipo de fertilizantes mejorados con respecto a fuentes tradicionales. La escasa información (datos locales y en las distintas regiones del país) y su difusión, con respecto a los efectos sobre rendimientos de los principales cultivos, así como sobre su impacto a nivel de emisiones, (y necesariamente ambos deberían ser traducidos en términos económicos) es otro factor que puede incidir en su adopción/o falta de.

2) Creo que, en el corto plazo, su adopción va a ser más de "nicho", para determinadas empresas que ya estén involucradas en distintos procesos de certificación de huella o impacto ambiental. En el mediano plazo, a medida que la temática de emisiones del sector agrícola e impacto ambiental esté cada vez más difundida e instalada (aún sin una retribución

económica directa al productor), y en el largo plazo a medida que los certificados de carbono o reducción de emisiones estén mucho más difundidos (y con un mercado más instalado), sí esperaríamos un crecimiento en su adopción.

3) Creo que esto va a ser la clave para su adopción en el mediano/largo plazo de este tipo de productos. Una tendencia y "presión" global a demostrar que los productos se generan a lo largo de toda su cadena con el menor impacto ambiental posible (menores emisiones por kg producido), esperaríamos que sea lo que traccione su adopción. Al menos una tendencia global a "dar a conocer" y registrar el nivel de emisiones en los distintos eslabones de la cadena. América del Sur y Argentina, como grandes productores de alimentos, no van a escapar a esta tendencia global (incluso más que en otras regiones), y esperaríamos que la adopción sea creciente.

- **Ing. Agr. Matías Ruffo (Koch)**

1) Costo de la unidad de N y precio del grano producido. Percepción del impacto (magnitud, frecuencia) de las pérdidas y facilidad de cuantificarlas / percibir las. Es mucho más difícil cuantificar y percibir pérdidas por lixiviación que por volatilización, por ejemplo.

2) El uso de IU va a seguir creciendo en la medida que los factores de la pregunta 1 se mantengan en niveles similares a los actuales. Es una tecnología fácil de adoptar y relativamente de bajo costo. La adopción de IN es más incierta.

3) Hoy, en la región nada, y a nivel global poco. Es posible que la adopción este más vinculada a regulaciones que a subsidios o mercado. También en la región hacemos un uso más racional del N que en otras regiones.

- **Ing. Agr. Dr. Raúl S. Lavado**

1) Un mayor conocimiento de los productores, respecto a los beneficios de estas tecnologías, incluyendo balances económicos, el peligro para la salud familiar por la contaminación de napas freáticas, etc.

2) Además de lo anterior, la existencia de regulaciones que apunten a controlar las pérdidas de nitrógeno de los suelos. En Europa existen regulaciones que supongo serán refinadas y "endurecidas". En Argentina no existen esas regulaciones, pero pueden existir en el futuro.

En el país no preveo una gran difusión del uso de estos insumos en el corto plazo, ya que hay distorsiones como la inflación, las retenciones, etc.

3) Supongo que esas tendencias afectarán positivamente el uso de estos insumos. Otro factor, de carácter más local, es la presión de las poblaciones urbanas sobre al agro para reducir la contaminación de agua (a través de demandas judiciales como pasa en EEUU, por ejemplo) o la presión local por la contaminación de cuerpos de agua

- **Ing. Agr. Dr. Nahuel Reussi Calvo**

1) Hay diferentes factores que inciden en la adopción entre los cuales se pueden mencionar:
1- resultados productivos y económicos variables; 2- costos de los productos; 3- desconocimiento y 4- tradición.

2) No conozco con precisión las perspectivas de utilización a nivel internacional, pero entiendo que serán mayores a las locales debido a que se tiene una mayor mirada de los efectos sobre el medio ambiente. En Argentina hay problemas de bajas dosis no de excesos, por lo tanto, no se mira el impacto de los fertilizantes desde la misma óptica que en otros países.

3) Entiendo que todas las medidas y reglamentaciones que se tomen a nivel global relacionadas con el medio ambiente y la sustentabilidad deberían tener un impacto positivo sobre la adopción de fertilizantes de eficiencia mejorada en América del Sur y Argentina...igualmente es un largo camino por recorrer. La respuesta en la adopción de cada región y/o país dependerá de la interacción con el ambiente.

- **Ing. Agr. Dr. Cesar Quinteros** (Facultad Oro Verde, Paraná)

1) Pienso que es fundamentalmente el precio y la falta de respuestas contundentes o significativas que superen el costo adicional.

2) Al incrementarse las dosis de N en los cultivos, como se está viendo. Tienen más perspectivas de utilización. Bajo el razonamiento que más fertilizante ocasiona mayores pérdidas de N y contaminación.

3) No sé cómo va a impactar en Arg o AS. Pero las empresas empiezan a rendir cuentas ambientales a los inversores. Así que estas y otras tecnologías más sustentables, serán consideradas con mayor peso.

- **Ing. Agr. Martín Sofler Inglesi** (Bioline Invivo – Francia)

1) La adopción de este tipo de tecnologías depende de muchísimos factores, empezando por la disponibilidad de estos productos en el mercado (especialmente para los IN), el conocimiento de los productores y los técnicos con respecto a las ventajas asociadas a su uso y el diferencial de precio con respecto a los fertilizantes tradicionales. Por otro lado, un factor muy importante que hace a la adopción de estos productos son las políticas públicas o los incentivos ligados al medio ambiente, considerando los beneficios ambientales que el buen uso de esta tecnología trae aparejados:

- **Cambio climático:** Tanto los IU como los IN tienen un impacto directo sobre las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura, siendo los IN aquellos con mayor impacto en la reducción de las emisiones de N₂O al inhibir el proceso de nitrificación en el suelo. Los UI permiten una reducción importante en las emisiones de NH₃, el cual indirectamente produce N₂O en la atmosfera (nuestras estimaciones están alrededor de 1% del NH₃ producido va a transformarse en N₂O en la atmosfera). Sin embargo, el principal interés de los UI en lo que respecta a cambio climático es la potencial reducción de las dosis de N aplicadas, ya que permite una mayor eficacia en los aportes de N. Esta reducción de la dosis permite entonces una reducción directa de las emisiones absolutas de N₂O hacia la atmosfera, además de reducir indirectamente las emisiones indirectas ligadas a la producción de estos fertilizantes nitrogenados (proceso de Haber-Bosch + transporte -> fuente muy importante de GEI).

- **Calidad del aire:** En este sentido, el mayor interés radica en la utilización de IU, ya que el NH₃ es un gas que está directamente ligado a la formación de macropartículas que afectan directamente la calidad del aire (smog).

- **Calidad de agua (superficial y de profundidad):** Al reducir la dosis aplicada de fertilizantes nitrogenados, se reduce directamente la migración de nitratos hacia las aguas superficiales y de profundidad (lixiviación de nitratos hacia las napas freáticas).

De este modo, todas las políticas públicas que busquen reducir estas externalidades negativas ligadas a la actividad agrícola van a incentivar de manera directa o indirecta el uso de esta tecnología. En términos generales, los mercados de los IU y IN presentan un crecimiento muy

por encima de los mercados de fertilizantes tradicionales, lo cual se explica en parte por un mayor interés de la sociedad civil en su conjunto en este tipo de temáticas que fracciona a los gobiernos a implementar programas de reducción de impacto ambiental. Si bien este crecimiento de los mercados varía en función de los países y regiones, en términos generales presentan un crecimiento muy interesante en casi todas las partes del mundo.

Los precios de los fertilizantes tradicionales son un punto importante a tener en cuenta, ya que, si el gap de precios entre los fertilizantes con IU o IN y los fertilizantes tradicionales son muy importantes, difícilmente el ahorro realizado sobre la cantidad total de N aportado como consecuencia del aumento de la eficiencia del N aplicado justifique tal inversión. Con respecto a este punto, todo incentivo a través de subvenciones públicas o fuente de ingreso extra aparejado al uso de estos productos (créditos carbono, por ejemplo) va a venir a inclinar la balanza hacia la adopción de estos productos. Hoy en día, con los precios de carbono (mercado voluntario) que se negocian, esta inversión no se justifica. Pero todo puede cambiar de un día para otro, sobre todo si consideramos la acumulación de diferentes fuentes de ingreso para los productores por la adopción de esta tecnología (subvenciones + créditos carbono + primas del sector agroindustrial, por ejemplo).

Ejemplos interesantes para estudiar: Programa Renovabio en Brasil y adopción de esta tecnología sobre todo en caña de azúcar

Punto aparte con respecto a los IN: Considerando que estos productos alteran directamente la actividad de ciertas bacterias presentes en el suelo (*Pseudomonas* principalmente), hay cierto resquemor con respecto al impacto de los IN hacia la vida del suelo. Por otro lado, y más precisamente en Francia y Europa, estos productos son considerados como productos fitosanitarios, mientras que los IU entran en la categoría de fertilizantes para las autoridades. Esto impacta considerablemente en el interés de las empresas a desarrollar nuevas moléculas y formulaciones.

2) Con respecto a este punto, y en relación con lo que describí en la primera pregunta, las perspectivas de adopción de este tipo de tecnologías son bastante optimistas. Sabiendo que las perspectivas de desarrollo de los mercados de carbono son también importantes y

considerando que el interés de la sociedad civil es cada vez más importante con respecto a estos temas, la adopción de estos productos va a ser arrastrada hacia arriba por el interés en la reducción de externalidades negativas de la actividad agrícola.

En lo que hace al plano nacional, hace un tiempo me fui de Argentina, pero me permito de todos modos comentar al respecto: La adopción de esta tecnología me da la impresión que va a estar ligada más que nada a un aumento en la eficacia de los aportes de N que a eventuales políticas públicas con respecto al medio ambiente, las cuales muy pocas veces tienen que ver con el medio ambiente y cuestiones técnicas sino más bien cuestiones políticas e intereses otros que el cuidado del ambiente.

Para responder más concretamente a tu pregunta, yo diría que las perspectivas (y la realidad observada hace ya unos años) de adopción de estas tecnologías son bastante altas, sobre todo en el mediano plazo en relación a la valorización en la reducción de externalidades negativas de la actividad agrícola relacionadas al uso de estos productos a través de políticas públicas y cuadros de certificación de créditos carbono. En cuanto al largo plazo, hay que ver cómo evolucionan los sistemas de valorización de reducción de externalidades negativas. Hoy en día lo que más se está desarrollando son los créditos carbono, pero el día de mañana eventualmente podríamos tener algo similar alrededor de las emisiones de NH₃ o lixiviación de nitratos. En todo caso hay más oportunidades que amenazas para estos productos en el futuro (ojo con los IN y su impacto en la vida el suelo)

3) En las preguntas anteriores ya detallé un poco sobre este tema, pero para ser más concreto yo diría que las tendencias vienen siendo y van a seguir siendo positivas en el mediano plazo principalmente motorizadas por este tipo de iniciativas públicas (subsidios) y privadas (bonos carbono).

Con respecto al impacto a nivel regional en América del Sur, habría que echar un ojo en Brasil sobre el impacto del programa RenovaBio en los mercados de IN e IU (ya van dos años de implementado el programa así que ya deberían tener un poco más de visibilidad). Considerando el modelo de desarrollo de la región, yo pensaría que un cambio en las exigencias de los países importadores sería un driver muy importante para la adopción de estos productos y no tanto incentivos públicos locales que busquen reducir las externalidades negativas de la actividad económica (sin importar el sector).

La realidad es que todavía hay mucha incertidumbre sobre cómo se va a estructurar a nivel la economía de carbono, pero la gran oportunidad se encuentra en las exigencias de la comunidad internacional (caso hipotético de cuotas de emisión) y de exigencias en cuanto a emisiones de GEI de los principales destinos de exportación de productos agrícolas.