

# EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO DESDE SUELOS AGRÍCOLAS Y ALTERNATIVAS PARA MITIGARLAS.

Palabras clave: nitrógeno mineral, fertilización, secuestro de carbono, manejo del suelo.  
Key words: mineral nitrogen, fertilization, carbon sequestration, soil management .

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es un gas efecto invernadero con un poder de calentamiento equivalente a 296 veces mayor que el del dióxido de carbono ( $CO_2$ ). El  $N_2O$  es producido a partir del nitrógeno mineral que entra a los suelos en forma de fertilizantes, abonos orgánicos, residuos de cosecha y deyecciones animales (heces y orina). Se genera como un producto colateral de las reacciones microbianas de nitrificación (producción aeróbica de nitratos a partir del nitrógeno orgánico del suelo) y de desnitrificación (respiración anaeróbica de nitratos), y constituye una fuente principal de emisión de nuestro país. Es por ello, que resulta importante conocer cuáles son los factores determinantes de las emisiones de  $N_2O$  desde los suelos, para poder elaborar estrategias de manejo que procuren mitigar las emisiones de  $N_2O$ . Los factores reguladores de las emisiones de  $N_2O$  pueden clasificarse en próximos o distales. Los factores próximos son la calidad del sustrato (proporción de carbono y nitrógeno) y el medio ambiente (temperatura, potencial redox, contenido de humedad, pH). Los factores distales son muy variados y abarcan a las condiciones del suelo y el manejo que se realiza sobre él. Las medidas posibles a tomar pasan por: (i) la mitigación de emisiones causadas por el incremento de la eficiencia de uso del N aplicado vía fertilizantes sintéticos; y (ii) el incremento de los sumideros de carbono a través de la intensificación de las rotaciones de cultivos, o la integración de ganadería en pastoreo con cultivos de cobertura. La adopción de estas prácticas se logrará en gran parte cuando los productores perciban su utilidad y beneficio económico.

Nitrous oxide ( $N_2O$ ) is a greenhouse gas with a global warming potential equivalent to 296 times that of carbon dioxide ( $CO_2$ ).  $N_2O$  emissions are produced from mineral nitrogen that enters the soil in the form of fertilizers, organic manures, crop residues and animal dejections (feces and urine). It is produced as a collateral product of the microbial reactions of nitrification (aerobic production of nitrates from organic soil nitrogen) and denitrification (anaerobic nitrate respiration), and constitutes a key emission source in our country. That is why it is important to know what are the determinants of  $N_2O$  emissions from soils, in order to develop soil management strategies to mitigate  $N_2O$  emissions. Regulatory factors for  $N_2O$  emissions can be classified in proximal or distal. The proximal factors are the quality of the substrate (carbon and nitrogen ratio) and the environment (temperature, redox potential, moisture content, pH). There are several distal factors such as the soil conditions and soil management. Possible mitigation measures include: (i) the mitigation of emissions caused by the increase in the efficiency of N use applied via synthetic fertilizers; and (ii) the increase of carbon sinks through the intensification of crop rotations, or the integration of livestock grazing with cover crops. The greater adoption of these practices will be achieved largely when farmers perceive their utility and economic benefit.

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es un gas con efecto invernadero (GEI) cuyo potencial de calentamiento global equivale a 296 veces el causado por el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y a dife-

rencia de los otros GEI provenientes del sector agropecuario ( $CO_2$ , metano), se produce principalmente desde los suelos de este sector, es decir suelos bajo producción de cultivos,

forrajes, maderas y ganado doméstico. El  $N_2O$  se produce en forma natural en los suelos mediante los procesos microbianos de nitrificación (1) y desnitrificación (2) del ni-

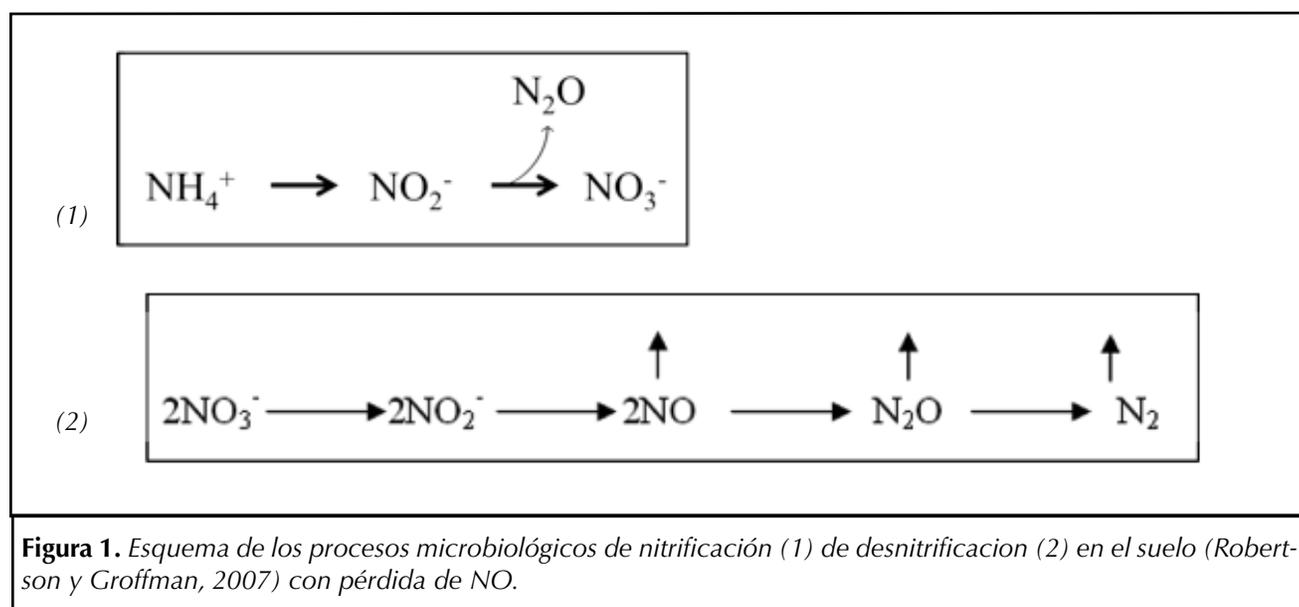
■ Miguel A. Taboada<sup>1,2\*</sup>, Vanina R. N. Cosentino<sup>1,2</sup>, Alejandro O. Costantini<sup>1,3</sup>.

<sup>(1)</sup> Instituto de Suelos. INTA. Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, CP 1686 Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

<sup>(2)</sup> CONICET

<sup>(3)</sup> Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía. UBA. Av. San Martín 4453. Buenos Aires, Argentina.

E-mail: \*taboada.miguel@inta.gob.ar



trógeno mineral presente en los suelos (Figura 1). Siendo el proceso de desnitrificación (anaeróbico) quien presenta mayor producción de  $\text{N}_2\text{O}$  que el proceso de nitrificación (aeróbico; Bateman y Baggs, 2005).

El aumento de la cantidad de nitrógeno en los suelos como producto de la aplicación de fertilizantes sintéticos y/o deyecciones animales, puede producir aumentos de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  por los mecanismos descritos en la Figura 1. Del mismo modo, los cambios de uso de la tierra realzan las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  si están asociados con una elevada descomposición de la materia orgánica del suelo y la subsiguiente mineralización del N orgánico del suelo, como sucede cuando se inician cultivos en humedales, bosques y/o pastizales.

Los suelos agrícolas pueden emitir  $\text{N}_2\text{O}$  en forma directa e indirecta. Las emisiones directas incluyen a las procedentes de: 1) el nitrógeno aplicado a los cultivos agrícolas y/o pasturas; y 2) las deyecciones sobre/en los suelos dedicados a la producción animal. Las emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  proceden también del nitrógeno aplicado a la

agricultura a través del N volatilizado desde los fertilizantes u orina de los animales, así como del lixiviado en espejos o cursos de agua (IPCC, 2006). Las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  desde el sector agropecuario fueron identificadas como una categoría principal en los inventarios realizados en la última Comunicación Nacional (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

En general, se considera que las emisiones directas son cuantitativamente más importantes, aun cuando existe discrepancia respecto al tema. Por ejemplo, Crutzen et al. (2007) alertan que las emisiones indirectas pueden ser mucho más importantes, por la rizodeposición de compuestos ricos en nitrógeno de bajo peso molecular cerca de las raíces de cultivos leguminosos fijadores de nitrógeno atmosférico.

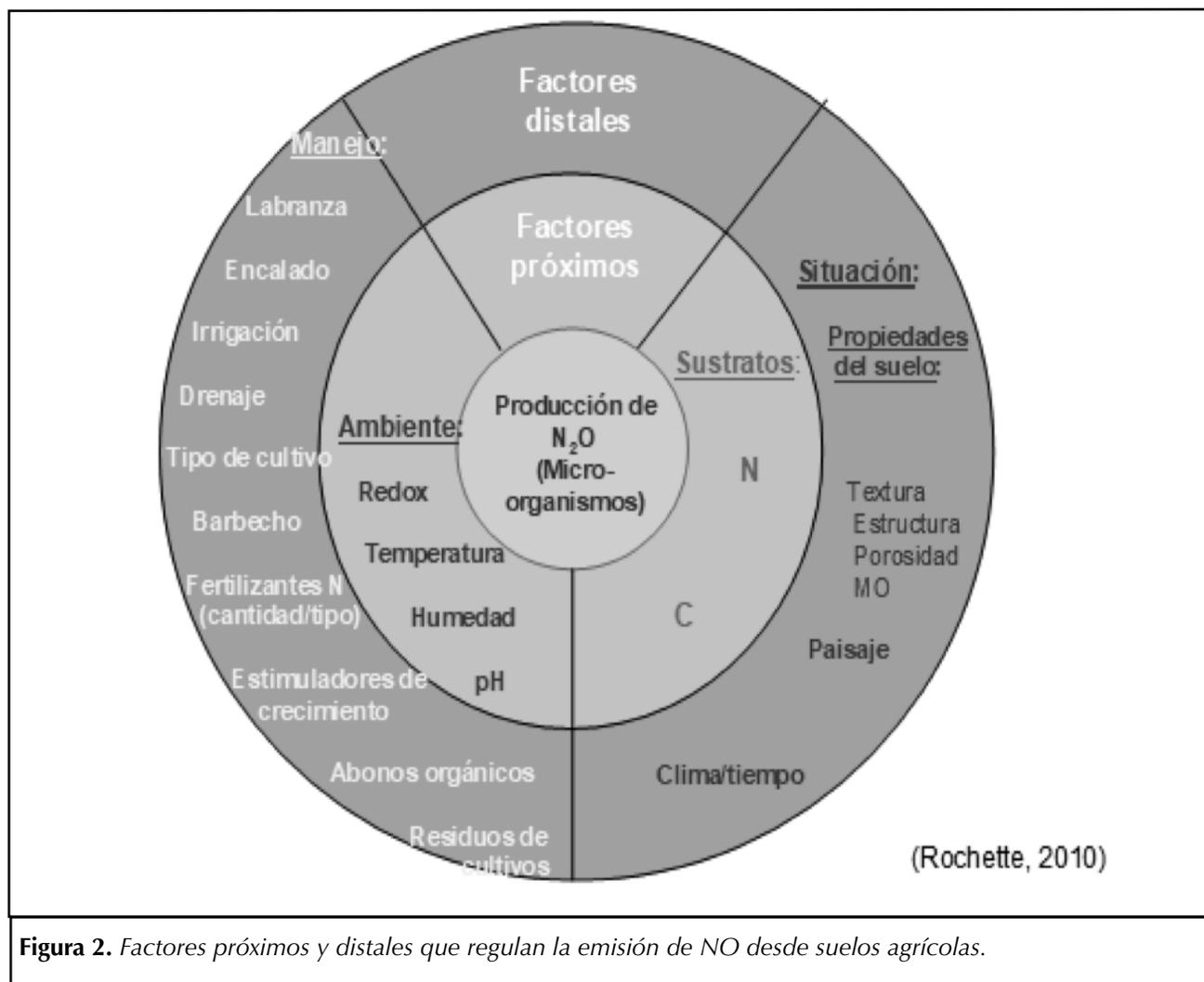
La Figura 2 muestra esquemáticamente los factores de los cuales depende la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  desde los suelos. Estos factores pueden ser clasificados como próximos o distales, en función del nivel de influencia que ejercen sobre la producción del  $\text{N}_2\text{O}$  (Rochette, 2010). Snyder et

al. (2009) presentaron una completa revisión de los principales factores que regulan la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  y su influencia relativa.

#### ■ A) FACTORES PRÓXIMOS:

Los factores próximos son los que afectan en forma directa a la tasa de emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ . Se distinguen entre ellos las condiciones ambientales del suelo (potencial redox, temperatura, contenido hídrico y pH) y la relación de C y N en el sustrato sobre el que actúan los microorganismos nitrificadores y desnitrificadores.

Como ya se mencionó, una parte importante de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  se origina a partir del proceso de desnitrificación (Figura 1). Por este motivo la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  desde el suelo se ve fuertemente afectada por el espacio poroso saturado de agua (EPSA). A medida que aumenta el porcentaje de EPSA, el contenido de  $\text{O}_2$  del suelo disminuye y el proceso de desnitrificación comienza a aumentar su importancia relativa sobre el de nitrificación. La tasa de desnitrificación alcanza su pico máximo cuando el EPSA supera el 70%, situación en que el total de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  son producidas por



**Figura 2.** Factores próximos y distales que regulan la emisión de  $\text{NO}$  desde suelos agrícolas.

dicho proceso (Bateman y Baggs, 2005).

Entre otros factores que regulan la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  podemos destacar los factores ambientales, que incluyen la concentración de  $\text{NO}_3^-$ , el carbono lábil disponible, la temperatura, y el potencial redox. La desnitrificación tiene lugar preferentemente cuando el suelo sufre ciclos de encharcamiento o anegamiento y secado, lo que permite que se produzcan nitratos que luego serán pasibles de reducción, ya que ante la ausencia de oxígeno, el nitrato pasa a tomar el rol de aceptor de electrones en la reacción. Por ello, es común que tenga lugar en forma de pulsos o esporádicamente, cuando suelos previamente bien

aireados son humedecidos o saturados por las lluvias o el riego (Glinski y Stepniewski, 1985; Snyder et al., 2009). Las reacciones de nitrificación también pueden dar lugar a emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NO}$  como productos colaterales. Se ha informado que durante la nitrificación puede perderse como  $\text{N}_2\text{O}$  entre 0,04 y 0,45 % del N aplicado (Bremer y Blackmer, 1978, citado por Snyder et al., 2009).

La relación C y N es determinada por el tipo de sustrato. En suelos agrícolas el sustrato sobre el que actúan los microorganismos lo constituyen los residuos de los cultivos. Pueden distinguirse residuos pobres en N, o de elevada relación C/N como los de las gramíneas o el gi-

rasol ( $\text{N} < 1,5\%$ ), mientras que los residuos de las leguminosas poseen elevada concentración de N o estrecha relación C/N ( $\text{N} > 1,5\%$ ). Una de las formas más comunes de aporte de N en suelos agrícolas son los fertilizantes sintéticos nitrogenados, como la urea (46 % N) o el UAN (32 % N), entre otros.

#### ■ **B) FACTORES DISTALES:**

Estos factores pueden a su vez ser clasificados en situacionales y de manejo (Figura 2). En términos generales, su influencia no es directa, ni fácil de identificar, pues existen varias posibles interacciones que afectan su influencia. Dentro de los factores de situación, aquellas posiciones del paisaje que colecten

agua (depressiones, campos bajos), o aquellas texturas o condiciones estructurales que dificulten el drenaje del agua excedente, son factores que pueden contribuir a incrementar las tasas de emisión de  $N_2O$  desde los suelos. Del mismo modo, la compactación del suelo por tráfico agrícola puede dar lugar a aumentos en tasas de emisión, por afectar al espacio poroso responsable de la aireación de los suelos. El clima también afecta las emisiones, pues para que estas se produzcan deben generarse condiciones predisponentes en el suelo, usualmente luego de episodios de lluvias.

Existen numerosos factores de manejo que afectan indirectamente a la tasa de emisión de  $N_2O$  (Figura 2). Muchos de ellos constituyen un foco de análisis para eventuales estrategias de mitigación de las emisiones. Uno muy importante se enfoca en la tecnología de aplicación de fertilizantes nitrogenados. Existe en este sentido un conjunto de buenas prácticas de manejo, que implican por ejemplo aplicar la fuente de fertilización con una dosis, momento y ubicación tendientes a minimizar las pérdidas por emisión (Johnson et al., 1997; Snyder et al., 2009; García, 2009). Cuando se aplica N por encima de la dosis económica óptima, o cuando el N disponible (principalmente como nitratos) excede la demanda del cultivo, aumenta el riesgo de emisión de  $N_2O$ . Entre los indicadores más utilizados para determinar las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes, se destaca la eficiencia de uso de los nutrientes, definida en términos generales, como la relación entre la producción y la cantidad de nutriente introducida en el sistema.

IPCC (2006) ha propuesto un factor de emisión del N agregado como fertilizante del 1%, lo que significa que el 1% del N del fertilizante es

emitido como  $N_2O$ ; y es este valor el que se usa en las estimaciones de emisión a nivel mundial. Sin embargo, este porcentaje varía amplia-

Tabla 1. Comparación entre prácticas de manejo tradicional y recomendadas en relación con el secuestro de carbono del suelo (adaptado de Lal, 2004).	
Métodos tradicionales	Prácticas recomendadas de manejo
1. Quema de biomasa y remoción de residuos.	Conservación de cobertura de residuos sobre el suelo.
2. Labranza convencional y cultivo con el suelo desnudo.	Labranza conservacionista, labranza cero y bajo cobertura.
3. Barbecho desnudo o sin cultivo.	Cultivos de cobertura entre cultivos de cosecha
4. Monocultivo continuo	Rotaciones de cultivos con alta diversidad
5. Agricultura con bajos insumos o de subsistencia y minería de la fertilidad del suelo	Uso racional de insumos externos a la explotación
6. Uso intenso de fertilizantes químicos	Manejo integrado de nutrientes con compost, biosólidos y reciclado de nutrientes; agricultura de precisión
7. Cultivo intensivo	Integración de árboles y ganadería con la producción de cultivos (sistemas agro-silvo-pastoriles)
8. Riego superficial por surcos	Riego por goteo o subirrigación
9. Uso indiscriminado de pesticidas	Control integrado de plagas
10. Cultivo de tierras marginales	Programa de conservación de reservas, recuperación de suelos degradados a través del cambio de uso de la tierra.

mente según la región del mundo, condiciones ambientales y manejo del sistema de cultivo, indicándose un rango de incertidumbre de 0.3% a 3%. A nivel global, se considera que los fertilizantes nitrogenados contribuyen al 23% de la emisión total de  $N_2O$  (IFA/FAO, 2001; citado por Snyder et al., 2009), pero el nivel de participación en la matriz de emisiones varía regionalmente de acuerdo al volumen y eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados. Pese a que existen ya varios trabajos de autores que han medido emisiones a campo en la Argentina (e.g. Alvarez et al. 2012, Cosentino et al. 2013, Chalco Vera et al. 2017), aún no es posible determinar factores de emisión adaptados a las condiciones locales del país. Para obtenerlos, serán necesarios mayores esfuerzos articulados y continuados en el tiempo, lo cual requiere mayor inversión en recursos humanos y equipamiento que la realizada hasta el momento.

## ■ MITIGACIÓN DE EMISIONES EN LA AGRICULTURA.

Las opciones de mitigación en el agro deben surgir de: a) la reducción de las emisiones de  $N_2O$ ; y b) el aumento de los sumideros de carbono. Un resumen de las prácticas de manejo recomendadas (PMR) y los manejos tradicionales que reemplazan se presenta en la Tabla 1. Las PMR mencionadas en la tabla son genéricas, pero su adaptación local es sitio-específica por lo que es difícil poder extrapolar resultados de un sitio a otro.

A modo de síntesis, puede afirmarse que las medidas posibles a tomar pasan por: (i) la mitigación de emisiones causadas por el incremento de la eficiencia de uso del N aplicado vía fertilizantes sintéticos; y (ii) el incremento de los sumideros de carbono a través de la intensifica-

ción de las rotaciones de cultivos, o la integración de ganadería en pastoreo con cultivos de cobertura. La mayor adopción de estas prácticas se logrará en gran parte cuando los productores perciban su utilidad y beneficio económico.

## ■ BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, C., Costantini, A., Alvarez, C.R., Alves, B.R., Jantalia, C.P., Martellotto, E.E. y Urquiaga, S. (2012). Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 94: 209-220.

Bateman, E.J. y Baggs, E.M. (2005). Contributions of nitrification and denitrification to  $N_2O$  emissions from soils at different water-filled pore space. *Biology and Fertility of Soils*. 41: 379-388.

Chalco Vera, J.; Valeiro, A.; Posse, G.; Acreche, M.M. (2017). To burn or not to burn: The question of straw burning and nitrogen fertilization effect on nitrous oxide emissions in sugarcane. *Sci. Total Environ*. 587: 399-406.

Cosentino, V.R.N., Figueiro Aurregui, S.A. y Taboada, M.A. (2013). Hierarchy of factors driving  $N_2O$  emissions in non-tilled soils under different crops. *European Journal of Soil Science*. 64: 550-557.

Crutzen, P.J., Mosier, A.R., Smith, K.A., Winiwarter, W. (2007).  $N_2O$  release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*.7: 11191-12205.

García, F. O. (2009). Eficiencia de uso de los nutrientes y mejo-

res prácticas de manejo para la nutrición de cultivos de grano. *Simposio Fertilidad*. 2009: 9-18.

Glinski, J., Stepniewski, W. (1985). *Soil aeration and Its Role for Plants*. CRC Press. Boca Raton, Florida: 138.

IPCC. (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Volume 4. Agriculture, forestry and other land use <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

Johnson, J.W., Murrell, T.S., Reetz Jr., H.F. (1997). Balanced fertility management: a key to nutrient use efficiency. *Better Crops*. 81, 3-5.

Robertson, G.P. y Groffman P. (2007). Nitrogen transformations. Pp. 341-64 en Paul, E.A. (ed.) *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*.

Rochette, P. (2010). Soil  $N_2O$  emissions. Possible refinements to the IPCC 2006 Guidelines. Presentado en IPCC Expert Meeting on HWP, Wetlands and Soil  $N_2O$ . Ginebra, octubre de 2010.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2015). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación, Buenos Aires, 282 p.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133: 247-266.

¡¡Oferta!!  
Pipetas y  
Artículos  
Plásticos



**Thermo**Forma

**Thermo**Labsystems



**Nikon**



**Thermo**Sorvall



**Thermo**Sorvall



Para encontrar todas las soluciones  
en instrumental, no hace falta investigar.



Carlos Pellegrini 755 - Piso 9 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Tel/Fax: 4326 5205 - 4322 6341 - [www.microlat.com.ar](http://www.microlat.com.ar)



Thermo

TMC



FOTODYNE

conviron

HITACHI



Molecular Devices