Informaciones Agronómicas
de Hispanoamérica

En este número

- Balance de nutrientes en Uruguay
- Emisiones de N_2O: Influencia del cultivo
- Fertilización balanceada de arroz
- Modelo de balance de N en trigo

IAH 17 - Marzo 2015

Balance de nutrientes de los principales productos agropecuarios de Uruguay para los años 1990, 2000 y 2010 2

Jerarquización de los factores reguladores de las emisiones de N_2O: Influencia del cultivo 14

Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos 20

Desarrollo de un modelo de balance de nitrógeno en trigo para la Región Semiárida Pampeana 24

Cursos y Simposios 28

Publicaciones Disponibles 30

Editores : **Dr. Fernando O. García**
Dr. Raúl Jaramillo
Dr. Armando Tasistro

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

http://www.ipni.net

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • http://Lacs.ipni.net

Oficina para el Norte de Latinoamérica • Casilla Postal 17 17 980 • Quito - Ecuador
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104 • Correo electrónico: aormaza@ipni.net • http://nla.ipni.net

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Norcross, GA 30092 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • http://mca.ipni.net

Balance de nutrientes de los principales productos agropecuarios de Uruguay para los años 1990, 2000 y 2010

Victoria Mancassola[1,*] y Omar Casanova[1]

Introducción

Los cambios estructurales que se produjeron en los últimos 20 años en la agropecuaria uruguaya se han caracterizado por el aumento en la intensidad de uso del suelo, incidiendo en procesos como la erosión y la evolución de la fertilidad de los suelos. En el año 1990 predominaba el sistema ganadero pastoril ocupando el 92% de la superficie agropecuaria del país, basado en campo natural (80%) (MGAP, 1994). Los cambios más importantes estuvieron dados por el aumento de la forestación, a partir del año 1990, en suelos de prioridad forestal y, posteriormente al año 2000, por la agricultura. En el año 2000 la producción del cultivo de soja ocupaba 12 000 ha (MGAP, 2000a), mientras que en el año 2010 pasó a ocupar 862 000 ha (MGAP, 2011), por lo cual el cultivo ocupó suelos pertenecientes al área agrícola tradicional, pero también suelos con restricciones para la agricultura, como mayor susceptibilidad a la erosión y degradación (Pérez Bidegain, 2010).

La producción ganadera-lanar tuvo un retroceso en superficie, pasando de 14.6 millones de ha en 1990 (MGAP, 1994) a 13 millones de ha en 2010 (80% de la superficie agropecuaria) (Rava et al., 2011). En el año 2010 se registró una disminución del ganado ovino que representó el 32% de las existencias del año 1990. Sin embargo, el número total de cabezas de ganado vacuno aumentó 35% (de 8 a 11 millones de cabezas) respecto al año 1990 (MGAP, 1994; 2011). Este aumento se explica por la incorporación de prácticas de producción más intensivas, mediante pasturas mejoradas, concentrados y feedlot (Arbeletche y Carballo, 2007, citado por Rava et al., 2011).

También, otro indicador del aumento de la intensidad de uso del suelo ha sido el incremento de los precios de la compraventa de campos. El precio promedio en el año 1990 y en el año 2000, fue de 451.5 y 448 US$ ha^{-1}, respectivamente (Instituto Nacional de Colonización, citado por Vassallo, 2006), en cambio el precio promedio en el año 2010 fue de 2633 US$ ha^{-1} (MGAP, 2012b).

A nivel regional, Cruzate y Casas (2012) concluyeron que, para suelos agrícolas de Argentina, el balance para los nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y azufre (S) es deficitario. Esto indicaría que algunos sistemas productivos no son sostenibles dado que, si la reposición fuera insuficiente, reduciría la disponibilidad de los mismos en los suelos. En relación a los productos agrícolas en Argentina, Cordone y Trossero (2012), concluyeron que las exportaciones agropecuarias tienen como recurso básico el suelo y el costo de su deterioro no se contabiliza en los resultados económicos de los cultivos ni en las cuentas nacionales, llamándolo "costo oculto".

En Uruguay, los suelos tradicionalmente utilizados para agricultura no tendrían limitantes para aportar K a los cultivos. Sin embargo, se ha observado que el K intercambiable en la zona de exploración radicular ha disminuido (Morón y Quincke, 2010). En 48 sitios del departamento de Soriano, estos autores encontraron que el K intercambiable fue menor a la referencia utilizada, sin historia agrícola, en las profundidades de 0-7.5 y 7.5-5 cm.

Los cambios registrados en los sistemas de producción y uso del suelo en los últimos 20 años en Uruguay llevan a preguntarse sobre cómo influyen en el balance de nutrientes a nivel del país, si existen excesos o pérdidas de nutrientes y en que magnitud.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el balance de nutrientes generado a nivel de país, tomando registros oficiales de producción y exportación de productos e importación de nutrientes como fertilizantes de los años 1990, 2000, y 2010, y valorizarlo en términos económicos.

Materiales y métodos

Se realizaron dos balances de nutrientes a escala nacional para las producciones agropecuarias más importantes, estas representaron 86% de las exportaciones en términos económicos y 99% de la superficie del país para el año 2010 (MGAP, 2011). En uno se consideraron la cantidad total en toneladas (t) de nutrientes extraídos en el total de la producción y en el segundo balance se incluyeron sólo las cantidades (t) de nutrientes en la producción exportada. Los años analizados fueron: 1990, 2000 y 2010, debido a que se pueden considerar como representativos de la dinámica y estructura productiva del país.

El tratamiento de los datos implicó la suma de todas las cantidades en toneladas (t) producidas, exportadas y la extracción de nutrientes de las mismas. Los productos seleccionados fueron: trigo, soja, cebada, arroz, maíz, girasol, sorgo, caña de azúcar, cítricos, frutales no cítricos (manzana, pera, uva y durazno), hortalizas (papa, cebolla, tomate, boniato, zanahoria y zapallo), forestales (eucalipto y pino), carne bovina, leche, carne ovina y lana). También se realizó una estimación de la extracción de los nutrientes en relación a la superficie ocupada por cada producción.

[1] **Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Av. Garzón 780, Montevideo. C.P. 12900 Facultad de Agronomía.**

[*] **Correo electrónico: mancassola@fagro.edu.uy**

Los datos de producción total, exportada y superficie, se obtuvieron de las siguientes fuentes: Censo General Agropecuario del año 1990 (MGAP, 1994), Censo General Agropecuario del año 2000 (MGAP, 2000a), Boletín informativo estadísticas del sector lácteo 2001 (MGAP, 2002), La citricultura en Uruguay contribución a su conocimiento (MGAP, 2003), Anuario Estadístico del año 2001 (MGAP, 2001), Anuario Estadístico del año 2011 (MGAP, 2011), Serie Histórica de DIEA (MGAP, 2012a), Dirección General Forestal (MGAP, 2000b), Boletín Estadístico del Banco Central del Uruguay Nº 138 (BCU, 1992) y Nº 164 (BCU, 1994), Anuario Estadístico del Instituto Nacional de Carnes (INAC, 1989; 1992; 2000; 2010). Para la producción forestal en el año 1990, se toma como producción total la producción exportada dado que no se encontraron registros de la producción total por género (MGAP, 2000b).

Se presentan las cantidades extraídas de nutrientes [N, P, K, Ca, magnesio (Mg) y S] para cada producción expresada en kg cada 1000 kg de producto **(Tabla 1)**. En cada caso se indica si la información corresponde a base seca o húmeda. En algunas producciones no se presenta la información sobre la extracción de S y, en algunas hortalizas no se encuentra el valor de Ca y Mg, por lo que para los nutrientes y productos señalados

Tabla 1. Estimaciones utilizadas de la cantidad de nutrientes extraídos.

Producto	N	P	K	Ca	Mg	S	Información*	Fuente
	---------- kg t^{-1} producto ----------							
Trigo	21	4	4	0.4	3	2	BS	Ciampitti y García, 2007
Soja	55	6	19	3	4	3	BS	
Cebada	15	3	5	0.8	1	2	BS	Ciampitti y García, 2007; Mc Donald, 1999[1]
Arroz	15	3	3	0.1	1	0.6	BS	
Maíz	15	3	4	0.2	2	1	BS	
Girasol	24	7	6	1	3	2	BS	
Sorgo	20	4	4	0.9	1	2	BS	
Caña de azúcar	3.4	0.6	3	0.5	0.5	0.2	BS	
Cítricos	1.61	0.21	1.94	0.8	0.18	0.5	BF	Promedio calculado a partir de valores citados por Erner et al., 1999; Ciampitti y García, 2007
Manzana	2.5	0.4	1.4	0.6	0.1	sd†	BF	Ciampitti y García, 2008
Pera	1.7	0.3	2.4	0.3	0.2	sd	BF	
Uva	4.4	0.7	5	2.7	0.7	sd	BF	
Durazno	2.8	0.5	3	0.2	0.3	sd	BF	
Papa	3.5	0.7	5.4	0.1	sd	sd	BF	
Cebolla	2.5	0.4	2.4	0.8	0.3	0.2	BF	
Tomate	1.9	0.2	3.1	0.1	0.1	0.1	BF	
Boniato	3	0.5	5	sd	sd	sd	BF	
Zanahoria	2	0.4	4	sd	sd	sd	BF	
Zapallo	1	0.2	1.5	sd	sd	sd	BF	
Eucalipto	0.62	0.07	0.39	1.36	0.3	sd	BS	Calculado a partir de Hernández et al., 2010
Pino	0.8	0.2	0.3	0.6	0.2	sd	BS	Calculado a partir de del Pino et al., 2010
Leche**	5.00[1]	1.19	1.52	1.22	0.12	0.33[1]	BF	Park, 1992; Park, 2009; Mc Donald, 1999[1]
Carne	38.00[2]	1.7	3.42	0.11	0.25	3.20[2]	BF	Belitz, 1997; Fennema, 2000[2]
Lana	103	3	1.2	4.6	1.2	22	BS	Barbazán et al., 2011b
Hueso	57.00[2]	125	0.56	267	4.4	4.80[2]	BF	Swenson y Reece, 1999; Fennema, 2000[2]

* *BS = base seca; BF = base fresca*
** *Densidad = 1.25 g.L^{-1}*
† *sd = sin datos*
[1] *Relación N:S de 15:1*
[2] *Se asume un 20% de proteína en carne y 30% en hueso: con 19% N y un 1.6% de S*

debe considerarse el balance para las producciones que presentan la información y tomar el valor total del balance con las limitantes indicadas.

En la producción agrícola, la extracción está expresada en base seca, por lo que se corrigió de acuerdo al porcentaje de humedad de los granos: trigo, cebada y soja 13%; sorgo y maíz 14%; y girasol 14.5% (Barbazán et al., 2011a); y arroz 13% (ACA, 2013). Para caña de azúcar se consideró 30% de materia seca (Guerra, 2011).

En la extracción de nutrientes de la producción de carne se incluyó la extracción realizada en la carne y en los huesos, ya que contienen la mayor parte de los minerales extraídos por los animales (más del 90% del Ca y 80% del P) (Engelhardt y Breves, 2005). En la carne bovina se consideró una producción de 50 kg de hueso total por cabeza de bovino faenada y en la carne exportada con hueso se consideró una relación de 15.6% de hueso en relación al peso de la res (Garriz, 2000). En la carne de ovino se consideró un 19.9 y 27.2% de hueso (Bianchi et al., 2006) según sea cordero pesado o liviano, respectivamente.

Para la producción de leche, se consideró la remoción de nutrientes en el producto leche mientras que los animales que salen de la producción láctea para faena se cuentan en la producción de carne, con la extracción de hueso y carne.

En la producción de lana, el registro se basa en lana sucia esquilada en t, este valor se utilizó tanto para la producción total como la exportada, ya que en Uruguay se procesa lana de otros países y luego se reexporta. Dada la heterogeneidad de la lana esquilada, se analiza su composición considerando: i) las distintas partes que conforman la muestra (restos vegetales, minerales, grasas, fibra de lana), ii) se lleva la muestra a peso seco (a 105°C), y iii) luego a ese peso se le agrega un porcentaje de humedad estándar según el producto considerado, por ejemplo en tops es de 18.25% (Pérez Atchugarry, 2012) de humedad. Para este trabajo se utilizan los datos de lana lavada y seca, a partir de datos de cinco zafras del Laboratorio de Lanas del SUL (com. pers., 2014), donde el promedio de rendimiento al lavado fue de 77% y en el peso el porcentaje de humedad agregado fue de 17%.

Las cantidades de nutrientes contenidos en la lana **(Tabla 1)** corresponden a material de enmienda que estuvo a la intemperie y pudo haber sufrido lixiviación de nutrientes (Barbazán, 2013, com. pers.). De todos modos, se optó por esta información dado que no se encontraron fuentes que reportaran todos los nutrientes de interés. Para analizar los resultados y por lo mencionado anteriormente, se puede estar subestimando la cantidad de nutrientes extraídos.

A la extracción de nutrientes en la producción pecuaria, se le restaron los aportes del campo natural de 5 kg N ha^{-1} $año^{-1}$ y de las praderas artificiales (leguminosas) de 200 kg N ha^{-1} $año^{-1}$ (Manchado, 2010). Para el cultivo de soja se asumió un 50% de aporte proveniente de la fijación biológica del N, dado que entre el 25 y 75% del N proviene de la fijación biológica de N (Deibert et al., 1979, citado por Rao y Reddy, 2010).

Para lana, carne ovina y bovina se asume que comparten la misma superficie y para asignarle el aporte de N del campo natural se divide el aporte entre tres, por lo que se le asigna un tercio del aporte a cada producción. Además a la carne bovina y a la lechería se le suman los aportes de las pasturas artificiales (leguminosas) y la superficie de pasturas mejoradas (gramíneas y campo natural fertilizado), en ambas se divide entre dos para asignarle mitad de superficie a la carne bovina y mitad a la lechería.

Para expresar la producción de pino y eucalipto en toneladas se corrigió por la densidad de la madera 0.47 g cm^{-3} (Raven et al., 1992) y 0.553 g cm^{-3} (Toval, 2010), respectivamente. En pino se adaptaron los datos de extracción de nutrientes de trozas en tala rasa presentados por del Pino et al. (2010). Para eucalipto se adaptaron los datos de Hernández et al. (2010).

En producción forestal y de carne, no se corrige la extracción de nutrientes a un año (total de extracción en la cosecha o faena dividido los años promedio del rodal o edad promedio de faena), dado que en ese mismo año otros rodales forestales y categorías de ganado están extrayendo nutrientes. Por la forma de cálculo, se asumió que se contemplan estas extracciones. De lo contrario este tipo de producciones requiere contabilizar las extracciones de acuerdo a los inventarios nacionales donde se discrimina cada rodal forestal, la categoría en el caso del ganado y el nivel de extracción acorde a la categoría.

La información correspondiente a las importaciones de fertilizantes y materias primas de los años 1990, 2000 y 2010, fue proporcionada por la División de Fertilizantes del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. En esa información los fertilizantes líquidos fueron corregidos por la densidad para ser expresados en masa (t). Para cada año se calculó la cantidad de nutrientes (t) contenidos en todos los fertilizantes importados.

A cada producción se le asignó una cantidad de los nutrientes importados, considerando si reciben fertilizaciones. Las producciones que se realizan total o parcialmente sobre campo natural no reciben fertilizaciones. En la ganadería bovina y lechería, se suman la superficie de las praderas artificiales y el campo mejorado, y sólo se consideran fertilizaciones con N y P. El S se utiliza para la elaboración de superfosfato común (Bordoli, 2008), por lo que se asume que no se fertiliza con S en ninguna producción.

Las producciones intensivas (frutales no cítricos, cítricos y hortalizas) son las que reciben fertilizaciones con K, Ca y Mg, además de N y P (Bordoli, 2008). Se asumió la fertilización con K, Ca y Mg para el año 2010 sólo en

producciones intensivas, si bien para el año 2010 fuera posible la fertilización con K para la agricultura. En el resto de las producciones se asumió que solo reciben fertilizaciones con N y P.

La cantidad de nutriente asignada a una producción en particular, consistió en dividir el total del nutriente de los fertilizantes, entre la sumatoria de las superficies ocupadas por las producciones que recibieron ese nutriente a través de fertilizaciones. Luego, la cantidad de nutriente por unidad de superficie se multiplicó por la superficie de la producción en cuestión.

Se hicieron dos balances de nutrientes, para cada año en particular, en uno se consideró la cantidad de nutrientes en la producción total y en el otro balance la producción exportada. Las entradas para el balance de los productos exportados son proporcionales a la cantidad de nutrientes asignados al total de la producción respecto a la producción exportada. Se calculó la diferencia entre las entradas (fertilizantes independientemente de las pérdidas por eficiencia de aplicación o destino del fertilizante) y las salidas (productos) del sistema. Cuando la diferencia fue negativa se consideró como una pérdida neta, un valor cercano al neutro se tomó como próximo al equilibrio, y un valor positivo podría indicar exceso, dependiendo de las características del sistema evaluado.

La cantidad de nutrientes también se expresó como fertilizantes para valorizarlos. Para esto último se eligieron los fertilizantes con mayor cantidad importada en Uruguay: urea (46-0-0), fosfato de amonio (18-46 P_2O_5-0; 18-20 P-0) y cloruro de potasio (0-0-60 K_2O, 0-0-50 K). Se valoró en dólares (valor CIF), según el precio de la tonelada para el año señalado, calculado a partir de la información de la División de Fertilizantes del MGAP. En P también se realizó el cálculo considerando como fuente fosforita (36% de P_2O_5), para comparar los resultados con una fuente que es utilizada en el país y que sólo aporta P. El S se valoriza considerando un 90% de S elemental. Para Ca y Mg se calculó en base a caliza ($CaCO_3$, 40% de Ca) y dolomita ($CaCO_3 \bullet MgCO_3$, 21.6% de Ca y 13.1% de Mg), la valorización se hizo sólo para el año 2010 y el precio se obtuvo de la consulta a comercializadoras locales.

Resultados y discusión

Es necesario considerar que por la escala y la forma de cálculo, con estos datos no es posible establecer como es el comportamiento o balance de cada nutriente en un suelo en particular o a nivel predial. Dado que por ejemplo, a nivel de un suelo, exigiría considerar el suministro del mismo a través de distintos procesos de: fijación, acumulación, reciclaje en el suelo, pérdidas, etc. procesos que dependen del tipo de suelo, historia de uso

Tabla 2. Superficie total (miles de ha), producción total (t) y producción exportada (t) según actividad para los año 1990, 2000 y 2010 en Uruguay.

Año	1990			2000			2010		
Producción	Sup. total[3] miles de ha	Prod. total -------- miles de t --------	Prod. exp.	Sup. total miles de ha	Prod. total -------- miles de t --------	Prod. exp.	Sup. total miles de ha	Prod. total -------- miles de t --------	Prod. exp.
Hortalizas	25	208.89	0.00	19	244.64	0.21	14	220.79	1.16
Frutos no cítricos	25	186.47	0.00	16	223.42	6.75	15	202.58	5.35
Cítricos	21	209.83	0.00	22	217.00	74.00	17	315.21	150.28
Soja	29	37.00	0.00	12	27.60	0.00	862	1541.00	645.10
Trigo	228	542.40	153.87	128	324.40	12.20	404	1300.70	1407.43
Cebada	91	202.60	118.80	92	228.80	156.86	62	186.40	274.76
Maíz	61	112.30	0.01	57	262.80	22.92	81	286.20	237.59
Sorgo	26	59.40	0.60	38	158.90	0.00	31	123.40	0.20
Girasol	59	28.70	0.02	49	58.30	3.83	3	3.90	0.86
Arroz	78	347.30	287.30	154	1030.20	741.38	196	1643.00	790.74
Caña de azúcar	10	682.80	0.00	3	149.50	0.00	7	313.30	0.00
Forestación[1]	170	46.47	46.47	554	3022.29	611.65	951	6470.37	4582.79
Carne bovina[2]	14 600	282.36	154.60	13 565	355.54	267.43	13 368	435.31	348.68
Leche	1064	1.17	0.19	993	1.68	0.60	857	2.21	1.33
Carne ovina[2]	14 600	51.74	23.12	13 565	39.91	17.91	13 368	24.80	15.94
Lana	14 600	96.30	96.30	13 565	57.40	57.40	13 368	32.00	32.00
Total	**16 486**	**3095.73**	**881.27**	**15 702**	**6402.36**	**1973.13**	**16 867**	**13 101.15**	**8494.04**

[1] Para 1990 se toma como valor de producción el exportado
[2] En el cálculo de nutrientes incluye la extracción de la carne y del hueso
[3] En algunas producciones se superpone la superficie

y manejo, tipo de fertilizantes aplicados, etc. Además, la forma de asignación de nutrientes asumió que las producciones que reciben fertilizantes, reciben en toda la superficie la misma cantidad, aspecto que en realidad varía en cada producción y en cada sitio.

Producción total del país

En el año 2010 la producción total del país medida en cantidad de producto (t) fue cuatro veces mayor a la de 1990, destacándose la producción forestal, como resultado de las implantaciones realizadas durante la década del 90 **(Tabla 2)**. La exportación de la producción aumentó de 28% en el año 1990 a 65% en el año 2010. A partir del año 2000 la producción agrícola en condiciones de secano exportada comenzó a aumentar, superando en el año 2010 a la producción de arroz regado exportada, explicado por el aumento del área sembrada con soja.

Las producciones de soja, trigo, maíz, arroz y forestación aumentaron su producción y superficie. La superficie y producción de sorgo se mantuvo estable. En las producciones vegetales intensivas y en la lechería se redujo la superficie, pero la producción aumentó debido a cambios tecnológicos, como la incorporación del riego, variedades, reservas forrajeras, entre otros. La producción de carne bovina aumentó pero redujo su superficie. La producción ovina de carne y lana redujo su superficie y producción **(Tabla 2)**.

Los cambios tecnológicos han propiciado la intensificación de los sistemas productivos, aumentando el rendimiento por superficie y, en consecuencia, la extracción de nutrientes **(Tabla 3)**. Por ejemplo, para arroz, las extracciones de N para 1990 fue de 58 kg ha^{-1}, en los años 2000 y 2010 estuvo en 87 y 109 kg ha^{-1} respectivamente. En hortalizas, las extracciones de K, en el año 1990 eran de 37 kg ha^{-1}, aumentando a 57 y 70 kg ha^{-1} en los años 2000 y 2010 respectivamente **(Tabla 3)**.

Fertilizantes importados

Para los tres años analizados, la cantidad total de fertilizantes importados ha aumentado casi seis veces, de 160 a 880 miles de t desde 1990 a 2010. Los fertilizantes más importantes en 2010 en volumen fueron: urea (29%), fosfato de amonio (30%) y cloruro de potasio (5%). En relación a los nutrientes importados, la mitad fue N, el 30% fue P, y el resto de los nutrientes se presentaron con valores inferiores al 10%, por lo que los nutrientes secundarios se encontraron como acompañantes de los macronutrientes.

En Ca y Mg, las cantidades de nutrientes importados fueron bajas, pero debe considerarse que en Uruguay existen fuentes de materiales ricos en Ca y Mg, como son caliza y dolomita. Las extracciones de caliza tienen fines industriales y para encalado de suelos, en los registros consultados del Ministerio de Industria, Energía y Minería (2012) no se especifican los distintos usos. A modo informativo, en los años 2000 y 2010, las extracciones de caliza fueron de 1259 y 1432 mil t, respectivamente. Las extracciones de dolomita, para los años citados, fueron de 8.2 y 18.5 mil t respectivamente, donde tampoco se especifica el uso.

El aumento en la cantidad de fertilizantes importados entre 1990 y 2010 se debió a los incrementos en área de varios cultivos **(Tabla 2)** y también a los aumentos del aporte de nutrientes por ha **(Tabla 3)**. El aporte teórico estimado paso de 11 kg ha^{-1} en 1990 a 29 kg ha^{-1} en 2010 para N, y de 6 kg ha^{-1} en 1990 a 15 kg ha^{-1} en 2010 para P.

Balance de nutrientes. Producción total-fertilizantes importados

El valor total del balance **(Tabla 4)** intenta reflejar a nivel global si los nutrientes importados cubren o no la demanda de todas las producciones, si el suministro fuera exclusivamente de éstos. El balance de cada producción puede diferir del resultado global e indica la tendencia y magnitud en cuanto a pérdidas o excesos frente a un suministro teórico, donde las extracciones de la producción comercializada son un valor de base o "mínimo".

En el año 1990 con el aporte del campo natural y de las pasturas mejoradas, se cubrieron las necesidades de las producciones pecuarias **(Tabla 4)**. En el conjunto de las producciones el N fue el único nutriente con balance positivo con 7400 t, con aportes de carne bovina y lechería. Asimismo, el nutriente que se observó con mayor pérdida fue el Ca con 17 mil t donde la producción de carne bovina tuvo una incidencia del 66% y esto significó alrededor de 1 kg Ca ha^{-1} **(Tabla 4)**.

En el año 2000, se registró un incremento en la importación de N y P, y sólo se registran excesos de N y P en carne bovina, leche y forestación. Sin embargo, las importaciones de K y los nutrientes secundarios se mantuvieron en cantidades similares a las del año 1990, pero con niveles mayores de extracción, por lo que el balance de éstos nutrientes siguió una tendencia negativa en la mayor parte de las producciones, excepto en las producciones vegetales intensivas donde se aplican con frecuencia y en cantidades importantes. Las pérdidas para el resto de las producciones en K, Ca, Mg y S se estimaron en 5, 31, 4 y 5 mil t, respectivamente.

En el año 2010, en el total de la producción, el exceso de N y P fue de 74 y 55 mil t, respectivamente. En N, las producciones que contribuyeron a este exceso fueron la lechería, carne bovina y forestación en 47, 47 y 23 mil t, representando 29, 29 y 24 kg N ha^{-1}. En P, los excesos se observaron en lechería, forestación y carne bovina siendo de 25, 14 y 10 mil t, representando por unidad de superficie 15, 15 y 6 kg P ha^{-1}. En cambio, la pérdida más importante de N se estimó en arroz, trigo y soja, con 16, 12 y 12 mil t, que representaron una pérdida de 81, 30 y 14 kg N ha^{-1}.

Tabla 3. Rendimiento, aporte teórico de nutrientes por los fertilizantes[1] y extracción de nutrientes para las diferentes producciones para los años 1990, 2000 y 2010 en Uruguay.

Nutriente	Aporte teórico de nutrientes	Extracción de nutrientes															
		Hortalizas	Frutales no cítricos	Cítricos	Soja	Trigo	Cebada	Maíz	Sorgo	Girasol	Arroz	Caña de azúcar	Forestación[2]	Carne bovina[3]	Leche	Carne ovina[3]	Lana
	kg ha^{-1}																
1990																	
Rend.	-	8293	7505	9906	1298	2380	2236	1850	2267	489	4447	66 291	273	24	1	4	7
N	11	24	28	16	31	43	29	24	39	10	58	68	0.17	0.94	0.0055	0.215	0.43
P	6	4	4	2	0.2	8	6	5	8	3	12	12	0.02	0.48	0.0013	0.182	0.01
K	62[4]	37	30	19	21	8	10	6	8	3	12	60	0.11	0.07	0.0017	0.013	0.01
Ca	54[4]	4	14	8	3	1	2	0.3	2	0.4	0.4	10	0.37	0.96	0.0013	0.377	0.02
Mg	0[4]	2	4	2	5	6	2	3	2	1	4	10	0.08	0.02	0.0001	0.007	0.01
S	0[5]	2	sd	5	3	4	4	2	4	1	2	4	sd	0.08	0.0004	0.018	0.09
2000																	
Rend.	-	13 105	13 680	10 046	2300	2534	2482	4594	4138	1195	6703	53 393	5455	31	2	3	4
N	13	37	47	16	55	46	32	59	71	25	87	54	4	1.39	0.0084	0.183	0.28
P	6	7	8	2	12	9	6	12	14	7	17	10	1	0.90	0.0020	0.161	0.01
K	128[4]	57	48	19	38	9	11	16	14	6	17	48	2	0.09	0.0026	0.011	0.00
Ca	49[4]	5	22	8	8	1	2	1	3	1	1	8	6	1.83	0.0021	0.334	0.01
Mg	0.3[4]	3	6	2	8	7	2	8	4	3	6	8	1	0.04	0.0002	0.006	0.00
S	0[5]	2	sd	5	6	4	4	4	7	2	3	3	sd	0.12	0.0006	0.015	0.06
2010																	
Rend.	-	16 212	13 915	18 542	1787	3220	3011	3538	3930	1258	8383	48 200	6804	39	3	2	2
N	29	45	49	30	43	59	39	46	68	26	109	49	4	1.71	0.0129	0.118	0.16
P	15	8	8	4	9	11	8	9	14	8	22	9	1	1.09	0.0031	0.108	0.00
K	512[4]	70	50	36	30	11	13	12	14	6	22	43	3	0.12	0.0039	0.007	0.00
Ca	196[4]	8	23	15	5	1	2	1	3	1	1	7	9	2.20	0.0031	0.224	0.01
Mg	2[4]	3	6	3	6	8	3	6	3	3	7	7	2	0.04	0.0003	0.004	0.00
S	0[5]	3	sd	9	5	6	5	3	7	2	4	3	sd	0.14	0.0009	0.010	0.03

[1] *En base a las superficies de producción que se fertilizan*
[2] *Para 1990 se toma como valor de producción el exportado*
[3] *En el cálculo de nutrientes incluye la extracción de la carne y del hueso*
[4] *Sólo superficie de producciones intensivas*
[5] *Es materia prima para fosfatados, no se fertiliza con S*

Tabla 4. Balance de nutrientes entre producción total y nutrientes aportados mediante fertilizantes para los para los años 1990, 2000 y 2010 en Uruguay.

Nutriente	Hortalizas	Frutales no cítricos	Cítricos	Soja	Trigo	Cebada	Maíz	Sorgo	Girasol	Arroz	Caña de azúcar	Forestación[1]	Carne bovina[2]	Leche	Carne ovina[2]	Lana	Total
	t																
1990																	
N	-317	-410	-104	-571	-7398	-1645	-780	-733	58	-3672	-583	1844	10 854	10 854	0	0	7397
P	52	49	92	-10	-423	54	100	-36	206	-404	-57	1089	-673	6329	-2664	-185	3518
K	649	813	916	-612	-1888	-881	-386	204	-147	-906	-615	-18	-995	-1.8	-189	-74	-4539
Ca	1273	1007	980	-97	-189	-141	-19	-46	-25	-30	-102	-63	-13 966	-1.4	-5509	-283	-17 211
Mg	-43	-95	-38	-129	-1416	-176	-193	-51	-74	-302	-102	-14	-300	-0.1	-104	-74	-3111
S	-38	sd	-105	-97	-944	-353	-97	-102	-49	-181	-41	sd	-1154	-0.4	-265	-1354	-4779
2000																	
N	-448	-560	-76	-508	-4304	-1817	-2665	-2246	-578	-11 496	-117	4922	37 929	22 796	0	0	40 831
P	-9	-23	88	-70	-338	-27	-324	-309	-47	-1739	-10	3051	6283	11 118	-2185	-110	15 348
K	1326	1303	2341	-456	-1129	-995	-904	-547	-299	-2689	-135	-1066	-1268	-2.5	-146	-44	-4711
Ca	812	439	876	-97	-113	-159	-45	-123	-50	-90	-22	-3157	-24 847	-2.0	-4527	-169	-31 274
Mg	-41	-93	-32	-96	-847	-199	-452	-137	-150	-896	-22	-781	-498	-0.2	-85	-44	-4373
S	-42	sd	-109	-72	-564	-398	-226	-273	-100	-538	-9	sd	-1584	-0.6	-209	-807	-4931
2010																	
N	-223	-290	-20	-12 126	-12 169	-656	-1370	-1221	9	-15 816	-133	23 216	47 164	47 164	0	0	73 530
P	96	107	192	5042	1606	453	490	52	24	-1313	42	13 934	10 431	24 941	-1442	-61	54 592
K	6031	6727	8100	-25 473	-4526	-811	-1985	-424	-20	-4288	-282	-2490	-1550	-3.4	-91	-25	-20 111
Ca	2561	2511	3076	-4022	-453	-130	-49	-96	-3	-143	-47	-8520	-29 467	-2.7	-2993	-94	-37 872
Mg	-17	-61	-20	-5363	-3395	-162	-492	-106	-10	-1429	-47	-1904	-594	-0.3	-55	-25	13 681
S	-39	sd	-158	-4022	-2263	-324	-246	-212	-7	-858	-19	sd	-1922	-0.7	-133	-450	-10 654

[1] Para 1990 se toma como valor de producción el exportado
[2] En el cálculo de nutrientes incluye la extracción de la carne y del hueso

En 2010, el P presentó balance negativo en arroz con 1300 t (alrededor de 7 kg P ha^{-1}) con la particularidad de que la forma de cultivo inundado aumenta la disponibilidad del P y a su vez en suelos con valores de 7-8 ppm el agregado de P no tiene respuesta (Hernández citado por Bordoli, 2008). La carne ovina y lana, presentan un balance negativo insignificante de alrededor de 0.1 kg P ha^{-1}, y el resto de las producciones presentan leve exceso o están en equilibrio.

En relación a K, Ca y Mg, estos nutrientes se asignaron a las producciones intensivas, resultando en exceso para K y Ca, y pérdida neta de Mg. Para el resto de las producciones, en el periodo evaluado, se observaron pérdidas netas de los tres nutrientes. Para éstos últimos, las pérdidas observadas en el balance del año 2010 en el total de las producciones fueron de 20, 38 y 14 mil t de K, Ca y Mg, respectivamente, donde el cultivo de soja produce la mayor pérdida en el entorno de las 25 mil t de K, 4 mil t de Ca y 5 mil t de Mg. En la producción forestal y de carne bovina también se destaca la pérdida en Ca con alrededor de 9 y 29 mil t, respectivamente, aunque llevado a unidad de superficie representan 9 y 2 kg ha^{-1}, respectivamente. El S registra pérdidas netas en el balance total de las producciones con 11 mil t, en particular en cultivos como soja y trigo las pérdidas son de 4 y 2 mil t, y en carne bovina de 2 mil t, mientras las otras producciones presentan pérdidas con valores menores a 900 t.

Valorización del Balance

Los excesos de N valorizados en 1990 fueron equivalentes a 16 mil t de urea valorizadas en 2.4 millones de US$ **(Tabla 5)**. Para P, el exceso de 17 mil t de fosfato de amonio se valoriza en 3.4 millones de US$. Las pérdidas netas de K, Ca, Mg y S, fueron estimadas en 9, 7, 24 y 5 mil t de KCl, caliza, dolomita y azufre respectivamente.

En el año 2000 se presentaron excesos en N y P, que expresados como fertilizantes fueron 91 mil t de urea y 76 mil t de fosfato de amonio con valores de 13 y 15 millones de US$. Las pérdidas de los demás nutrientes expresadas como KCl, caliza, dolomita y azufre fueron de 9, 13, 33 y 5 mil t **(Tabla 5)**.

Para el año 2010, los excesos de N expresados como urea se estimaron en 163 mil t con un valor de alrededor de 24 millones de US$. Si se observan las producciones en particular, las únicas que presentaron exceso de N son la ganadería bovina, la lechería y la forestación, estos excesos valorizados representan 15, 15 y 8 millones de US$ respectivamente **(Tabla 5)**.

Las pérdidas de K, Ca, Mg y S para el año 2010 expresados como KCl, caliza, dolomita y azufre representaron unos 40, 15, 104, 12 mil t, con un valor aproximado de 5, 2, 13 y 1.5 millones de US$ respectivamente. La producción con mayor pérdida de K, Mg y S fue la de soja, con alrededor de 51 mil t de KCl, 41 mil t de dolomita y 4 mil t de azufre, equivalentes a 7.5 y 0.5 millones de US$ respectivamente **(Tabla 5)**.

La valorización de P como fosforita (00-36-00) del exceso fue de 347 mil t valorizado en aproximadamente 22 millones de US$.

La suma de los excesos de N como urea y P como fosforita representan 46 millones de US$. Las pérdidas de K, Ca, Mg y S fueron alrededor de 21 millones de US$. Las pérdidas valorizadas se pueden interpretar como el costo de los nutrientes que se extrajeron del suelo. En el caso de los excesos de nutrientes, representan una fuente potencial de contaminación para cursos de agua y una reducción en la eficiencia productiva. Esto implicaría pérdidas económicas, ya sea por excesos y pérdidas que no son considerados en los resultados económicos de los distintos sistemas productivos.

Balance de nutrientes. Producción exportada-fertilizantes importados

El balance para la producción exportada en 1990 presenta exceso para N y P en 3 mil t y 0.7 mil t respectivamente. Para K, Ca, Mg y S, la tendencia es a la pérdida, pero no superan las 5 mil t. Las producciones que presentaron mayores pérdidas fueron arroz, trigo y cebada. En 1990, los excesos valorizados de N fueron de 0.9 millones de US$ como urea y en P de 0.3 millones de US$ como fosforita **(Tabla 6)**.

En el año 2000, los excesos de N fueron de 20 mil t valorizados como urea en 6 millones de US$ y en 3 mil t de P valorizadas en 1.3 millones de US$ como fosforita. La tendencia de K, Ca, Mg y S, fue a la pérdida no superando las 3 mil t para cada nutriente **(Tabla 6)**.

En el año 2010, las extracciones aumentaron siete veces en relación al año 1990. En N y P siguió la tendencia del año 2000 al aumento de los excesos, estos fueron de 47 mil t de N y 28 mil t de P, valorizados en 15 millones de US$ como urea y 11 millones de US$ como fosforita. La tendencia fue a la pérdida para K, Ca, Mg y S con valores de 17, 8, 7 y 6 mil t respectivamente. Estos valorizados como KCl, caliza, dolomita y S, representan 4, 0,4, 7 y 0,9 millones de US$. Las pérdidas por producción fueron mayores para K, Mg y S en soja y trigo. Para Ca se destaca la pérdida en forestación **(Tabla 6)**.

La diferencia en el balance de la producción total y la exportada en el año 2010, se puede deber a la fuerte participación de la agricultura en las exportaciones, donde el 29% del N extraído en la producción total se exporta como granos de soja y trigo, cuando las extracciones en 1990 para trigo y cebada representaban sólo el 8%. Para K, en soja y trigo se exportaron el 22 y 10% del K extraído en la producción total cuando en 1990 lo exportado era alrededor del 11% de trigo y cebada. En Mg, la pérdida más alta fue para la producción exportada de trigo con 20% de un total de extracción de 14 mil t en la producción total. En la producción exportada, las pérdidas totales se

Tabla 5. Balance de nutrientes valorizado como fertilizantes para los años 1990, 2000 y 2010 en Uruguay.

Nutriente	Hortalizas	Frutales no cítricos	Cítricos	Soja	Trigo	Cebada	Maíz	Sorgo	Girasol	Arroz	Caña de azúcar	Forestación[1]	Carne bovina[2]	Leche	Carne ovina[2]	Lana	Total
	miles US$																
1990																	
Urea	-103	-133	-34	-185	-2400	-534	-253	-238	19	-1191	-189	598	3521	3521	0	0	2400
Fosforita	21	20	37	-4	-172	22	41	-15	84	-165	-23	443	-274	2575	-1084	-75	1431
Fosfato de amonio	50	47	88	-9	-403	51	96	-34	196	-386	-54	1039	-643	6040	-2542	-176	3358
KCl	172	215	242	-162	-499	-233	-102	-54	-39	-240	-163	-5	-263	-0.5	-50	-20	-1200
S	-5	sd	-14	-13	-128	-48	-13	-14	-7	-25	-6	sd	-156	-0.1	-36	-184	-648
2000																	
Urea	-145	-182	-25	-165	-1396	-590	-865	-729	-187	-3730	-38	1597	12 305	7395	0	0	13 247
Fosforita	-4	-9	36	-28	-137	-11	-132	-126	-19	-707	-4	1241	2556	4523	-889	-45	6244
Fosfato de amonio	-9	-22	84	-67	-322	-26	-310	-295	-45	-1659	-9	2911	5996	10 610	-2085	-105	14 646
KCl	351	344	619	-121	-292	-263	-239	-145	-79	-711	-36	-282	-335	-0.7	-39	-12	-1246
S	-6	sd	-15	-10	-77	-54	-31	-37	-14	-73	-1	sd	-215	-0.1	-28	-109	-668
2010																	
Urea	-72	-94	-6	-3934	-3948	-213	-445	-396	3	-5131	-43	7532	15 301	15 301	0	0	23 855
Fosforita	39	43	78	2051	653	184	199	21	10	-534	17	5669	4243	10 146	-587	-25	22 209
Fosfato de amonio	92	102	183	4811	1532	432	467	50	23	-1253	40	13 298	9954	23 802	-1376	-59	52 098
KCl	1595	1779	2142	-6736	-1197	-214	-260	-112	-5	-1134	-75	-659	-410	-0.9	-24	-6	-5318
Caliza	113	110	135	-177	-20	-6	-2	-4	0	-6	-2	-375	-1297	-0.1	-132	-4	-1666
Dolomita	-16	-56	-18	-4912	-3110	-149	-451	-97	-9	-1309	-43	-1744	-544	-0.2	-51	-22	-12 532
S	-5	sd	-21	-545	-307	-44	-33	-29	-1	-116	-3	sd	-261	-0.1	-18	-61	-1444

[1] *Para 1990 se toma como valor de producción el exportado*
[2] *En el cálculo de nutrientes incluye la extracción de la carne y del hueso*

Tabla 6. Balance de nutrientes de la producción exportada y su valorización como fertilizantes para los años 1990, 2000 y 2010 en Uruguay.

Nutriente	Balance de nutrientes														- Balance valorizado fertilizante -	
	Frutales no cítricos	Cítricos	Soja	Trigo	Cebada	Maíz	Girasol	Arroz	Forestación[1]	Carne bovina[2]	Leche	Carne ovina[2]	Lana	Total	Fertilizante	Total
	t														miles US$	
1990																
N	0	0	0	-1810	-965	-0.06	0.04	-3037	1844	5112	1716	0	0	2860	Urea	926
P	0	0	0	-106	31	-0.01	0.13	-335	1089	-148	1001	-638	-185	711	Fosforita	289
															Fosfato de amonio	678
K	0	0	0	-471	-517	-0.03	-0.09	-750	-18	-534	-0.28	-82	-74	-2447	KCl	-648
Ca	0	0	0	-50	-83	0.00	-0.02	-30	-63	-2735	-0.23	-1281	-283	-4524	-	-
Mg	0	0	0	-295	-103	-0.02	-0.05	-250	-14	-83	-0.02	-27	-74	-846	-	-
S	sd	0	0	-202	-207	-0.01	-0.03	-181	sd	-544	-0.06	-97	-1354	-2585	S	-350
2000																
N	-11	-26	0	-140	-1246	-232	-38	-8273	916	21 078	8093	0	0	20 120	Urea	6527
P	-0.5	30	0	-11	-19	-28	-3	-1251	416	559	3947	-415	-110	3115	Fosforita	1267
															Fosfato de amonio	2972
K	21	798	0	-37	-682	-79	-20	-1935	-233	-917	-0.90	-63	-44	-3192	KCl	-844
Ca	5	299	0	-4	-109	-4	-3	-90	-784	-1381	-0.73	-822	-169	-3064	-	-
Mg	-1	-11	0	-23	-139	-39	-10	-645	-177	-89	-0.07	-18	-44	-1194	-	-
S	sd	-37	0	-16	-273	-20	-7	-538	sd	-880	-0.20	-72	-807	-2650	S	-359
2010																
N	-5	-9	-4476	-11 355	-656	-1137	2	-7612	16 205	27 523	28 474	0	0	-46 953	Urea	-15 232.2
P	2	91	1899	1529	453	406	5	-632	9027	534	15 057	-367	-61	27 944	Fosforita	11 368.2
															Fosfato de amonio	26 667.6
K	96	3862	-9429	-4310	-811	-817	-4.4	-2064	-1785	-1193	-2.03	-56	-25	-16 539	KCl	-4369.1
Ca	17	1466	-1459	-453	-130	-41	-0.7	-110	-6212	-358	-1.63	-728	-94	-8103	Caliza	-355.9
Mg	-1	-9	-1740	-2694	-162	-409	-2.2	-688	-1372	-92	-0.16	-16	-25	-7210	Dolomita	-6604.9
S	sd	-75	-1571	-1849	-324	-204	-1.5	-688	sd	-1122	-0.44	-64	-450	-6350	S	-860.8

[1] *Para 1990 se toma como valor de producción el exportado*
[2] *En el cálculo de nutrientes incluye la extracción de la carne y del hueso*

estimaron en alrededor de 12 millones de US$, aspecto a tomar en cuenta al momento de evaluar los resultados económicos de las producciones y las medidas de manejo tendientes a mitigar estas pérdidas.

Síntesis final

- En los tres años analizados, la producción total se incrementó de 3 millones de t en 1990 a 13 millones de t en 2010 y la producción exportada fue de un 28% y un 65%, respectivamente. La extracción de nutrientes por unidad de superficie aumentó para todos los nutrientes, por ejemplo la tasa de extracción máxima para el cultivo de arroz en 1990 fue de 58 kg N ha^{-1}, mientras que en 2010 fue de 109 kg N ha^{-1}. El resultado de la intensificación del uso del suelo, donde además de las exportaciones tradicionales se han sumado otras con mayor extracción por unidad de superficie, exige un mejor seguimiento de las producciones para asegurar el agregado de nutrientes cuando corresponda.

- El balance correspondiente a la producción total en 2010 mostró un signo positivo de 74 mil t de N, siendo las producciones con balance positivo la carne bovina, lechería y forestación, mientras que el resto de las producciones mostraron balances negativos para N, especialmente en arroz, soja y trigo.

- Para P, en 2010, el exceso fue de 55 mil t, equivalentes a 272 mil t de fosfato de amonio valorizado en 52 millones de US$. Las producciones con mayor excedente fueron lechería, forestación y carne bovina.

- En referencia a K, Ca, Mg y S, la tendencia es a presentar pérdidas netas, siendo muy importantes cuantitativamente. Para el año 2010, el K estuvo en torno a 40 mil t en forma de cloruro de potasio; mientras que para Ca, Mg y S fue de aproximadamente 15, 104 y 12 mil t como caliza, dolomita y azufre respectivamente. En términos económicos estas pérdidas son equivalentes a 5, 2, 13 y 1.5 millones de US$, respectivamente.

- En el balance de la producción exportada surge que, para el año 1990 se observa un leve exceso de 3 y 0.7 mil t de N y P respectivamente. Para K, Ca, Mg y S la tendencia es a la pérdida con valores que no superan las 5 mil t.

- En 2010, las extracciones en la producción exportada aumentaron siete veces en relación al año 1990 y continúa la tendencia observada en el año 2000. Los excesos en 2010 fueron de 47 mil t de N y 28 mil t de P, valorizados en 15 millones de US$ como urea y 11 millones de US$ como fosforita. La tendencia fue a la pérdida para K, Ca, Mg y S con valores de 17, 8, 7 y 6 mil t respectivamente. Estos valorizados como KCl, caliza, dolomita y S, representan 4, 0.4, 7 y 0.9 millones de US$. En las producciones las mayores pérdidas para K, Mg y S fueron en soja y trigo. Para Ca se destaca la pérdida en forestación.

- A modo de ejemplo, las pérdidas para la producción exportada en 2010 fueron en total de 12 millones de US$, algo más de la mitad de los 21 millones de US$ de la producción total. Por lo que, los excesos y pérdidas dejan en evidencia las ineficiencias económicas y productivas, además de potenciales riesgos ambientales. Estos costos se deberían considerar en los resultados económicos de las producciones en un escenario de producción y exportaciones crecientes.

- Por último, se deberían seguir mejorando estos cálculos a través de la consideración del suministro de los suelos y de la reserva que los suelos tienen de estos nutrientes. A su vez, los cálculos presentados intentan mostrar en que sentido se pueden dar pérdidas o excesos y de que magnitud, en un año en particular. Sin embargo, no indica como es el efecto acumulado de estas extracciones y otros procesos asociados de reciclaje de nutrientes, fijación, etc. por lo que sería interesante en próximos trabajos incorporar estos aspectos.

Bibliografía

ACA. 2013. Guía de buenas prácticas. Asociación de Cultivadores de Arroz. Uruguay. Disponible en: http://www.aca.com.uy/images/stories/GUIA_DE_BUENAS_PRACTICAS_marzo_2013.pdf#zoom=100. Consultado diciembre 2012.

Barbazán, M., C. Bautes, L. Beux, M. Bordoli, J. Cano, O. Ernst, A. García, F.O. García, y A. Quincke. 2011a. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. Agrociencia. Uruguay. Volumen 15 2. pp. 93-99.

Barbazán, M., A. del Pino, C. Moltini, J. Hernández, y J. Rodríguez. 2011b. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. Agrociencia Uruguay, Volumen 15 1: pp. 82-92.

BCU. 1992. Departamento de Estadísticas Económicas. Departamento de Investigaciones Económicas. Boletín Estadístico Nº 138. Banco Central del Uruguay. 113 p.

BCU. 1994. Área de Estadísticas Económicas. Área de Política Monetaria y Programación Macroeconómica. Boletín Estadístico Nº 164. Banco Central del Uruguay. 93 p.

Belitz, H.D., y W. Grosch. 1997. Química de los alimentos. 2da. Edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 1087 p.

Bianchi, G., G. Garibotto, O. Feed, O. Bentancur, y J. Franco. 2006. Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. Arch. Med. Vet. 38, Nº 2. Uruguay. pp. 161-165.

Bordoli, J. 2008. Capítulo III Fosfatos. Uruguay Demanda de Fertilizantes. En: Minerales para la agricultura en Latinoamérica. CYTED CEPS OLAMI .Ed. Nielson- Sarudiansky Argentina. pp. 177-183.

Ciampitti I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. En: IPNI Cono Sur Informaciones Agronómicas Nº 33, Archivo Agronómico Nº 11: pp. 13-16. [En línea] Disponible en: http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/e036ac788900a6560325728e0069ff05/$FILE/I.%20Ciampitti-%20Requerimientos.pdf. Consultado mayo 2012.

Ciampitti I.A., y F.O. García. 2008. Requerimientos nutricionales Absorción y Extracción de macronutrientes y nutrientes

secundarios. ii. hortalizas, Frutales y Forrajeras. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur Nº 37. Archivo Agronómico Nº 12. IPNI. 28 p. Disponible en: http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/60E2EB2BAE651DD2852579950077196F/$FILE/IA%2037.pdf. Consultado octubre 2013.

Cordone, G., y M. Trossero. 2012. Costo oculto privado y social del sistema productivo. La degradación del suelo pampeano. Buenos Aires, Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 7:2-5.

Cruzate, G., y R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Buenos Aires, Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 6:7-14.

del Pino, A., J. Hernández, y G. Arrarte. 2010. Descomposición de residuos de Pinus taeda en Uruguay. En: Jornadas de actualización técnica. 10 años de investigación en producción forestal. Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía. Productividad y preservación de los recursos suelo y agua. Montevideo. Uruguay. 5 p.

Engelhardt, W.V., y G. Breves. 2005. Fisiología Veterinaria. Editorial Acribia. Zaragoza, España 683 p.

Erner, Y., A. Cohen, y H. Magen. 1999. Fertilizing for high yield: citrus. 2nd revised edition. International Potash Institute – bulletin Nº 4. Basel, Switzerland. 59 p. [En línea]Disponible en: http://www.ipipotash.org/udocs/IPI-BULLETIN-4_FERTILIZING-FOR-HIGH-YIELD_CITRUS.pdf. Consultado junio 2012.

Fennema, O.R. 2000. Química de los alimentos. 2da. Edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 1258 p.

Garriz, C.A. 2000. Subproductos ganaderos: huesos. INTA, Castelar. Argentina. 5 p. [En línea] Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/ Consultado abril 2013.

Guerra, S. 2011. ¿Qué debemos tener en cuenta para incorporar la caña de azúcar en la dieta de nuestros animales? INTA. Argentina. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/bfque-debemos-tener-en-cuenta-para-incorporar-la-cana-de-azucar-en-la-dieta-de-nuestros-animales/ Consultado octubre 2013.

Hernández, J., A. del Pino, y G. Arrarte. 2010. Cuantificación de la extracción y reciclaje de nutrientes en eucalipto. En: Jornadas de actualización técnica. 10 años de investigación en producción forestal. Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía. Productividad y preservación de los recursos suelo y agua. 2010. Montevideo. Uruguay. 5 p.

INAC. 1989. Anuario Estadístico de existencias, faena y exportación. Uruguay. 91 p.

INAC. 1992. Anuario Estadístico de existencias, faena y exportación. Uruguay. 90 p.

INAC. 2000. Anuario Estadístico de existencias, faena y exportación. Uruguay. 108 p.

INAC. 2010. Anuario Estadístico de existencias, faena, precios, exportación. Uruguay. 151 p.

Manchado, J. 2010. La sustentabilidad en la agricultura pampeana: Valoración económica del balance de nutrientes para las principales actividades agropecuarias extensivas en la Región Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires. En: XLI REUNION ANUAL DE LA Asociación Argentina de Economía Agraria. San Luis, Argentina. 18 p. [En línea] Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos Consultado julio 2012.

Mc Donald, E., y M. Greenhalgh. 1999. Nutrición Animal. 5ª edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 576 p.

MGAP. 1994. Censo General Agropecuario 1990. Dirección de Censos y Encuestas. Montevideo. 239 p.

MGAP. 2000a. Censo General Agropecuario 2000, sistema de información. Montevideo. Facultad de Agronomía. 1 CD.

MGAP. 2000b. Uruguay Forestal: Antecedentes, Legislación y Política, Desarrollo Actual y Perspectivas. Dirección General Forestal. Montevideo. 40 p.

MGAP. 2001. Anuario Estadístico agropecuario 2001. Gráfica Digital, Montevideo. 180 p.

MGAP. 2002. Boletín informativo Estadísticas del sector lácteo 2001-Trabajos especiales Nº 28. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. Montevideo 51 p. [En línea] Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,104,O,S,0,MNU;E;39;12;MNU; Consultado junio 2012.

MGAP. 2003. La citricultura en Uruguay contribución a su conocimiento. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. Montevideo. 31 p. [En línea] Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,113,O,S,0,MNU;E;42;3;MNU; Consultado julio 2012.

MGAP. 2011. Anuario Estadístico agropecuario 2011. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. Montevideo. 246 p. [En línea] Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,583,O,S,0, MNU;E;27;7;MNU; Consultado marzo 2012.

MGAP. 2012a. Series históricas. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. [En línea] Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,60,O,S,0, MNU;E;42;5;MNU; Consultado marzo 2012.

MGAP. 2012b. Serie precio de la tierra, Compraventas Año 2011. En Dólares corrientes. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. [En línea] Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,55,O,S,0,MNU;E;2;16;10;6;MNU; Consultado julio 2012.

Ministerio de Industria, Energía y Minería. 2012. Estadística de la producción mineral de Uruguay. Disponible en: http://www.miem.gub.uy/web/mineria-y-geologia/-/estadistica-de-la-produccion-mineral-de-uruguay. Consultado septiembre 2013.

Morón, A., y A. Quincke. 2010. Avances de resultados en el estudio de la calidad de los suelos en agricultura en el departamento de Soriano. Jornada Técnica El Efecto de la Agricultura en la Calidad de los Suelos y Fertilización de Cultivos. INIA Serie Actividades de Difusión No. 605. pp. 5-9.

Park, Y.W. 1992. Comparison of buffering components in goat and cow milk. In: Small Ruminant Research, 8 (1992) Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. pp. 75-81.

Park, Y.W. 2009. Bioactive components in milk and dairy products. Wiley Blackwell. USA. 426 p.

Pérez Atchugarry, V. 2012. El LATU y la cadena productiva textil lanera. Garantía de integridad en el comercio sectorial. Departamento de textiles, lana bruta, tops y cueros. En: El Pais Agropecuario. pp. 24-25. Disponible en: http://latu.org.uy/es/docs/Garantia_de_integridad_en_el_comercio_sectorial.pdf. Consultado noviembre 2013.

Pérez Bidegain, M., F. García Préchac, M. Hill, y C. Clérici. 2010 Capítulo 3. La erosión de suelos en sistemas agrícolas. En: Colección Art. 2 Fondo Universitario Para Contribuir a la Comprensión Pública de Temas de Interés General. pp. 67-88.

Rao, A.S., y K.S. Reddy. 2010. Part III: Production 8. Nutrient management in soybean. In: The Soybean, Botany, Production and uses. Edited by Guriqbal Singh. Cab International, UK. pp. 161-190.

Rava, C.; B. Ferraro, y B. Lanfranco. 2011. La competitividad de la ganadería y el costo de oportunidad de la tierra. En: Anuario 2011. OPYPA. MGAP. Montevideo. Uruguay. pp. 385-398.

Raven, P.H., R.F. Evert, y S.E. Eichhorn. 1992. Biología de las plantas. Vol. 2. Editorial Reverté. Barcelona, España. 467 p.

Swenson, M.J., y W.O. Reece. 1999. Fisiología de los animales domésticos de Dukes. Segunda edición. Tomo 2. Editorial Limusa-Noriega. D.F., México. pp. 517-925.

Toval, G. 2010. Calidad de la madera de Eucalyptus globulus como materia prima para la industria pastero-papelera. Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Dirección General de Montes. Xunta de Galicia. Pontevedra. España. Boletín del CIDEU 8-9: pp. 5-14. [En línea] Disponible en: http://www.uhu.es/cideu/Boletin/Boletin8_9/BolInf8-9CIDEU5-14.pdf. Consultado marzo 2013.

Vassallo, M. 2006. El mercado de tierra en el Uruguay, Revista del Plan Agropecuario. Montevideo pp. 48-59 [En línea] Disponible: http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R119/R119_48.pdf Consultado julio 2012.❊

Jerarquización de los factores reguladores de las emisiones de N_2O: Influencia del cultivo

Vanina R. N. Cosentino[1,2,3,*] y Miguel A. Taboada[1,2,3]

Introducción

El óxido nitroso (N_2O) es el principal gas de efecto invernadero (GEI) generado por los suelos agrícolas y es también el principal foco de esfuerzo para mitigar las emisiones procedentes de este sector (IPCC, 2007; Snyder et al., 2009). Las emisiones de N_2O desde el suelo varían en espacio y tiempo, dando lugar a sitios y momentos "calientes" de alta emisión, que son difíciles de predecir (McClain et al., 2003). Esta gran variabilidad resulta de la complejidad de las variables ambientales, la heterogeneidad del suelo y de las comunidades microbianas, que controlan los procesos de nitrificación y desnitrificación responsables de las emisiones de N_2O (Firestone y Davidson, 1989). A menudo, la causa de grandes tasas de emisión de N_2O en sitios y momentos "calientes" puede estar vinculada a una sola variable.

Las emisiones de N_2O son reguladas por la temperatura, la concentración de nitrato y la humedad del suelo, entre otros factores. Existe controversia acerca de cuál es el principal factor que regula las emisiones de N_2O y de la forma en que un determinado factor las promueve o limita. Por un lado, Shelton et al. (2000) encontraron una relación lineal entre las emisiones de N_2O y el contenido de agua del suelo, cuando este se encontraba entre 60 y 100% del espacio poroso lleno de agua (EPLLA). Por el otro, Schindlbacher y Zechmeister-Boltenstern (2004) observaron emisiones máximas entre 80 y 95% del EPLLA, seguidas de una disminución en las tasas cuando el ESPA es equivalente (Saturado de Agua), pero en el artículo se utiliza EPLLA superaba el 95%. Dobbie y Smith (2001) observaron una relación positiva entre las emisiones de N_2O y la temperatura, mientras que Almaraz et al. (2009) encontraron una relación negativa entre ambas variables. Otro factor de emisión es generado por el tráfico agrícola y la siembra directa (SD), ya que ambos pueden aumentar la densidad aparente del suelo generando zonas anaeróbicas en los horizontes superficiales (Sasal et al., 2006). Esto puede llevar al aumento de las emisiones de N_2O causadas por el proceso de desnitrificación (Beare et al., 2009).

Las tasas de emisión de N_2O dependen de la suma de las variables requeridas por las poblaciones microbianas del suelo para llevar a cabo los procesos de nitrificación y de desnitrificación. Si una o más de estas variables se ven afectadas, es posible que las emisiones de N_2O disminuyan. La estequiometría ecológica evalúa el equilibrio entre elementos y factores que controlan los procesos ecológicos, y puede ofrecer un marco útil para analizar los efectos ecológicos de estas limitaciones (Hessen et al., 2004). Este estudio tuvo como objetivo identificar y clasificar las variables del suelo que regulan las emisiones de N_2O a lo largo del año, en suelos manejados bajo SD. La hipótesis de trabajo es que el marco conceptual de la estequiometria ecológica brinda un enfoque útil para la comprensión de la variación de las emisiones de N_2O en condiciones de campo.

Materiales y métodos

Se realizó una evaluación a campo entre abril de 2009 y febrero de 2011 para determinar las tasas de emisión de N_2O y sus principales factores reguladores. Se trabajó en un campo agrícola en la provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 57' 29'' S, 60° 13' 11'' O), en un suelo Argiudol típico de la serie O'Higgins (arcilla 190 g kg^{-1}; limo 400 g kg^{-1}) (GeoINTA, 2012) con 35.2 g de materia orgánica kg^{-1} y un pH de 5.7 (1:2.5 suspensión suelo: agua) en el horizonte A. El establecimiento en el cual se realizó el ensayo ha estado bajo SD desde hace al menos cinco años con rotaciones continuas de tres años cuya secuencia de cultivos es soja de primera – trigo/soja de segunda – maíz. En estas secuencias se aplican entre 85 y 95 kg N ha^{-1} como urea al momento de la siembra del trigo y en el maíz entre los estadios fenológicos V3 y V5.

Se muestrearon estacionalmente seis parcelas en dos secuencias de cultivo temporalmente desfasadas durante dos años. La secuencia 1 comenzó con un rastrojo de soja de primera y fue: rastrojo de soja de primera – trigo/soja de segunda – maíz; mientras que la secuencia 2 comenzó con un rastrojo de soja de segunda y fue: rastrojo de soja de segunda – maíz – soja de primera. Esto permitió mediciones en distintos cultivos pero bajo las mismas condiciones ambientales **(Tabla 1)**. También se midieron en dos ubicaciones dentro del lote: i) cabecera (alta intensidad de tráfico), y ii) fuera de cabecera (baja intensidad de tráfico).

Las muestras de gas se tomaron con cámaras estáticas no ventiladas (superficie = 0.13 m^2, altura = 0.125 m), insertada en el suelo 0.05 m. Cada cámara tenía una base metálica y una tapa de plástico recubierto de aluminio. Dado que este ensayo se realizó en un campo en producción, hubo que retirar las cámaras una vez finalizados los muestreos y volver a colocarlas 24 horas antes del siguiente muestreo. Este procedimiento llevó a que fuera necesario añadir 15 mm de agua dentro de cada base luego de la inserción, con el fin de asegurar un sellado adecuado entre esta y el suelo antes del muestreo del gas. Esta adición de agua podría significar,

[1]Instituto de Suelo-INTA, [2]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, [3]CONICET
[*]Correo electrónico: cvanina@agro.uba.ar

Tabla 1. Esquema de las dos secuencias de cultivos durante los dos años de muestreo, con las fechas de: toma de muestras, siembra, fertilización nitrogenada y cosecha.

Secuencia 1	Residuo Soja			Trigo					Residuo Soja 2da				Residuo Soja 2da						Maíz				
	2009								2010												2011		
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Muestreo		X		X			X				X			X				X		X		X	
Siembra				X					X										X				
Fertilización N				X																X			
Cosecha							X					X											
Secuencia 2	**Residuo Soja**								**Maíz**			**Residuo Maíz**							**Soja 1ra**				
	2009								**2010**												**2011**		
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Muestreo		X		X			X				X			X				X		X		X	
Siembra							X												X				
Fertilización N							X																
Cosecha											X												

en cada fecha de muestreo, un pequeño aumento en los valores de EPLLA.

El muestreo se llevó a cabo por la mañana, según lo descrito por Cosentino et al. (2012). Las muestras de gas se tomaron de la parte superior de la cámara a intervalos de 0, 20 y 40 minutos después de cerrar la cámaras. Las muestras de gas fueron extraídas con una bomba de vacío, e inyectadas en recipientes de 25 cm^3 previamente evacuados. La concentración de N_2O fue determinada mediante el uso de un cromatógrafo de gases GC 6890 Agilent Technologies Network. Los flujos de gases se calcularon como el aumento de la concentración durante el periodo de incubación mediante la **Ecuación 1**.

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{V_m}$$

Ecuación 1

Donde, $\Delta C/\Delta t$ es el cambio en la concentración de N_2O dentro la cámara durante el tiempo de incubación (Δt), V es el volumen de la cámara (16.7 dm^3), A es el área de suelo cubierta por la cámara (0.13 m^2), m es el peso molecular de N_2O y V_m es el volumen molar N_2O. El flujo de gas se calculó como el incremento en la concentración durante el periodo de incubación. Conjuntamente con la toma del gas, se midió la temperatura del suelo cercano a las cámaras a los 0.10 m de profundidad y la temperatura del aire a la sombra. Después del muestreo del gas, fueron colectadas muestras de suelo del interior de las cámaras y llevadas al laboratorio. En el laboratorio se determinó la concentración de N-NO_3^-, la densidad aparente, el contenido hídrico gravimétrico; y se calculó la porosidad total (PT) y el porcentaje del EPLLA.

Se realizó un análisis de árbol de regresión basado en el procedimiento propuesto por Morgan y Sonquist (1963), para relacionar las tasas de emisión de N_2O con el resto de las variables medidas (Infostat, 2002). En aquellos casos en los que fue posible, se realizaron análisis de regresión entre las tasas de emisión de N_2O con alguna de sus variables reguladoras.

Resultados

Las muestras de suelo obtenidas fuera de la cabecera presentaron principalmente estructura granular y en bloques sub-angulares, mientras que las muestras obtenidas en cabecera tenían principalmente estructura planar y masiva. A pesar de estos diferentes tipos estructurales, se observaron densidades aparentes similares (1.2 a 1.4 Mg m^{-3}) en ambas ubicaciones, infiriéndose que lo que cambió en el suelo fue la forma de los poros pero no su volumen total. Las tasas de emisión de N_2O fueron también similares entre las ubicaciones del lote (datos no mostrados).

Durante el periodo de estudio, las tasas de emisión de N_2O oscilaron entre -15 y 314 mg N-N_2O m^{-2} h^{-1}, con una gran variabilidad entre replicas. Cuando se graficó la emisión de N_2O en función de las variables del suelo medidas no se observaron relaciones con el EPLLA, y la concentración de N-NO_3^- del suelo, pero en cambio, se observó un claro patrón de respuesta con la temperatura del suelo **(Figura 1)**. Las tasas de emisión de N_2O fueron muy variables cuando la temperatura del suelo estuvo entre 14-23 °C; y menores y menos variables cuando la temperatura del suelo fue menor de 14 °C o mayor de 23 °C. También se observo una relación negativa entre la temperatura del suelo y el EPLLA con R^2 = 0.137 y P < 0.0001 (datos no mostrados).

El análisis del árbol de regresión mostró tres grupos de emisiones de N_2O, cuyas tasas difirieron significativamente ($p < 0.001$). Grupo I: bajas tasa de emisión de N_2O 4.22 ± 4.11 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1}, Grupo II:

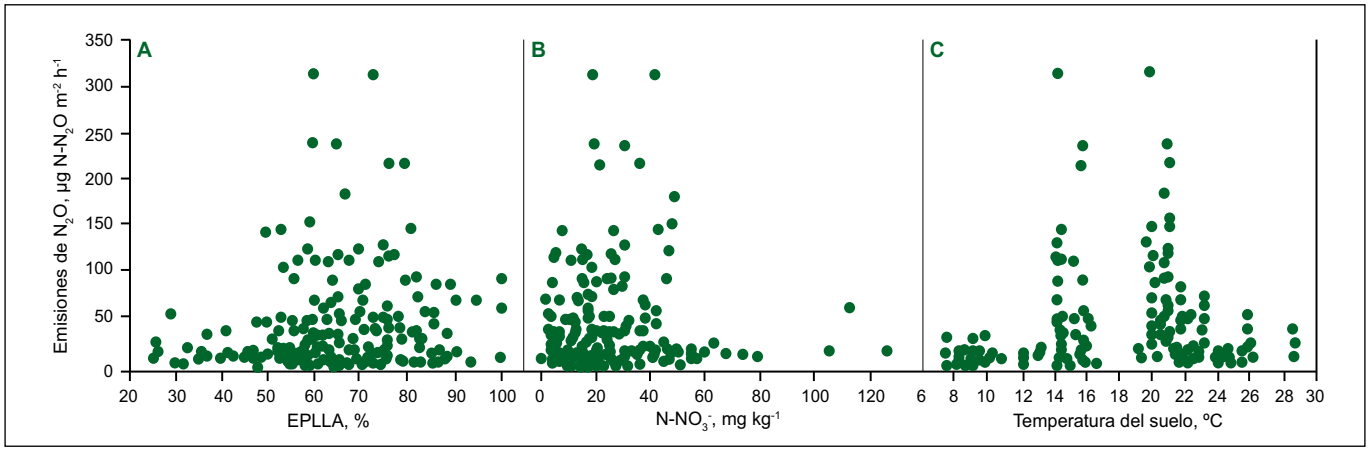

Figura 1. Distribución de tasas de emisión de N_2O en función del espacio poroso lleno de agua (EPLLA) (A), concentración de N-NO_3^- (B) y temperatura del suelo (ºC).

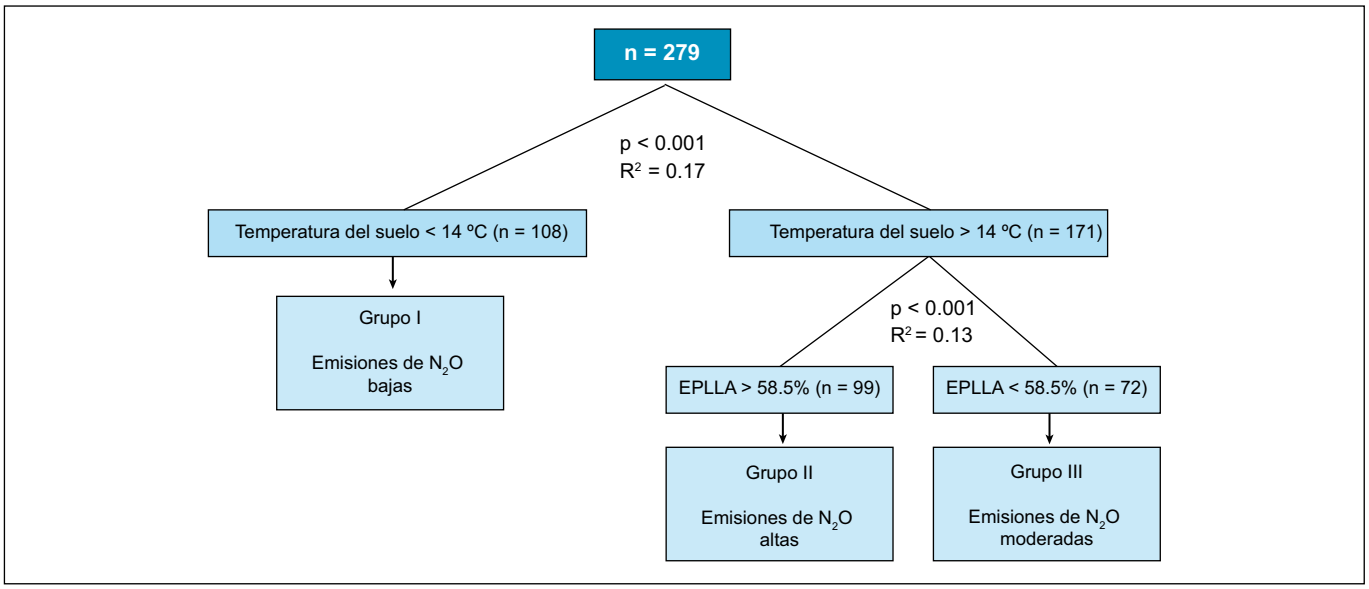

Figura 2. Resultados del análisis de árbol de regresión, mostrando las principales variables que afectan las emisiones de N_2O. n = tamaño muestral.

altas tasas de emisión de N_2O 61.87 ± 4.07 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1} y Grupo III: moderadas tasas de emisión de N_2O 21.4 ± 5.01 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1} **(Figura 2)**.

Las tasas bajas de emisión de N_2O (Grupo I) se produjeron durante el invierno, cuando las temperaturas del suelo fueron menores a 14 °C. Esto se observó en ambas secuencias de cultivo para los muestreos de junio y agosto de 2009 y 2010 **(Figura 3)**. En este caso, la tasa de emisión de N_2O no mostró relación con ninguna de las otras variables medidas. Las tasas altas de emisión de N_2O (Grupo II) fueron el resultado de temperaturas del suelo superiores a 14 °C y de EPLLA mayores al 58.5% **(Figura 3)**. Estos valores de emisión se observaron en los muestreos de noviembre de 2009 (secuencia de cultivos 2, **Figura 3**), y marzo y octubre de 2010 (secuencias de cultivo 1 y 2, **Figura 3**). Las tasas moderadas de emisión de N_2O (Grupo III) se produjeron cuando la temperatura del suelo superó los 23 °C, y/o con EPLLA por debajo del 58.5% **(Figura 3)**. Estos valores fueron observados en noviembre de 2009 (secuencia de cultivos 1, **Figura 3**), y diciembre de 2010 y febrero de 2011 (secuencias de cultivo 1 y 2, **Figura 3**).

Las tasas altas y moderadas de emisión de N_2O (Grupos II y III) se relacionaron positivamente con la concentración de N-NO_3^- del suelo. Sin embargo, las pendientes de las rectas que describen estas relaciones fueron diferentes para cada cultivo y grupo de emisión. Para los cultivos de gramíneas –trigo y maíz– y durante los periodos de barbecho con residuos de soja se observaron buenos ajustes y pendientes altamente significativas. Por el contrario, durante el cultivo de soja no se encontró una clara relación entre los valores de emisión de N_2O y la concentración de N-NO_3^- del suelo, independientemente del grupo de emisión **(Figura 4)**.

Discusión

Los valores de emisión de N_2O se dividieron en tres grupos, cada uno de los cuales se asoció con una o más de las variables de estudio. La temperatura del suelo fue la principal variable reguladora de las emisiones, separando al Grupo I (emisiones bajas) del resto **(Figuras 2 y 3)**. En este grupo, la temperatura del suelo (menos de 14 °C) tuvo un efecto directo sobre las emisiones, probablemente por la reducción de la

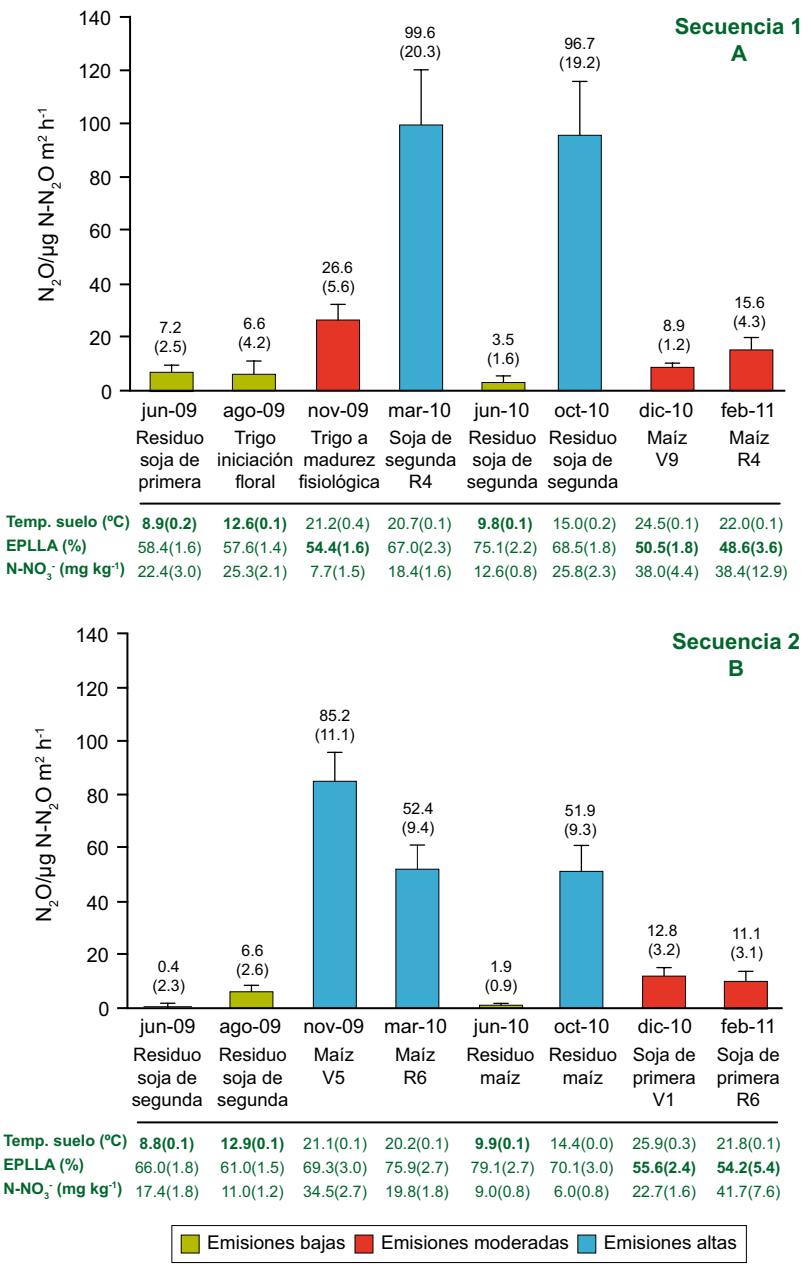

Figura 3. Emisiones de N-N_2O durante el periodo de estudio para ambas secuencias de cultivos (barras). Las líneas verticales con límite máximo por encima de cada barra representan el error estándar. Los valores por encima de las barras corresponden a las emisiones medias y a su respectivo error estándar (entre paréntesis). Debajo de cada gráfico, se muestran los valores medios y el error estándar (entre paréntesis) para la temperatura del suelo, el espacio poroso saturado de agua (EPLLA) y la concentración de N-NO_3^- del suelo.

actividad microbiana a estas temperaturas (Keeney et al., 1979; Trumbore et al., 1996; Farquharson y Baldock, 2008; Maljanen et al., 2009).

Los resultados de este estudio son coherentes con los observados por Trumbore et al. (1996), quienes encontraron una disminución de la actividad microbiana al disminuir la temperatura del suelo. Sin embargo, Maljanen et al. (2009) observaron emisiones de N_2O a temperaturas bajo cero (-6.8 °C) en suelos que regularmente sufren procesos de congelamiento, donde es esperable una adaptación de las comunidades microbianas a las bajas temperaturas. Esto no debería ocurrir en la región pampeana argentina, lo que sugiere que en nuestro sitio de estudio las comunidades microbianas probablemente no están adaptadas para producir N_2O a bajas temperaturas, porque los suelos nunca se congelan.

Las emisiones de N_2O fueron elevadas y muy variables cuando la temperatura del suelo se encontró entre 14 y 23 °C y el EPLLA supero el 58.3% (Grupo II, **Figuras 2 y 3**). Estas variaciones estuvieron positivamente relacionadas con la concentración de N-NO_3^- del suelo, en maíz y residuo de soja **(Figura 4)**. Estos resultados concuerdan con Dalal et al. (2010), quienes encontraron una correlación positiva entre las emisiones de N_2O y la concentración de NO_3^- del suelo, cuando la temperatura del suelo varió entre 10 y 30 °C y el EPLLA entre 30 y 80%.

Las emisiones de N_2O fueron moderadas cuando la temperatura del suelo fue mayor de 14 °C pero el EPLLA fue menor del 58.3% (Grupo III, **Figuras 2 y 3**). Estas emisiones de N_2O fueron menores a las observadas en experimentos llevados a cabo bajo condiciones controladas, en los cuales se mostró un aumento en las tasas de emisión de N_2O con el aumento en la temperatura hasta los 70 °C (Keeney et al., 1979;. Schindlbacher y Zechmeister-Boltenstern, 2004). Estos altos valores de emisión posiblemente se deban a que la temperatura elevada conduce a un aumento en el tamaño de las zonas anaeróbicas del suelo. La mayor anaerobiosis esta dada por el aumento en la tasa de respiración microbiana, lo que resulta en un mayor volumen de suelo desprovisto de oxígeno (Smith et al., 2003), favoreciendo la desnitrificación. Sumado a esto, la alta temperatura del suelo provoca un aumento en la actividad microbiana (Farquharson y Baldock, 2008) y un aumento en la solubilidad del gas, causando una mayor pérdida de N_2O a la atmósfera antes de ser reducido a N_2 (Dalal et al., 2010).

Nuestros resultados de campo mostraron que el EPLLA disminuyó con el aumento de la temperatura del suelo (datos no mostrados). El secado del suelo por las altas temperaturas evita el desarrollo de zonas anaeróbicas,

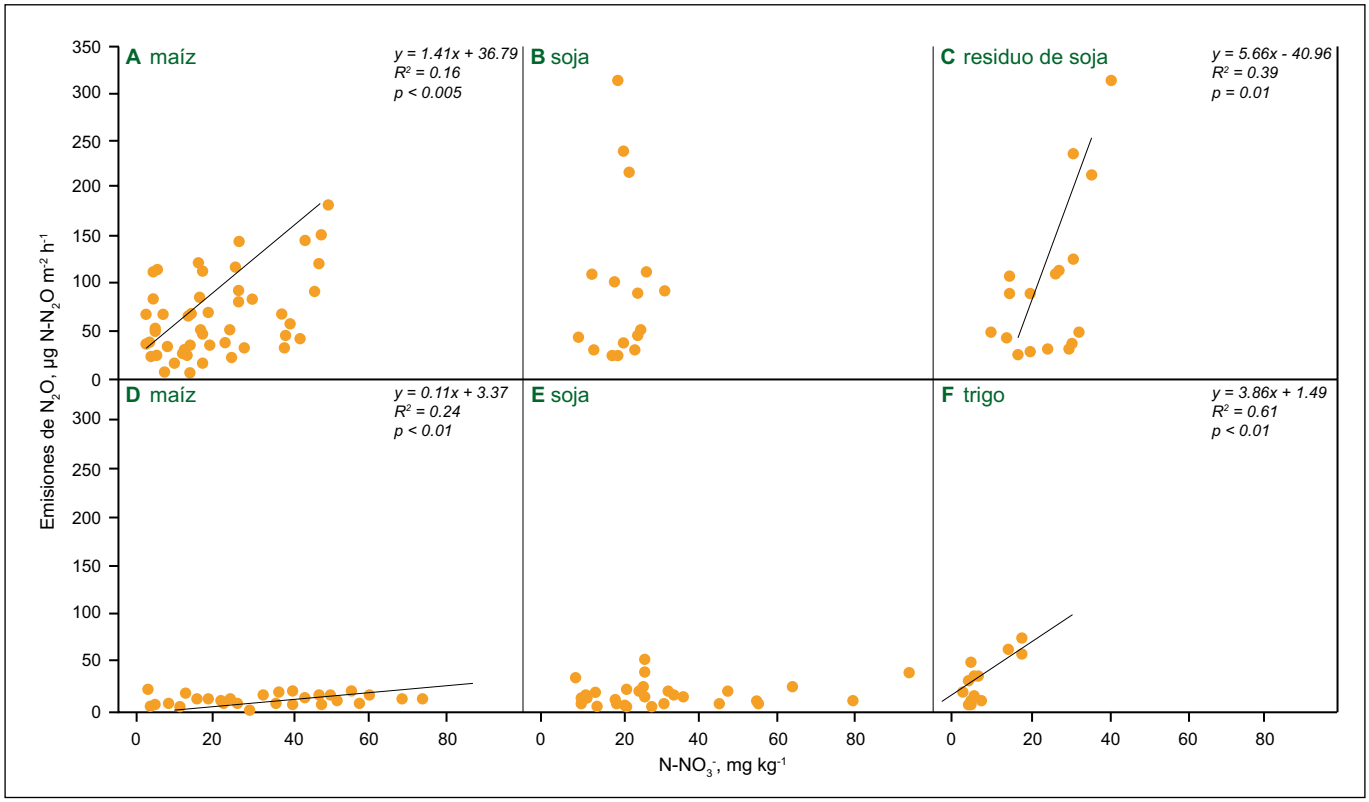

Figura 4. Relación entre la tasa de emisión de oxido nitroso (N-N_2O) y la concentración de nitratos N-NO_3^- del suelo para diferentes cultivos y residuos. A, B y C: altas tasas de emisión de N_2O (Grupo II). D, E y F: moderadas tasas de emisión de N_2O (Grupo III). Dentro de los gráficos se presenta la ecuación de la recta con su respectivo ajuste y nivel de significancia.

tales como las que se encuentran en experimentos en los que se controla el contenido de agua del suelo (Dobbie y Smith, 2001; Schindlbacher y Zechmeister-Boltenstern, 2004). Cuando un suelo se seca a menos del 60% de EPLLA, disminuye la importancia relativa de la desnitrificación como fuente de emisiones de N_2O, mientras la contribución relativa de nitrificación aumenta (Linn y Doran, 1984). Estas emisiones de N_2O generadas a partir de la nitrificación son por lo general menores comparadas con las generadas por la desnitrificación (Smith et al., 2003). Esto proporciona una explicación sobre el porqué de las emisiones moderadas en el Grupo III. En este caso, la influencia de la temperatura del suelo fue indirecta y mediada por el contenido hídrico del suelo.

La relación entre las emisiones de N_2O y la concentración de N-NO_3^- del suelo difirió entre los Grupos (II y III), y entre cultivos dentro de cada Grupo **(Figura 4)**. En el Grupo II, se encontró una relación lineal entre las variables en suelo con cultivo de maíz y residuo de soja, mientras que no se encontró relación en el cultivo de soja **(Figura 4 A-C)**. En el Grupo lll, se encontró una relación lineal entre las variables en suelo con cultivos maíz y de trigo, y nuevamente no se encontró relación en el cultivo de soja **(Figura 4 D-F)**.

Es interesante observar que los cultivos de soja no mostraron una relación lineal entre N_2O y N-NO_3^-, independientemente del grupo de emisión. Es probable que alguna variable no medida (por ejemplo C orgánico) pueda explicar las emisiones de N_2O desde este cultivo.

Conclusión

El principal factor que reguló la emisión de N_2O fue la temperatura del suelo, seguida del espacio poroso lleno de agua y la concentración de N-NO_3^- del suelo. En este trabajo realizado en SD, se generó un ordenamiento jerárquico de los factores reguladores que fue utilizado para explicar cuál variable en particular limitó la tasa de emisión de N_2O. Esto estuvo de acuerdo con la hipótesis planteada de utilizar la estequiometría ecológica como herramienta para entender el equilibrio entre las variables que afectan la producción de N_2O por los microorganismos del suelo (Hesse et al., 2004).

Los resultados de este estudio mostraron como varió la emisión de N_2O y sus principales factores reguladores, dispuestos en un orden jerárquico dominado por temperatura del suelo, en un suelo agrícola bajo SD y clima templado. Estos resultados podrían ser extrapolados a otras áreas con similares condiciones de suelo, clima y manejo. Los grupos de emisión obtenidos a partir del análisis de árbol de regresión podrían ser útiles al momento de decidir cuándo tomar muestras del gas, ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo de muestreo. Por ejemplo, las emisiones de N_2O son probablemente bajas o incluso insignificantes cuando la temperatura del suelo es inferior a 14 °C, algo que ocurre comúnmente durante el invierno en las regiones templadas. En este caso, tomar la temperatura del suelo reduciría el esfuerzo de muestreo. Por otro lado, cuando el EPLLA es mayor de 60% y la temperatura del suelo supera los 14 °C, lo que a menudo se produce durante el otoño y

la primavera, sería conveniente maximizar el esfuerzo de muestreo con el fin de capturar todas las variaciones ambientales.

Bibliografía

Almaraz, J.J., X. Zhou, F. Mabood, C. Madramootoo, P. Rochette, y B.L. Ma.. 2009. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. Soil & Tillage Research, 104:134-139.

Beare, M.H., E.G. Gregorich, y P. St-Georges. 2009. Compaction effects on CO_2 and N_2O production during drying and rewetting of soil. Soil Biology & Biochemistry, 41:611-621.

Cosentino, V.N.R., P.L. Fernández, S.A. Figueiro Aureggi, y M.A. Taboada. 2012. N_2O emissions from a cultivated Mollisol: optimal time of day for sampling and the role of soil temperature. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 36:1814-1819.

Dalal, R.C., I. Gibson, D.E. Allen, y N.W. Menzies. 2010. Green waste compost reduces nitrous oxide emissions from feedlot manure applied to soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 136:273-281.

Dobbie, K.E., y K.A. Smith. 2001. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N_2O emissions from an imperfectly drained gleysol. European Journal of Soil Science, 52:667-673.

Farquharson, R., y J. Baldock. 2008. Concepts in modelling N_2O emissions from land use. Plant & Soil, 309:147-167.

Firestone, M.K., E.A. Davidson. 1989. Microbiological basis of NO and N_2O production and consumption in soil. In: Exchange of Trace Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere: Report of the Dahlem Workshop on Exchange of Trace Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere (Eds M.O. Andreae y D.S. Schimel). Wiley, New York. pp. 7-21.

Hessen, D.O., G.I. Agren, T.R. Anderson, J.J. Elser, y P.C. De Ruiter. 2004. Carbon sequestration in ecosystems: the role of stoichiometry. Ecology, 85:1179-1192.

Infostat. 2002. Software estadístico. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.

GeoINTA. 2012. Cartas de Suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Diponible en: http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/ [accessed on 26 November 2012].

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change.Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. En: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave y L.A. Meyer (Eds.). Disponible on-line en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitiga ion_of_climate_change.htm [accessed on 27 June 2013].

Keeney, D.R., I.R. Fillery, y G.P. Marx. 1979. Effect of temperature on the gaseous nitrogen products of denitrification in a silt loam soil. Soil Science Society of America Journal, 43:1124-1128.

Linn, D.M., y J.W. Doran. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. Soil Science Society of America Journal, 48:1267-1272.

Maljanen, M., P. Virkaja¨rvi, J. Hytönen, M. Öquist, T. Sparrman, y P.J. Martikainen. 2009. Nitrous oxide production in boreal soils with variable organic matter content at low temperature – snow manipulation experiment. Biogeosciences, 6:2461-2473.

McClain, M.E., E.W. Boyer, C.L. Dent, S.E. Gergel, N.B. Grimm, y P.M. Groffman. 2003. Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. Ecosystems, 6:301-312.

Morgan, J.N., y J.A. Sonquist. 1963. Problems in the analysis of survey data, and a proposal. Journal of the American Statistical Association, 58:415-434.

Sasal, M.C., A.E. Andriulo, y M.A. Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. Soil & Tillage Research, 87:9-18.

Schindlbacher, A., y S. Zechmeister-Boltenstern. 2004. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO_2, and N_2O emissions from European forest soils. Journal of Geophysical Research, 109, D17302.

Shelton, D.R., A.M. Sadeghi, y G.W. McCarty. 2000. Effect of soil water content on denitrification during cover crop decomposition. Soil Science, 165:365-371.

Smith, K.A., T. Ball, F. Conen, K.E. Dobbie, J. Massheder, y A. Rey. 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. European Journal of Soil Science, 54:779-791.

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

Trumbore, S.E., O.A. Chadwick, y R. Amundson. 1996. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. Science, 272:393-396.❊

Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos

C. Quintero*, M.A. Zamero, G. van Derdonckt, G. Boschetti, M.R. Befani, E. Arévalo, y N. Spinelli

Introducción

Entre Ríos produce arroz con rendimientos medios superiores a los 7000 kg ha^{-1}, siendo el potencial de producción el doble de este valor (Quintero, 2009). Superar este escalón productivo requiere de un ajuste en las prácticas de manejo dentro de las cuales se encuentra la fertilización.

Algunos elementos como el nitrógeno (N) son ampliamente utilizados y la respuesta a su aplicación es generalizada (Quintero y Figueroa, 2008). El fósforo (P) es otro de los elementos frecuentemente utilizados en Entre Ríos, dadas la deficiencia generalizada y la respuesta en otros cultivos, aunque su respuesta en arroz es dudosa (De Battista y Arias, 2005).

En los últimos años, a partir de experiencias y ensayos promisorios (Quintero, et al., 2006), la fertilización con zinc (Zn) se ha adoptado como una práctica frecuente entre los productores, superando el 60% del área cultivada. Más recientemente, en algunas circunstancias y menos frecuentemente, se ha incorporado al potasio (K) en las mezclas de fertilizantes de nuestra provincia.

Sustentados en la necesidad de realizar nuevas experiencias de fertilización, en base a los elementos que se han detectado como deficientes o restrictivos para el arroz en Entre Ríos; se realizaron ensayos con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización con N, P, K y Zn, sobre el rendimiento del cultivo de arroz.

Materiales y métodos

En las campañas 2007/08 a 2010/11, se realizaron 17 ensayos de fertilización, sobre suelos vertisoles, en campos de productores en localidades representativas de las distintas zonas productivas de arroz de la provincia de Entre Ríos. Las principales características de los sitios evaluados se pueden ver en la **Tabla 1**. Los sitios seleccionados muestran variación en el estado de fertilidad de los suelos propios de las distintas zonas y representan las variedades más sembradas. El manejo del riego, y de las plagas, malezas y enfermedades, en todos los sitios fue adecuado, característico de productores de media a alta tecnología.

Los tratamientos evaluados se detallan en la **Tabla 2**. Estos tratamientos permiten conocer el aporte natural de los suelos de los distintos elementos y la respuesta a cada nutriente por omisión del mismo, asegurando la provisión de los demás. El aporte de cada elemento como fertilizante fue el siguiente: N: 64 kg ha^{-1}, P: 16 kg ha^{-1}; K: 30 kg ha^{-1}; Zn: 300 g ha^{-1}.

En cada localidad se establecieron franjas dentro del gran cultivo, con una superficie de 0.25 a 1 ha por

Tabla 1. Características principales de los sitios de ensayos de nutrición en el cultivo de arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

Localidad	pH	MO %	P Bray-1 ppm	CIC cmol kg^{-1}	Sat. K	Sat. Ca	Sat. Mg	Sat. Na	Salinidad dS m^{-1}	Zn ppm	Variedad	Fecha Emergencia
					----------	%	----------					
San Salvador	6.80	3.32	15.4	24.5	2.1	52.3	15.1	3.8	0.673	0.87	Cambá	17/10/2007
La Paz	5.40	2.74	6.4	17.0	2.8	33.4	14.7	2.4	0.408	1.20	Supremo 13	01/11/2007
Conquistadores	6.50	3.77	9.9	28.0	2.5	60.7	16.4	2.2	0.729	0.66	Cambá	18/11/2007
Villa Elisa	7.00	3.83	6.0	22.3	3.1	74.5	13.5	6.3	0.857	0.80	Irga 417	20/11/2007
San Salvador	6.40	3.43	6.4	21.0	2.3	66.6	9.5	3.0	1.561	0.73	Cambá	14/10/2008
Lucas Norte	7.50	3.26	8.4	41.4	1.9	62.2	9.2	3.9	1.198	1.10	Yeruá	28/11/2008
Sajaroff	7.10	3.45	4.9	26.3	2.8	80.3	18.6	2.2	0.746	0.35	RP2	10/12/2008
San Salvador	6.84	3.19	9.4	28.9	1.9	49.1	14.9	2.3	0.688	0.65	Cambá	26/10/2009
Sajaroff	6.99	4.98	18.0	37.6	2.1	76.3	11.4	1.1	0.696	0.58	Cambá	21/10/2009
Villaguay	7.37	3.66	34.4	26.4	2.2	67.5	24.6	3.8	1.235	0.62	Puitá	05/11/2009
Lucas Norte	7.52	6.46	21.0	45.3	2.9	92.3	4.6	1.1	1.916	1.18	RP2	01/11/2009
Cnia. La Mora	7.14	3.35	5.1	27.4	2.1	63.6	13.5	4.3	0.816	0.47	Puitá	05/11/2009
La Paz	5.86	3.65	6.6	21.2	4.0	42.5	10.8	2.2	1.280	0.71	Cambá	05/11/2010
Santa Juana	6.72	1.87	10.2	17.6	0.9	51.2	15.9	4.6	0.670	0.48	RP2	20/11/2010
San Salvador	6.48	2.82	11.0	33.4	1.6	44.9	10.5	2.0	0.993	0.62	Puitá	06/11/2010
Villa Clara	7.20	3.07	7.8	36.9	2.6	71.8	12.2	1.7	1.150	0.56	Cambá	27/10/2010
San Jorge	6.68	3.54	4.9	39.7	2.3	58.7	17.1	1.5	0.938	0.72	Cambá	30/10/2010

* Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER, Fundación PROARROZ. CC 24 Paraná Entre Rios, Argentina.
Correo electrónico: cquinter@fca.uner.edu.ar

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fertilización evaluados en arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

Tratamiento	Nombre	Nutrientes kg ha^{-1}	Descripción
T1	Completo	N+P+K+Zn 64-16-30-0.3	Fertilización a la siembra con 180 kg ha^{-1} de mezcla N-P-K con 45% SFT + 33% KCl + 22% de Urea. Tratamiento de semilla con Zn [300 g óxido de zinc (70% Zn) cada 100 kg]. Más Urea en pre riego, 100 kg ha^{-1}.
T2	-Zn	N+P+K 64-16-30	Fertilización a la siembra con 180 kg ha^{-1} de mezcla N-P-K con 45% SFT + 33% KCl + 22% de Urea. Sin tratamiento de semilla con Zn. Más Urea en pre riego, 100 kg ha^{-1}.
T3	-K	N+P+Zn 64-16-0.3	Fertilización a la siembra con 120 kg ha^{-1} de mezcla 66% SFT + 33% Urea. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). Mas Urea en pre riego, 100 kg ha^{-1}.
T4	-P	N+K+Zn 64-30-0.3	Fertilización a la siembra con 100 kg ha^{-1} de mezcla es 60% KCl + 40% Urea. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg). Mas Urea en pre riego, 100 kg ha^{-1}.
T5	-N	P+K+Zn 16-30-0.3	Fertilización a la siembra con 140 kg ha^{-1} de mezcla 57% SFT + 43% KCl. Tratamiento de semilla con Zn (200 g cada 100 kg).

Tabla 3. Rendimiento en grano de arroz y sus componentes para los tratamientos evaluados en los 17 sitios. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

Tratamiento	Rendimiento kg ha^{-1}	Panojas Número m^{-2}	Granos por panoja	Granos Vanos %	Peso 1000 g
Completo	8432 a	414 a	102 ab	10.7	26.3 ab
- P	8490 a	411 a	104 ab	10.8	26.4 b
- K	8085 b	418 a	101 a	10.6	25.9 a
- Zn	7996 b	412 a	109 b	11.0	26.1 ab
- N	7188 c	374 b	98 a	10.4	26.1 ab

Letras distintas indican diferencias significativas (p < = 0.05).

tratamiento, con 5 evaluaciones dentro de cada franja. El análisis estadístico se realizó considerando un diseño en bloques completos aleatorizados en el cual cada localidad constituyó un bloque.

Evaluaciones

- Absorción de nutrientes en planta en cinco etapas:
  1. Inicio de macollaje (pre inundación, fertilización con N).
  2. Pleno macollaje 15 a 20 días después de la aplicación de N.
  3. Diferenciación de panoja.
  4. Floración.
  5. Madurez (grano y rastrojo). Para esto se evaluó la biomasa en cada estadio y se analizó el contenido de N, P, K y Zn en el tejido vegetal.
- Rendimiento en grano. Se determinó el rendimiento en grano al 14% de humedad y los componentes del rendimiento.

Resultados

Los rendimientos observados mostraron las condiciones habituales de producción que se presentan en Entre Ríos, en función de las variedades y calidad de los sitios donde se siembra el arroz. En la **Figura 1** se pueden apreciar los rendimientos para cada tratamiento de los 17 sitios.

El análisis estadístico indicó que el tratamiento que no incluyó N, Zn o K mostró rendimientos significativamente menores respecto al tratamiento completo **(Figura 2)**. La carencia de N provocó un menor número de panojas por unidad de superficie y menos granos por panoja, sin efecto sobre el vaneo **(Tabla 3)**.

La respuesta al N fue significativa y generalizada en todos los sitios. La respuesta media a 60 kg ha^{-1} de N, fue de 1450 kg ha^{-1}, variando de 600 a 2400 kg ha^{-1}. Las repuestas a Zn tanto como a K, fueron similares y en torno a los 350 kg ha^{-1}. Solamente en 3 casos se observaron respuestas a P superiores a 500 kg ha^{-1}, pero en 7 sitios la adición de P disminuyó el rendimiento en una magnitud similar. La respuesta media a P fue nula.

Los mayores valores de respuesta a Zn, K y los pocos casos con respuesta a P, se observaron en los suelos con pH superior a 7 **(Tabla 4)**. Trabajos anteriores señalan diversos efectos que deprimen el rendimiento del arroz cuando el suelo tiene una reacción neutra a alcalina. En estas condiciones se reduce la disponibilidad de P, K y Zn para las plantas debido al exceso de Ca activo en el suelo,

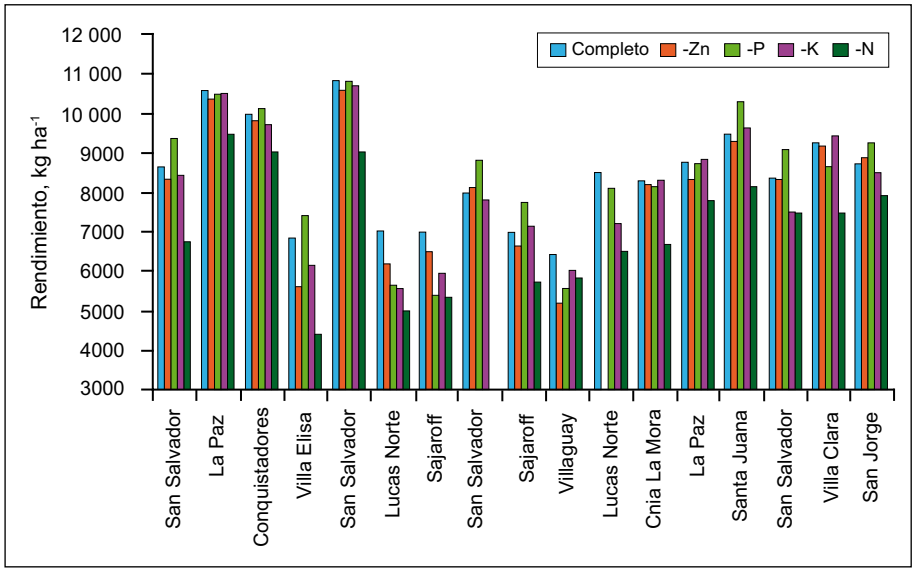

Figura 1. Rendimiento en grano de arroz observado en los distintos sitios. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

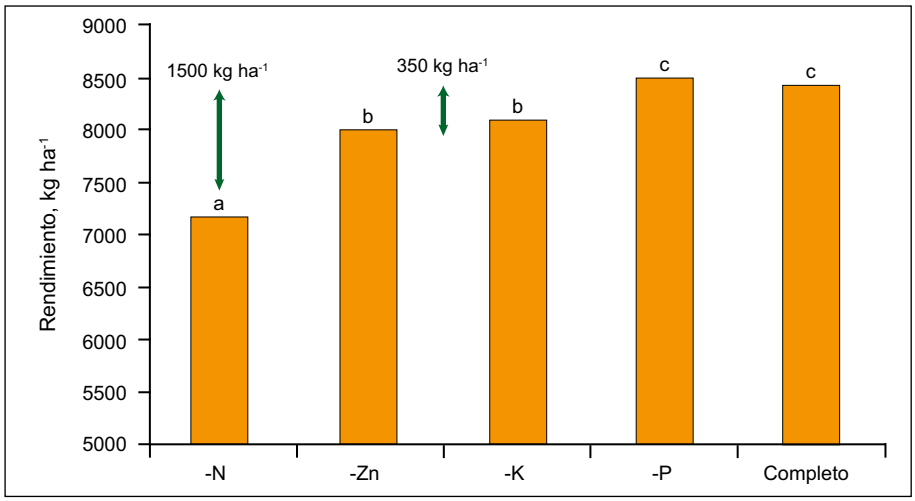

Figura 2. Rendimientos promedio de los distintos tratamientos evaluados. Ensayo de nutrición en el cultivo de arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

Tabla 4. Respuesta a los tratamientos en suelos con distinto pH.

Suelo	Respuesta a N	Respuesta a P	Respuesta a K	Respuesta a Zn
	---------- kg ha^{-1} ----------			
pH < 7 (9 sitios)	1213	-410 a	176	134 a
pH > 7 (8 sitios)	1677	466 b	558	613 b

Tabla 5. Absorción total de nutrientes por el cultivo de arroz. Entre Ríos. Campañas 2007/08 a 2010/11.

Tratamiento	N	P	K	Zn
	---------- kg ha^{-1} ----------			---- g ha^{-1} ----
Completo	111 a	23.4 a	114 a	333 a
- P	113 a	23.9 a	118 a	315 a
- K	108 a	22.3 ab	114 a	313 a
- Zn	105 a	23.4 a	121 a	298 a
- N	89 b	20.5 b	96 b	257 b

Letras distintas para cada columna, indican diferencias significativas (p < 0.05)

lo cual podría explicar las respuesta a estos elementos en condiciones alcalinas (Quintero, et al., 2006).

La absorción total de los elementos analizados fue afectada significativamente por el manejo de la fertilización nitrogenada **(Tabla 5)**. Sin embargo, los efectos sobre el consumo de nutrientes por tonelada de grano no fueron de relevancia, y confirman los valores encontrados por Quintero (2009, **Tabla 6**). Los consumos de nutrientes registrados en Entre Ríos son similares y encuadran bien con los informados en Asia por Witt et al. (1999) en base a un número muy importante de observaciones. La proporción de los nutrientes que se exporta en los granos (índice de cosecha), tampoco fue afectada por los tratamientos (datos no mostrados) y tuvo una media de 73% para N, 81% para P, 17% para K y 54% para el Zn.

Discusión

En base a estos cuatro años de ensayos es permisible concluir que el N es deficitario y presenta una respuesta generalizada en los distintos ambientes de producción de Entre Ríos. Los suelos evaluados proveerían aproximadamente 90 (+/-25) kg ha^{-1} de N, según la cantidad de N absorbida por el cultivo en el tratamiento –N **(Tabla 5)**. Esta cantidad es insuficiente para alcanzar una productividad económicamente rentable y limita severamente el rendimiento del arroz. Teniendo en cuenta los consumos determinados en Entre Ríos **(Tabla 6)**, el N disponible del suelo alcanzaría para producir rendimientos medios de 6350 kg ha^{-1}. Debido a ello, al aplicar N, es posible obtener una respuesta de 10 a 40 kg de arroz por kg de N aplicado, con una media de 23 kg arroz kg^{-1} N. La proporción de N del fertilizante aplicado previo al riego, que es absorbida por el arroz, puede variar del 10 al 100%, pero es muy probable que esté en torno al 40% (datos no publicados). La variación en la respuesta a N, así como en la eficiencia de uso, no se relacionó con el contenido de materia orgánica del suelo (MO).

La adición de P mostró resultados aleatorios, con casos donde se deprimió el rendimiento de manera significativa. La respuesta no estuvo

Tabla 6. Consumo total de nutrientes por tonelada de grano producida. Datos de estos ensayos mas reportes anteriores (Quintero, 2009) y datos propios no publicados. Datos de Asia tomados de Dobermann y Fairhust, (2000) y de EE.UU. del IPNI.

Fuente	N	P	K	Zn
	---------- kg t^{-1}	----------		--- g t^{-1} ---
Promedio Entre Ríos	14	3	13	43
Desvío Estándar Entre Ríos	2.8	0.7	4.5	20
Número de Observaciones Entre Ríos	279	231	231	231
Promedio Asia	18	3	17	50
Promedio EE.UU.	22	3	26	40

relacionada con índices de disponibilidad de P en el suelo. Esto es coincidente con los trabajos de De Battista y Arias (2005) en ensayos similares. La cantidad de P disponible para el arroz que pueden liberar los suelos (24+/-6 kg ha^{-1}), sería suficiente para rendimientos cercanos a 9000 kg ha^{-1} **(Tabla 5)**. Sin embargo, en suelos de pH superior a 7 la respuesta a P fue significativa **(Tabla 4)**. En estas condiciones, la liberación de P que se produce por la condición de anaerobiosis, al haber muy poco hierro activo (Fe^{+2}) para reducir, es escasa (Quintero, et al. ,2007). Coincidentemente, en Arkansas (EE.UU.), reconocen que los análisis de P extractable no son efectivos para el arroz; sostienen que el pH del suelo es un mejor estimador de la respuesta y recomiendan mayores dosis de P cuando el pH del suelo es superior a 6.5 (Wilson et al., 2000). También se debe considerar que los suelos que presentan tenores de MO superiores a 3.6%, tienen una capacidad de liberación de P muy elevada (Quintero et al., 2007). En estas condiciones de alta disponibilidad natural de P, sumada a la fertilización con P, es posible que se de mayor deficiencia de Zn y/o toxicidad por arsénico (As), que deprimen el rendimiento.

Las respuestas a Zn en semilla y a K fueron constantes y significativas **(Tabla 3)**. Ambos elementos mostraron respuestas de mayor magnitud en suelos de pH neutro a ligeramente alcalino **(Tabla 4)**. En trabajos anteriores se ha mostrado que el exceso de Ca intercambiable que se da en suelos de pH ligeramente alcalino, deprime la absorción de K y reduce la actividad metabólica del Zn en el arroz (Quintero et al., 2006). En el caso del Zn, dado el bajo costo del tratamiento, su recomendación de uso como fertilizante en la semilla es generalizada, ya que aún en suelos de pH ligeramente ácido, la respuesta cubre los costos. En casos de pH elevado podría complementarse con aplicaciones foliares de Zn, que han mostrado muy buenos resultados (Arévalo et al., 2008). No sucede lo mismo con el K, donde normalmente la respuesta en suelos ligeramente ácidos no cubre el costo de la fertilización. Por otro lado, en suelos de pH neutro a alcalino, a pesar de tener alta disponibilidad de K, la respuesta a K es de magnitud considerable y rentable.

Conclusiones

El cultivo de arroz en Entre Ríos presenta una deficiencia de N generalizada, debido a que los suelos no pueden liberar suficiente cantidad para sostener altos rendimientos, por lo cual la respuesta a la fertilización nitrogenada es muy significativa y se recomienda su aplicación en todos los casos.

Si bien los suelos de Entre Ríos son genéticamente deficientes en P para los cultivos de secano, frecuentemente la liberación de P en condiciones de anaerobiosis es suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo de arroz. Las respuestas a la fertilización con P se verifican únicamente en suelos con pH neutro a ligeramente alcalino.

La disponibilidad de K en los suelos de Entre Ríos es media a alta. Sin embargo, la respuesta a su aplicación en arroz es significativa. Más aún, cuando la proporción de Ca en el complejo de cambio es elevada y se verifica un pH neutro a alcalino, por lo cual en estas condiciones se aconseja la fertilización potásica.

En el caso del Zn, su disponibilidad en el suelo es baja, la respuesta es frecuente y cobra magnitud importante en suelos de pH 7 o superior. Se recomienda la incorporación de este micronutriente en los programas de fertilización de manera generalizada.

Bibliografía

Arévalo, E., C. Quintero, N. Spinelli, N.G. Boschetti, M. Befani, y M. Zamero. 2008. Evaluación de Dosis, Fuentes y Momentos de la aplicación de Zinc. En: Resultados experimentales 2007-2008 Fundación Proarroz. Volumen XVII. Publicación editada por INTA E.E. A. C. Del Uruguay y Fundación Proarroz. 93 p.

De Battista, J.J. y N. Arias. 2005. Capítulo 19: Arroz. En: Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. Echeverría, H.E. y F.O. García. INTA. pp. 399-407.

Quintero, C. 2009. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. Tesis Doctoral. Ediciones de la Fundación para el Desarrollo Agropecuario. ISBN: 978-987-25076-1-9. 167 p. Versión digital http://hdl.handle.net/2183/5680. ISBN: 978-84-692-8861-0.

Quintero, C.E., y E.A. Figueroa. 2008. Fertilización de Arroz. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas (2da Ed.) Melgar, R. y Díaz-Zorita, M. Emisferio Sur. INTA. pp. 244-260.

Quintero, C., E. Arévalo, N.G. Boschetti, y N. Spinelli. 2006. Clorosis en suelos con calcáreo. Experiencias en el cultivo de arroz en Entre Ríos. En: Micronutrientes en la agricultura. Editora: Mabel Vázquez. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 1ra Edición. pp. 113-125. ISBN: 987-21419-4-0.

Quintero, C., F. Gutierrez Boem, M. Befani, y N.G. Boschetti. 2007. Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina. J. Plant Nutr. Soil Science, 170:500-505.

Wilson, C., N. Slaton, R. Norman, y D. Miller. 2000. Efficient use of fertilizer. En: Rice Production Handbook. Cooperative Extension Service, University of Arkansas. pp. 51-74.

Witt, C., A. Dobermann, S. Abdulrachman, H.C. Gines, Wang Guanghuo, R. Nagarajan, S. Satawatananot, Tran Thuc Son, Pham Sy Tan, Le Van Tiem, G.C. Simbahan, y D.C. Olk. 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. Field Crops Research, 63:113-138.

Desarrollo de un modelo de balance de nitrógeno en trigo para la Región Semiárida Pampeana

N.F. Romano[1], R. Álvarez[2,3], A.A. Bono[1,*] y H.S. Steinbach[2]

Introducción

Una de las principales fuentes de nitrógeno (N) utilizada por los cultivos es la mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo. Durante los últimos 30 años se han realizado numerosas investigaciones en metodologías para cuantificar dicho flujo. En general, estas metodologías incluyen técnicas de incubación en laboratorio o métodos de campo, donde se logra estimar el aporte de N durante el ciclo del cultivo (Mikha et al., 2006). Cuantificando este flujo se han desarrollado metodologías de balance de masas que permiten estimar las dosis de fertilizante nitrogenado necesarias para los cultivos (Meisinger, 1984; Álvarez et al., 2004).

En la Pampa Ondulada argentina se han realizado trabajos de estimación de las fracciones de N mineral por balance de masas que han indicado que aproximadamente el 50% del total de N que absorbe el trigo se origina en el suelo (Álvarez y Steinbach, 2006). En la Pampa Semiárida, se ha realizado solo un experimento en trigo que indicó que este aporte de N desde el suelo rondó el 70% (Bono y Álvarez, 2013). Entre 1996 y 2004, en la misma región se realizó una red de ensayos de fertilización que permitió generar un modelo explicativo del rendimiento de trigo con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.48. En el mismo se utilizaron como variables independientes la humedad a la siembra, el N orgánico del suelo, el contenido de N mineral más la dosis de N del fertilizante, la profundidad del perfil, la textura y el sistema de labranza (Bono y Álvarez, 2009). En consecuencia, las variables relacionadas con el agua y el N del suelo explican el rendimiento del cultivo de trigo en la región. Sin embargo, al pasar el tiempo los modelos basados en curvas de rendimiento, como el indicado, pierden actualidad por incrementarse los rendimientos alcanzables.

Contrastando con información de la Pampa Ondulada, donde el proceso de mineralización de N se da principalmente en el horizonte superficial (Álvarez, 1999), en la Pampa Semiárida las capas profundas mineralizan proporcionalmente más N que en suelos con horizonte B fuertemente textural (Bono y Álvarez, 2013). Por consiguiente, deberían deteminarse los coeficientes de mineralización propios de los suelos de la región. Sin embargo, no se ha realizado todavía una evaluación regional de la capacidad de los suelos de la Región Semiárida de mineralizar N y la posibilidad de usar la metodología del balance para la estimación de los requerimientos de fertilización nitrogenada. Nuestros objetivos fueron:

- Determinar la mineralización de N en suelos de la Región Semiárida.
- Comparar los requerimientos de N entre la Región Semiárida y la Pampa Ondulada.
- Desarrollar un modelo de balance de N ajustado para la Región Semiárida.

Materiales y métodos

Se utilizaron datos publicados de la Pampa Ondulada generados en 58 experimentos a campo realizados entre 1997 y 1999 bajo escenarios diferentes de suelo y manejo (Álvarez et al., 2004). De estos ensayos 26 recibieron algún tipo de labranza (cincel, rastra de discos o rejas) y 32 fueron realizados en siembra directa. Los antecesores fueron soja en 26 sitios y maíz en los 32 restantes. De estos ensayos se obtuvieron los datos de suelo, precipitaciones, cantidades de residuos de los cultivos antecesores al inicio y final del trigo, biomasa aérea y de granos de trigo.

En la Pampa Semiárida se estableció una red de 46 experimentos de campo entre 2009 y 2011 en el este de la provincia de La Pampa. Al momento de la siembra del trigo se determinó N como nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) y amonio ($N\text{-}NH_4^+$) en capas de 20 cm hasta los 100 cm por destilación con vapor (Bremmer, 1965) usando muestras compuestas de tres sub-muestras tomadas del área en que se instalaría cada experimento. Se utilizó un diseño compuesto de dos tratamientos con y sin fertilización con una dosis de 50 kg N ha^{-1} sin repeticiones. Se realizaron determinaciones de N total (autoanalizador), textura (hidrómetro de Bouyuocos), fósforo (P) extractable (Bray y Kurtz Nº 1) y densidad aparente (cilindros de 250 cm^3). También se determinó biomasa de residuos del cultivo antecesor al momento de la siembra con un marco de 2500 cm^2, recogiendo 4 sub-muestras por parcela. En el caso de los residuos enterrados se tomaron 4 sub-muestras por parcela con un cilindro de 16 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. El contenido de cada cilindro fue lavado y pasado por tamiz de 2 mm, para luego el material vegetal ser secado en estufa (60 °C) hasta peso constante. Se determinó N en el material vegetal por digestión seca con autoanalizador. Se realizaron test aeróbicos de mineralización in vitro según se describe en Álvarez et al. (2004). Se midió humedad de suelo en todo el perfil por gravimetría y se tomaron los registros de precipitación. En madurez fisiológica se determinó producción de grano, biomasa aérea y de raíces del cultivo. Además se midió biomasa de residuos del cultivo antecesor a cosecha de la misma forma que a la siembra. Se tomaron tres sub-muestras por tratamiento de 1 m^2 para biomasa aérea y de 3 m^2 para la determinación de rendimiento. El N liberado por los residuos durante el ciclo del trigo se estimó como la diferencia entre el contenido inicial y final de N en los residuos afectada por un factor de liberación (Álvarez et al., 2004). También se determinó amonio y nitrato hasta 1 m tomando tres sub-muestras por tratamiento de la misma manera que a la siembra.

[1]EEA INTA Anguil, [2]Facultad de Agronomía-UBA, [3]CONICET, *Correo electrónico: bono.angel@inta.gob.ar

Para calcular el balance de masas de N se usó el modelo propuesto por Álvarez et al. (2004):

N-planta = N-mineral + N-residuos + N-mineralización

Donde:

N-planta = N absorbido por el cultivo.

N-mineral = diferencia entre el contenido de N-NH_4^+ y N-NO_3^- a la siembra (0-60 cm) + dosis de N del fertilizante, respecto del nivel de N-NH_4^+ y N-NO_3 a la cosecha.

N-residuos = N liberado por los residuos en descomposición.

N-mineralización = N mineralizado neto desde el humus menos las pérdidas del agrosistema (volatilización + desnitrificación + lixiviación).

El término N-mineralización es llamado mineralización aparente y se calcula por diferencia determinando experimentalmente todos los demás términos del modelo. Con la información generada en las redes de Pampa Ondulada (Álvarez y Steinbach, 2006) y la Región Semiárida Pampeana (Bono y Álvarez, 2009) se cuantificaron las fracciones de N del modelo y se compararon estadísticamente por un test de t entre muestras independientes. También se calcularon la eficiencia de uso del agua (como el cociente entre rendimiento en grano y las precipitaciones acumuladas durante el barbecho y el ciclo del cultivo) y el coeficiente b de requerimiento de N (como el cociente entre el N-planta y el rendimiento en grano). Se utilizaron métodos de regresión múltiple para generar modelos predictivos de los términos del balance. Estas regresiones se integraron en un modelo predictivo de rendimiento en función de la oferta de N para el cultivo que puede ser usado para estimar la dosis de N necesaria a fin de alcanzar un rendimiento esperado.

Resultados y discusión

Los suelos de las dos redes experimentales fueron diferentes con amplios contrastes texturales y de contenido de N **(Tabla 1)**. Los niveles de arcilla+limo, N-disponible (mineral del suelo+fertilizante) y N-total fueron el doble en los suelos de la Pampa Ondulada respecto de los de la Región Semiárida. El amonio representó un tercio del N mineral del suelo en las dos subregiones. La masa de residuos del cultivo antecesor y la capacidad de los suelos de mineralizar N in vitro de la primera subregión superaron en 3-4 veces a los de la segunda. También las precipitaciones durante el barbecho y el ciclo del trigo fueron un 50% más altas en la Pampa Ondulada. Como resultado de estas diferencias la capacidad de aporte de N de los suelos de la Pampa Ondulada, evidenciada por la magnitud de los términos N-mineral, N-residuos y N-planta del modelo de balance, fue mucho mayor que en la Región Semiárida **(Tabla 1)**.

Contrariamente a lo esperado, el N-mineralización fue mayor en la Región Semiárida Pampeana respecto de la Pampa Ondulada. Como este último término se calculó por despeje del modelo este resultado parece deberse a la incertidumbre en las estimaciones de las otras fracciones de N o a mayores pérdidas y no a una mayor capacidad de mineralizar N de los suelos, pues el test in vitro de mineralización mostró claramente lo contrario. El requerimiento de N para formar grano (coeficiente b) fue algo mayor en la Región Semiárida. Esto se debió a que en varios experimentos de esta subregión el trigo estuvo severamente limitado por agua al final del ciclo reduciendo el rendimiento en grano alcanzado. En los agrosistemas de la Pampa Ondulada, más ricos en N, la eficiencia de uso del agua de lluvia fue mayor.

Las técnicas de regresión permitieron generar modelos predictivos de los términos de la ecuación de balance **(Tabla 2)**. El pool N-mineral puede estimarse con el contenido inicial de N del suelo (amonio+nitrato) más la dosis de fertilizante, N-residuos usando como predictor el contenido de N en la biomasa de los residuos del antecesor y N-mineralizado tomando como variables predictivas el N del suelo + fertilizante, el N-total, la textura, la biomasa de residuos y las precipitaciones. El N-mineralización aumenta en suelos de textura gruesa, a medida que crece el pool (reservorio) de N-total y las

Tabla 1. Valores promedio de variables de clima, suelo y cultivo de los experimentos.

Parámetro (Unidad)	---------- Región ----------			
	----- Ondulada -----		----- Semiárida -----	
	Media	DE	Media	DE
A+L (t ha^{-1})	2438	379	1218	472
N-disponible (kg ha^{-1})	153	49	78	32
N-total (t ha^{-1})	6.1	1.0	3.4	0.6
N-incubación (kg ha^{-1})	167	62	44	21
Residuos (t h^{-1})	9.5	4.4	3.1	1.6
PPT (mm)	365	95	244	43
N-mineral (kg ha^{-1})	111	49	32	33
N-residuos (kg ha^{-1})	18	18	8	9
N-mineralización (kg ha^{-1})	38	63	53	46
N-planta (kg ha^{-1})	167	63	93	32
Rendimiento (t ha^{-1})	3.7	0.9	1.9	0.7
Coef. b (kg N t^{-1} grano)	45	14	50	7
EUA (kg grano mm^{-1})	11.1	4.3	7.9	2.8

A+L = arcilla + limo 0-30 cm
N-disponible = nitrógeno de amonio+nitrato (0-60 cm) + dosis nitrógeno fertilizante
N-total = nitrógeno del humus (total) 0-30 cm
N-incubación = nitrógeno mineralizado en incubación 0-30 cm
Residuos = materia seca de residuos del antecesor
PPT = precipitación de mayo a noviembre
N-mineral, N-residuos, N-mineralización y N-planta = ecuación de balance
Coef. b = N-planta/rendimiento
EUA = eficiencia de uso del agua, PPT/rendimiento
DE = desvío estándar

Tabla 2. Modelos de regresión predictivos de los términos de la ecuación de balance y del rendimiento de trigo para las dos regiones. N-mineral, N-residuos, N-mineralización, N-total, N-incubación, N-planta, Residuos y PPT igual significado que en la Tabla 1. N en residuos: masa de nitrógeno en los residuos al inicio del ciclo del trigo, NSF: nitrógeno de amonio y nitrato a la siembra (0-60 cm) + dosis de nitrógeno del fertilizante.

Variable dependiente	Modelo	R^2
N-mineral	Y = NSF – 43*	0.93
N-residuos	Y = 0.26 N en residuos – 3.0	0.63
N-mineralización	Y = 110 - 1.3 NSF + 0.068 NSF*N-total + 0.0022 (A+L)*Residuos + 0.0014 NSF*PPT + 0.00056 N-incubación*PPT	0.53
Rendimiento	Y = -0.83 + 0.039 N-planta - 0.000073 N-planta^2 Si N-planta < 269 kg ha^{-1} Y = 4.5 Si N-planta > = 269 kg ha^{-1}	0.75

** El promedio de N mineral a madurez fisiológica fue de 43 kg ha^{-1}*

Tabla 3. Dosis de N recomendada a aplicar en trigo para algunas combinaciones de tipo de suelo (N-total y textura) y antecesor en la Región Semiárida Pampeana en función del objetivo de rendimiento a alcanzar (a 14% de humedad de grano) y el nivel de N-mineral del suelo a la siembra. Los cálculos se han enmarcado en un escenario promedio de precipitación entre mayo y noviembre, capacidad de mineralización, biomasa y contenido de N para los antecesores según valores indicados en la Tabla 1. Cultivos de invierno incluye trigo, centeno y avena. Cultivos de verano incluye girasol, soja, maíz y sorgo. Las dosis que se indican en la Tabla son las obtenidas con el cálculo del modelo pero alguna de las combinaciones pueden no darse en la realidad, por ejemplo suelos arenosos y rendimientos objetivos altos.

N-total t ha^{-1}	Arcilla+limo t ha^{-1}	Cultivo Antecesor	Rend. objetivo t ha^{-1}	N-suelo, kg ha^{-1}				
				20	40	60	80	100
2.5	600	Invierno	2.0	0	0	0	0	0
			2.5	70	50	30	0	0
			3.0	150	130	110	90	70
3.5	1200	Invierno	2.0	0	0	0	0	0
			2.5	60	40	20	0	0
			3.0	120	100	80	60	40
4.5	1800	Invierno	2.0	0	0	0	0	0
			2.5	50	30	10	0	0
			3.0	100	80	60	40	20
2.5	600	Verano	2.0	0	0	0	0	0
			2.5	60	40	20	0	0
			3.0	140	120	100	80	60
3.5	1200	Verano	2.0	0	0	0	0	0
			2.5	60	40	20	0	0
			3.0	120	100	80	60	40
4.5	1800	Verano	2.0	10	0	0	0	0
			2.5	55	35	15	0	0
			3.0	110	90	70	50	30

precipitaciones, mientras que decrece a más biomasa de residuos y con el nivel inicial de N de suelo + fertilizante. A partir de N-planta se puede estimar con buen ajuste el rendimiento del cultivo usando un modelo curvilíneo-plateau **(Tabla 2)**.

Es posible combinar las ecuaciones de la **Tabla 2** en un modelo predictivo de rendimiento que, a partir de las variables de sitio y las precipitaciones, estime el rendimiento esperado **(Figura 1)**. Este modelo presentó un R^2 de 0.57 considerando las dos subregiones pampeanas estudiadas. El modelo puede usarse para la estimación de la dosis de fertilizante nitrogenado necesaria a fin de alcanzar un rendimiento objetivo, como se muestra en la **Figura 2** para la Región Semiárida Pampeana. En función del nivel de N del suelo y el rendimiento esperado se estima

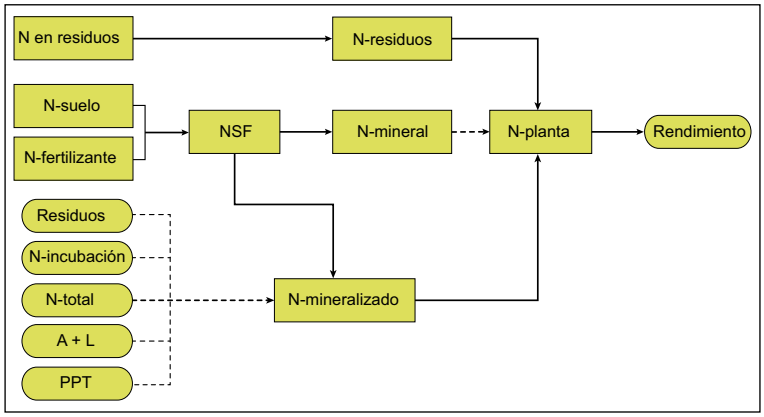

Figura 1. Esquema del modelo de cálculo para estimar rendimiento a partir de la disponibilidad de N y las precipitaciones en suelos de la Pampa Ondulada y la Región Semiárida Pampeana. Rectángulos = fracciones de N, líneas llenas = flujos de N, rectángulos con esquinas redondeadas = variables que aportan información, flechas punteadas = flujos de información. Abreviaturas con igual significado que en modelo de balance y Tablas 1 y 2.

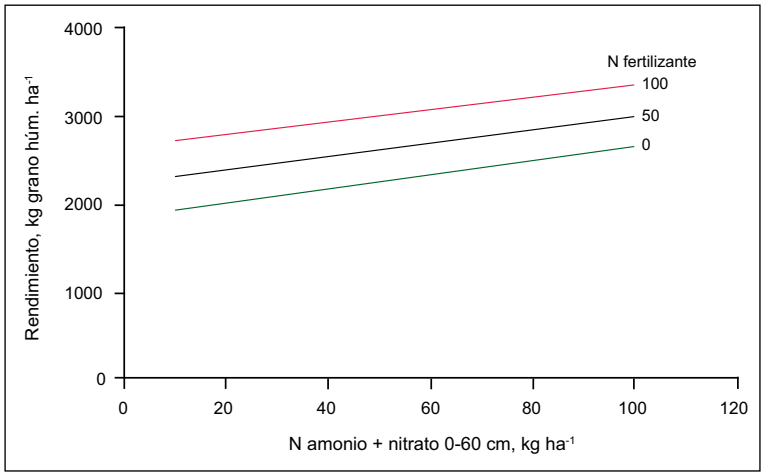

Figura 2. Rendimiento estimado de trigo en la Región Semiárida Pampeana en función de los contenidos de N-NO_3^- y N-NH_4^+ a la siembra, bajo distintos escenarios de N aportado por el fertilizante. Las estimaciones de rendimiento esperado se han hecho para un suelo con características promedio y bajo un escenario de precipitaciones también promedio (Tabla 1).

la dosis de N. Las demás características de sitio pueden adecuarse a las del lote en que se hace la estimación, suponiendo un escenario de precipitaciones promedio. El modelo es fácilmente transcribible a una planilla de Excel siendo el rendimiento esperable el dato relevante que hay que fijar previamente al cálculo de la dosis.

Para la implementación del modelo de balance la mejor estimación del rendimiento objetivo se logra habitualmente usando el promedio histórico del lote en campañas previas, siempre y cuando no se haya producido un cambio tecnológico importante (Álvarez et al., 2013). El modelo propuesto para la Región Semiárida requiere de variables estables de fácil obtención como N-total, textura y precipitaciones, también una variable que debe determinarse por muestreo en cada campaña, el nivel de N mineral del suelo, y dos variables a determinar para cada cultivo pero de difícil obtención, como son la biomasa de residuos del cultivo antecesor y su contenido de N. Para soslayar esta dificultad se ha calculado con el modelo una tabla de dosis de N a aplicar para algunas combinaciones comunes de tipo de suelo y antecesor en la Región Semiárida Pampeana **(Tabla 3)**. Esta tabla simplifica el uso del balance en la región.

Los experimentos realizados permitieron estimar la mineralización aparente en una gama suelos de la Región Semiárida Pampeana. En promedio, este proceso es muy intenso superando a los suelos de la Pampa Ondulada y aporta un 55% del requerimiento de N de trigo. Los requerimientos de N del cultivo por unidad de grano producido, son también más altos en la Región Semiárida que en la Pampa Ondulada, aunque la diferencia no es grande entre regiones. El modelo de balance desarrollado puede ser usado para estimar dosis de N requeridas por el trigo cuando no hay otras metodologías disponibles. Tiene como limitante que asume respuesta lineal a N y, por lo tanto, no permite evaluaciones económicas de la conveniencia de la fertilización. En casos en que se logren promedios de rendimientos superiores a los usados en el pasado para desarrollar curvas de respuesta a N, este modelo sería una opción para estimar la dosis de fertilizante requerida.

Bibliografía

Álvarez, R. 1999. Uso de modelos de balance para determinar los requerimientos de fertilizante nitrogenado de trigo y maíz. Editorial EUDEBA. 58 p.

Álvarez, R., H.S. Steinbach, S.M. Grigera, E. Cartier, G. Obregon, S. Torri, y R. García. 2004. The Balance sheet method as a conceptual framework for nitrogen fertilization of wheat in pampean agroecosystem. Agron. J., 96:1050-1057.

Álvarez, R y H.S. Steinbach. 2006. Salidas de nitrógeno del agrosistema. En: Materia orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampéanos, Cap. 9. Ed. R. Álvarez. pp. 99-121. Editorial Facultad de Agronomía-UBA, Buenos Aires, Argentina.

Álvarez, R., P. Prystupa, M. Rodríguez y C. Álvarez. 2013. Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía-UBA, Segunda edición, 652 p.

Bono, A y R. Álvarez. 2009. Rendimiento de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Un modelo predictivo de la respuesta a la fertilización nitrogenada. Informaciones Agronómicas IPNI 41. pp. 18-21.

Bono, A y R. Álvarez. 2013. Nitrogen mineralization in a coarse soil of the semi-arid Pampas of Argentina. Archives of Agronomy and Soil Science, 59:259-272.

Bremmer, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. pp 1179-1237. In C.A. Black et al. (Ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog. 9. ASA, Madison, WI.

Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil–crop systems. pp. 391-416. En: Nitrogen in crop production. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.

Mikha, M.M., C.W. Rice y J.G. Benjamin. 2006. Estimating soil mineralizable nitrogen under different management practices. Soil Science Society of American Journal, 70:1522-1531.❊

Cursos y Simposios

1. XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

Organiza : SMCS, AC
Lugar : San Luis Potosí, México
Fecha : Agosto 30 - Septiembre 4, 2015
Información : congreso.suelos@agr.uaslp.mx
http://www.smcsmx.org

2. X Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología del Suelo y II Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos

Organiza : FCA - Universidad Nacional de Jujuy
Lugar : San Salvador de Jujuy, Jujuy
Fecha : Septiembre, 2-4, 2015
Información : xrebiosjujuy_2015@yahoo.com.ar
http://www.suelos.org.ar

2. XXII Congreso Latinoamericano de Malezas y I Congreso Argentino de Malezas

Organiza : ASACIM
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : Septiembre, 9-10, 2015
Información : info@asacim.com.ar
http://www.asacim.com.ar

3. X Congreso de la Caña de Azúcar

Organiza : Tecnicaña
Lugar : Cali, Colombia
Fecha : Septiembre, 14-18, 2015
Información : http://tecnicana.org

4. XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite y Expopalma 2015

Organiza : Fedepalma
Lugar : Cartagena de Indias, Colombia
Fecha : Septiembre, 22-25, 2015
Información : http://web.fedepalma.org

5. VIII Congreso Latinoamericano de Ciencias Ambientales y IX Congreso Chileno de Física y Química Ambiental

Organiza : SQACh, RELACIAM
Lugar : Pucón, Chile
Fecha : Octubre, 5-9, 2015
Información : luzmira.carreno@uchile.cl
http://www.quimicambiental.cl

6. IV Simposio Nacional de Agricultura - VII Encuentro SUCS y I Encuentro Regional de Políticas de Conservación de Suelos

Organiza : FAGRO-UdelaR, IPNI Cono Sur, SUCS, FAO, MGAP, INIA
Lugar : Paysandú, Uruguay
Fecha : Octubre, 28-29, 2015
Información : feacevedo@gmail.com
http://portal.fagro.edu.uy

7. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal

Organiza : SOCHIPA-ALPA
Lugar : Puerto Varas, Chile
Fecha : Noviembre, 9-13, 2015
Información : http://www.alpa2015.com

8. Synergy in Science: Partnering for Solutions

Organiza : ASA, CSSA, SSSA, ESA
Lugar : Minneapolis, USA
Fecha : Noviembre, 15-18, 2015
Información : https://acsmeetings.org

9. XIII Simposio Internacional y VIII Congreso Nacional de Agricultura Sostenible

Organiza : SOMAS
Lugar : Aguascalientes, México
Fecha : noviembre, 23-28, 2015
Información : somas@colpos.mx
http://somas.org.mx

10. Fertilizer Latino Americano 2016

Organiza : Argus FMB, CRU
Lugar : Cartagena, Colombia
Fecha : Enero, 27-29, 2016
Información : fmb.conferences@argusmedia.com
http://argusmedia.com/Spanish/Events/Argus-Events/Americas/FLA/Home

11. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SECS
Lugar : Quito, Ecuador
Fecha : Octubre, 24-28, 2016
Información : info@secsuelo.org
http://www.secsuelo.org

SOCIEDAD ECUATORIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

SLCS

XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

XV *Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*

"Todos los Suelos en la Mitad del Mundo"

El suelo, soporte de la diversidad de paisajes, vida y cultura

Quito-Ecuador
Hotel J.W. Marriot
24-28 de Octubre de 2016

Nota: Los costos y forma de inscripción estarán disponibles próximamente en **www.secsuelo.org**

Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Titulo de la Publicación	Costo (U$S)
Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. **Guía Practica para el Manejo de Nutrientes en Arroz:** Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.	45.00
Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.	45.00
Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido. **Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura.** Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo. **Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura.** Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.	45.00
4R de la Nutrición de Plantas. El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del **"MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES"** es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio.	40.00
Manual Internacional de Fertilidad de Suelos: Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo	15.00
Uso Eficiente de Nutrientes: Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.	15.00
Nutrición y Fertilización del Mango: Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.	15.00
Nutrición de la Caña de Azúcar: Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.	8.00

Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net