

LA FERTILIZACIÓN: TECNOLOGÍA PARA SOSTENER LA PRODUCTIVIDAD DE NUESTROS SUELOS.

ESTE CAPÍTULO RESUME EL ROL DE LOS FERTILIZANTES EN EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA ARGENTINA EN LOS ÚLTIMOS 60 AÑOS. ASIMISMO, SE PRESENTA UNA ESTIMACIÓN DEL USO DE FERTILIZANTES PARA LOS PRÓXIMOS AÑOS. SE DISCUTEN ASPECTOS RELACIONADOS AL CONSUMO MUNDIAL Y LA PARTICIPACIÓN ARGENTINA; LOS IMPACTOS DE LOS FERTILIZANTES EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LOS PRODUCTOS, EL BALANCE EN LOS SUELOS Y LA EFICIENCIA DE USO DE LOS NUTRIENTES; Y LAS PROBLEMÁTICAS RELACIONADAS AL USO DE FERTILIZANTES. FINALMENTE, SE PRESENTAN ALGUNAS NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y EXTENSIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LAS MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO DE USO DE FERTILIZANTES.

AUTORES

Dres. FERNANDO GARCÍA y NÉSTOR DARWICH

IPNI

INTRODUCCIÓN.

LA IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

LAS PLANTAS NECESITAN DEL ABASTECIMIENTO DE 17 NUTRIENTES ESENCIALES: CARBONO (C), OXÍGENO (O), HIDRÓGENO (H), NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P), POTASIO (K), CALCIO (Ca), MAGNESIO (Mg), AZUFRE (S), BORO (B), CLORO (Cl), COBRE (Cu), HIERRO (Fe), MANGANESO (Mn), MOLIBDENO (Mo), NÍQUEL (Ni) Y ZINC (Zn). LOS TRES PRIMEROS C, O E H, SON ABASTECIDOS POR EL AIRE Y EL AGUA. LOS RESTANTES 14 ELEMENTOS ESENCIALES DEBEN SER PROVISTOS POR EL SUELO, CON EXCEPCIÓN DEL N EN LEGUMINOSAS, QUE PUEDEN CAPTAR N₂ DEL AIRE MEDIANTE LA FIJACIÓN SIMBIÓTICA CON BACTERIAS DE LOS GÉNEROS RHIZOBIUM Y BRADYRHIZOBIUM. LOS SUELOS PRESENTAN CANTIDADES LIMITADAS DE NUTRIENTES EN NUMEROSAS REGIONES. ESTAS CONDICIONES LLEVAN A

SITUACIONES DE DEFICIENCIA DE NUTRIENTES PARA LOS CULTIVOS. LAS DEFICIENCIAS PUEDEN SER CUBIERTAS POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS, ABONOS ORGÁNICOS Y FERTILIZANTES COMERCIALES.

EL NOTABLE INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS A NIVEL MUNDIAL EN LOS ÚLTIMOS 60 AÑOS (FIGURA 1) SE PUEDE ATRIBUIR A NUMEROSOS FACTORES, TALES COMO EL MEJORAMIENTO GENÉTICO Y LA APARICIÓN DE VARIETADES E HÍBRIDOS DE ALTO POTENCIAL DE RENDIMIENTO, EL MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES, EL MANEJO Y LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS, LAS PRÁCTICAS CULTURALES Y EL MANEJO DE LOS NUTRIENTES VÍA FERTILIZACIÓN. ACTUALMENTE, LA CONTRIBUCIÓN DE LOS FERTILIZANTES COMERCIALES A LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS HA SIDO ESTIMADA EN UN 30-50% DE LOS RENDIMIENTOS¹.

EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ, TRIGO, ARROZ Y SOJA A NIVEL MUNDIAL PERÍODO 1961-2007

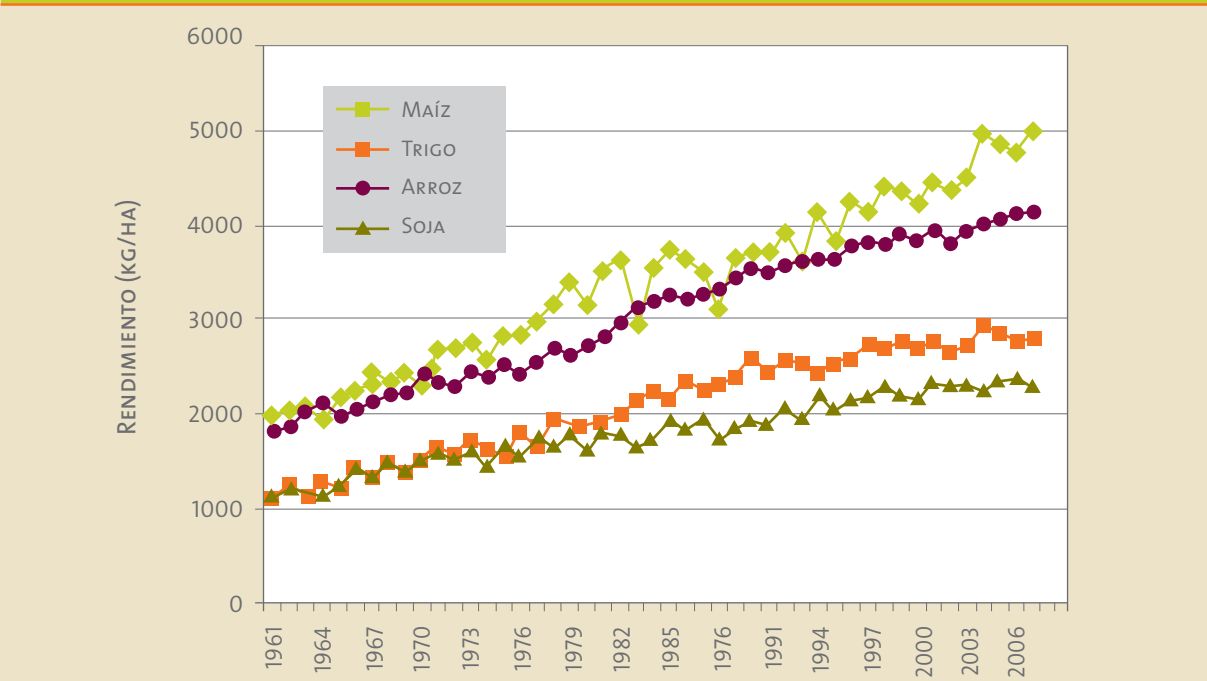


GRÁFICO 1 | FUENTE: FAOSTAT | WWW.FAOSTAT.FAO.ORG

La humanidad ha utilizado conceptos de fertilidad de suelos y uso de nutrientes desde antes del año 2500 A.C., según consta en escritos antiguos, pero recién en la segunda mitad del siglo XIX se determinó el rol y la importancia de los nutrientes en el crecimiento de las plantas. Los experimentos de Justus Von Liebig (1803-1873) en Alemania y de Jean B. Boussingault (1802-1882) en Francia permitieron definir las necesidades de nutrientes de las plantas y su principal fuente de abastecimiento, el suelo². El establecimiento de los ensayos de Rothamsted en Inglaterra por J. B. Lawes y J. H. Gilbert en 1843 probablemente marque el comienzo de la era moderna en el estudio de los efectos de los nutrientes en los rendimientos de los cultivos. Estos ensayos de Rothamsted continúan actualmente en evaluación y constituyen un hito invaluable para el análisis de efectos de la aplicación de nutrientes no solo sobre el rendimiento de los cultivos sino también sobre el ambiente. La *Fotografía 1* muestra los ensayos de Rothamsted en la actualidad.



FOTOG. 1 | LOS ENSAYOS CLÁSICOS DE ROTHAMSTED (INGLATERRA) EN AGOSTO DE 2007

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS CULTIVOS.

Los requerimientos nutricionales de los cultivos se pueden expresar en términos de “absorción” y “extracción”. Se entiende por absorción la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. El término extracción representa la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados: grano, forraje u otros. Los requerimientos de N, P, K, Ca, Mg y S en los principales cultivos extensivos, que abarcan cereales,

leguminosas, oleaginosas e industriales se indican en las Tablas 1, 2 y 3³⁻⁴. Mayor información sobre los requerimientos nutricionales de los cultivos se encuentra disponible en^{3,4 y 5}. Los requerimientos nutricionales varían con el nivel de producción (fertilización y tecnología de manejo de cultivos), el suelo, el clima y el ambiente, por lo que es necesario aclarar que los valores publicados siempre son orientativos. Por otra parte, los requerimientos de absorción y extracción se expresan en términos de kg de nutrientes por tonelada de grano u órgano cosechable, siempre en base seca. Es importante destacar la variabilidad de resultados cuando las concentraciones de los nutrientes en planta u órganos cosechables se expresan con diferentes porcentajes de humedad, sin la corrección necesaria. Más información sobre requerimientos, dinámica y manejo de nutrientes en ecosistemas agrícolas puede ser consultada en⁶⁻⁷.

CEREALES CANTIDAD DE NUTRIENTE TOTAL ABSORBIDO Y EXTRAÍDO EN GRANO EXPRESADO EN KG DE NUTRIENTE POR TONELADA DE GRANO BASE SECA													
CULTIVOS	NOMBRE CIENTÍFICO	ABSORCIÓN TOTAL (KG/TON)						EXTRACCIÓN EN GRANO (KG/TON)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
TRIGO	TRITICUM AESTIVUM L.	30	5	19	3	4	5	21	4	4	0.4	3	2
MAÍZ	ZEAMAYS L.	22	4	19	3	3	4	15	3	4	0.2	2	1
ARROZ	ORYZA SATIVA L.	22	4	26	3	2	1	15	3	3	0.1	1	0.6
CEBADA	HORDEUM VULGARE L.	26	4	20	-	3	4	15	3	5	-	1	2

TABLA 1 | FUENTE: CIAMPITTI Y GARCÍA | 2007

CEREALES CANTIDAD DE NUTRIENTE TOTAL ABSORBIDO Y EXTRAÍDO EN GRANO EXPRESADO EN KG DE NUTRIENTE POR TONELADA DE GRANO BASE SECA													
CULTIVOS	NOMBRE CIENTÍFICO	ABSORCIÓN TOTAL (KG/TON)						EXTRACCIÓN EN GRANO (KG/TON)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
SORGO GRANÍFERO	SORGHUM BICOLOR L.	30	4	21	-	5	4	20	4	4	0.9	1	2
CENTENO	SECALE CEREALE L.	26	4	18	-	-	-	15	3	5	-	-	-
AVENA	AVENA SATIVA L.	34	5	20	-	6	6	20	3	3	-	1	1.8
- DATOS NO DISPONIBLES													
TABLA 1.1 CONT. FUENTE: CIAMPITTI Y GARCÍA 2007													

LEGUMINOSAS Y OLEAGINOSAS CANTIDAD DE NUTRIENTE TOTAL ABSORBIDO Y EXTRAÍDO EN LOS ÓRGANOS COSECHABLES EXPRESADO EN KG DE NUTRIENTE POR TONELADA DE ÓRGANO COSECHABLE (GRANO O FRUTO, ÉSTE ÚLTIMO PARA EL CASO DE MANÍ Y OLIVO) EN BASE SECA													
CULTIVOS	NOMBRE CIENTÍFICO	ABSORCIÓN TOTAL (KG/TON)						EXTRACCIÓN EN GRANO O FRUTO (KG/TON)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
SOJA	GLYCINE MAX L.	75	7	39	16	9	4	55	6	19	3	4	3
GIRASOL	HELIANTHUS ANNUS L.	40	11	29	18	11	5	24	7	6	1	3	2
COLZA/ CANOLA	BRASSICA NAPUS L.	60	15	65	33	10	12	38	11	28	-	-	7
LINO	LINUM USITATISSIMUM L.	45	12	-	-	-	-	30	6	8	2	0.9	3
MANÍ	ARACHIS HYPOGAEA L.	69	7	35	19	-	4	44	4	11	2	-	3
OLIVO	OLEA EUROPAEA L.	16	5	17	-	-	-	12	2	7	-	-	-
CARTAMO	CARTHAMUS TINCTORIUS L.	35	5	23	-	-	-	27	4	5	-	-	-
POROTO	PHASEOLUS VULGARIS L.	-	-	-	-	-	-	35	4	15	3	3	5
HABA	VICIA FABA L.	62	7	33	-	-	-	37	3	12	-	-	-
GARBANZO	CICER ARIETINUM L.	-	-	-	-	-	-	46	4	33	15	7	6
LENTEJA	LENS CULINARIS	65	8	40	-	-	-	53	5	35	-	-	-
MOSTAZA	BRASSICA JUNCEA L.	56	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-
- DATOS NO DISPONIBLES													
TABLA 2 FUENTE: CIAMPITTI Y GARCÍA 2007													

USO DE FERTILIZANTES A NIVEL MUNDIAL: EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS.

El consumo actual mundial de nutrientes N+P2O5+K2O como fertilizantes es de 163.895.000 toneladas, de las cuales 17%, 15%, 15%, 4%, 1,5%, 3,8%, 3,8%, y 15,6% se aplican en trigo, arroz, maíz, soja, palma aceitera, algodón, cultivos sacaríferos, y frutas

y vegetales, respectivamente⁸. La *Tabla 4* muestra la distribución porcentual por grupos de cultivos de las aplicaciones de N, P2O5 y K2O a nivel mundial. Los cuatro principales países consumidores de N+P2O5+K2O representan el 62% del consumo mundial: China 30,6%, India 13,2%, EE. UU. 12,7% y Brasil 5,4% (*Gráfico 2*). Argentina representa aproximadamente un 0,9% del consumo mundial. En

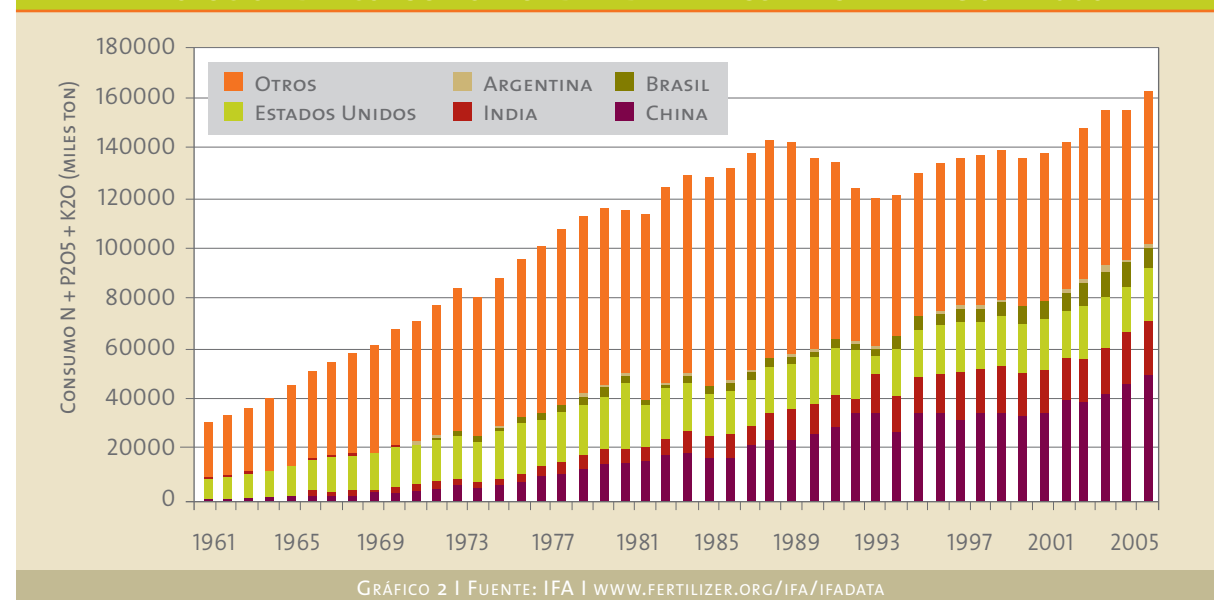
CULTIVOS INDUSTRIALES CANTIDAD DE NUTRIENTE TOTAL ABSORBIDO Y EXTRAÍDO EXPRESADO EN KG DE NUTRIENTE POR TONELADA DE ÓRGANO COSECHABLE EN BASE SECA														
CULTIVOS	NOMBRE CIENTÍFICO	ÓRGANO COSECHABLE	ABSORCIÓN TOTAL (KG/TON)						EXTRACCIÓN TOTAL (KG/TON)					
			N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
ALGODÓN	GOSSYPIMUM SPP.	FIBRA	150	25	100	-	24	25	70	13	33	-	-	12
CAÑA DE AZÚCAR	SACCHARUM OFFICINARUM L.	CAÑA (MATERIA SECA)*	1.4	0.2	1.7	0.9	0.5	0.4	0.8	0.1	0.8	0.5	0.3	0.3
REMOLACHA AZUCARERA	BETA BULGARIS L.	RAÍZ	4	2	10	-	1	0.4	2	2	2	-	0.6	0.2
CAFÉ	COFFEA ARABICA L.	FRUTO	24	2	19	2	1	1	5	0.5	6	-	-	-
TÉ	CAMELLIA L.	HOJA SECA	21	3	8	5	2	-	9	2	3	1	0.6	-
YERBA MATE	ILEX PARAGUARENSIS	HOJA SECA	-	-	-	-	-	-	9	0.6	6	1	1	-
TABACO	NICOTIANA TABACUM L.	HOJA SECA	65	9	100	36	8	10	32	6	36	30	4	5
* EN LA ABSORCIÓN SE CONSIDERAN LAS RAÍCES Y LAS PARTES AÉREAS, Y EN LA EXTRACCIÓN SÓLO LA PARTE AÉREA - DATOS NO DISPONIBLES														
TABLA 3 FUENTE: CIAMPITTI Y GARCÍA 2007														

los últimos 15 años, China, Brasil, India y Argentina incrementaron marcadamente el consumo de fertilizantes, mientras que EE.UU. y otros países mantuvieron consumos estables. Así, en 1993, el consumo mundial representaba el 74% del consumo registrado en 2006: 49% en China, 57% en India, 98% en EE.UU., 50% en Brasil, 21% en Argentina y 96% en otros países. El incremento en el consumo mundial de fertilizantes está dirigido por una mayor demanda de alimentos, fibras y energía (biocombustibles). El aumento de la población y el mejoramiento en su calidad de vida en países como China, India y otros del este de Asia ha generado una mayor demanda de granos, harinas, expellers, etcétera. Por otra parte, el surgimiento de

los biocombustibles también contribuyó significativamente a esta mayor demanda. La necesidad de preservar tierras no aptas para la agricultura conlleva a una mayor intensificación, es decir, a lograr mayores rendimientos en tierras aptas para el cultivo. Esta situación generará una mayor demanda de nutrientes y de un manejo eficiente de éstos, lo que le evitará pérdidas en el ambiente y contaminación de suelos, agua y aire. Las tasas de incremento anual en la demanda de fertilizantes a nivel mundial se ubican en el orden de 2,5-3,0%, aunque estos incrementos varían marcadamente debido a los cambios en la economía mundial, en especial en este ultimo año⁹. El mayor crecimiento en el consumo proviene del sur y el este de Asia y, en segundo término, de América Latina.

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA APLICACIÓN DE NUTRIENTES POR GRUPOS DE CULTIVOS					
NUTRIENTE	CEREALES	OLEAGINOSOS	ALGODÓN	SACARÍFEROS	FRUTAS Y VEGETALES
	%	%	%	%	%
N	56	7	4	3	15
P ₂ O ₅	48	14	4	3	16
K ₂ O	39	17	3	8	19
TOTAL	51	10	4	4	15
TABLA 4 FUENTE: HEFFER 2008					

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO MUNDIAL DE N+P2O5+K2O ENTRE 1961 Y 2006



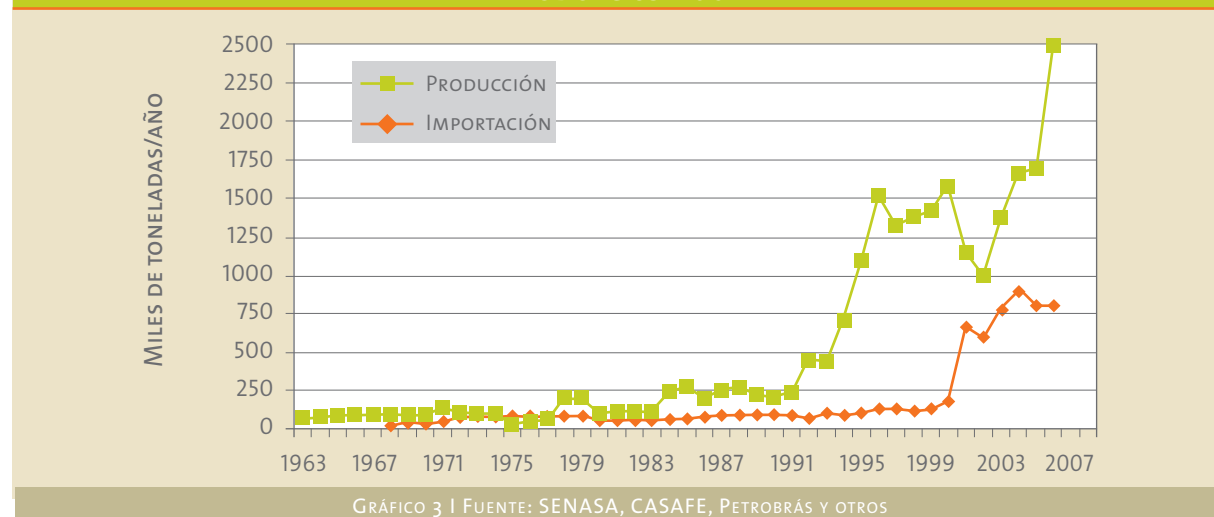
USO ACTUAL E HISTÓRICO DE FERTILIZANTES EN ARGENTINA | PERÍODO 1949-2008.

USO ACTUAL DE FERTILIZANTES EN EL PAÍS.

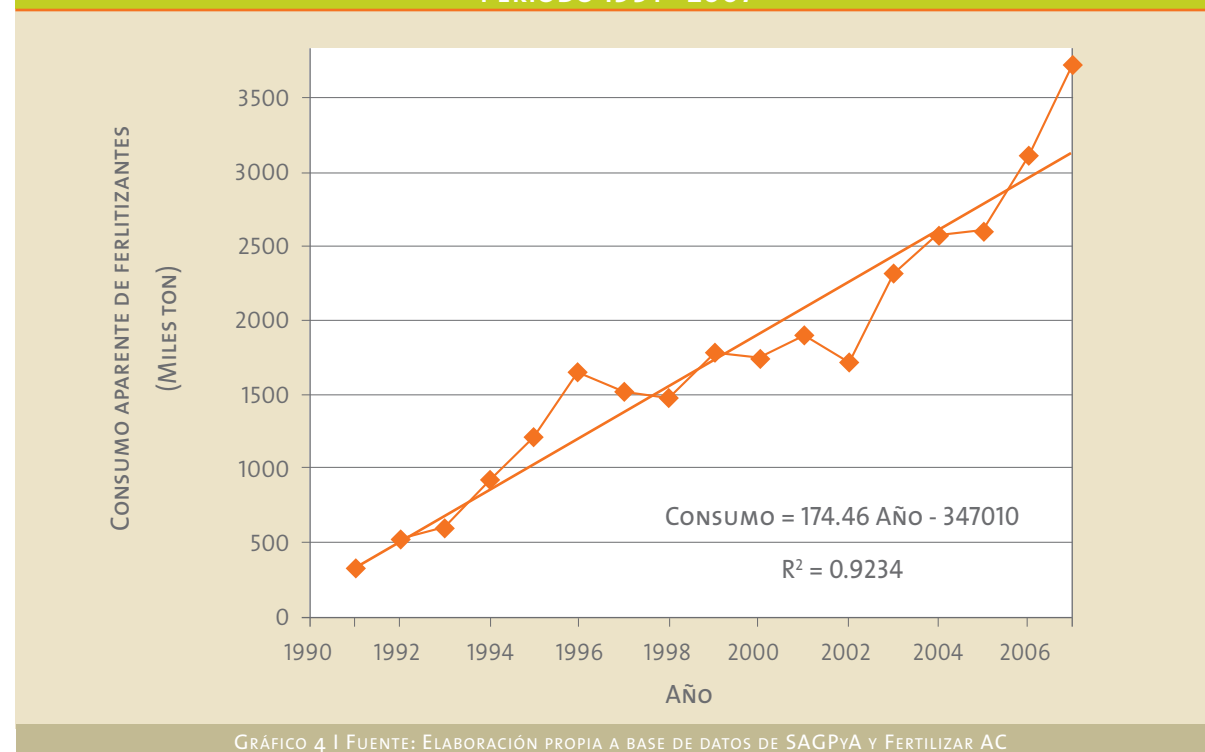
En el Gráfico 3 se puede apreciar la evolución de las importaciones y de la producción nacional de

fertilizantes en los últimos cuarenta y cinco años. La producción y la importación pasaron de 150 mil toneladas en 1963 a aproximadamente 3.7 millones de toneladas en 2007. En el período 1991-2007, el consumo aumentó a una tasa anual promedio del 18% (174 mil toneladas por año), con variaciones interanuales del -9% al 58% (Gráfico 4).

EVOLUCIÓN DE LAS IMPORTACIONES Y DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE FERTILIZANTES PERÍODO 1963-2007



EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE FERTILIZANTES EN ARGENTINA PERÍODO 1991 - 2007



Los Gráficos 5 y 6 muestran la evolución del consumo estimado de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, respectivamente, a partir de 1993, en términos de toneladas de N y de P2O5. El consumo de N aumentó de 117 mil toneladas en 1993 a 894 mil toneladas en 2007, mientras que el consumo de P2O5 se incrementó de 58 mil toneladas (25.5 mil toneladas de P) a 702 mil toneladas (307 mil toneladas de P). Entre los fertilizantes nitrogenados, la urea representa actualmente 52% del consumo total de N y el UAN 20% del consumo total de N. Entre los fosfatados, los más utilizados son el fosfato monoamónico y el fosfato diamónico con 43% y 33%, respectivamente, del consumo total de P.

En la actualidad, la capacidad de producción nacional incluye aproximadamente: 1.1 millones de toneladas de urea de la planta de Profertil en Bahía Blanca (Buenos Aires); 180 mil toneladas de urea, 280 mil toneladas de UAN y 84 mil toneladas de tiosulfato de amonio de la planta de PASA-Petrobras en Cam-

pana (Buenos Aires); 243 mil toneladas de superfosfato simple de calcio (SFS) producido por Mosaica en Quebracho (Santa Fe); y 200 mil toneladas de SFS producido por Bunge en San Nicolás (Buenos Aires). Existen numerosos productores de minerales, principalmente sulfato de calcio (yeso), distribuidos en todo el país.

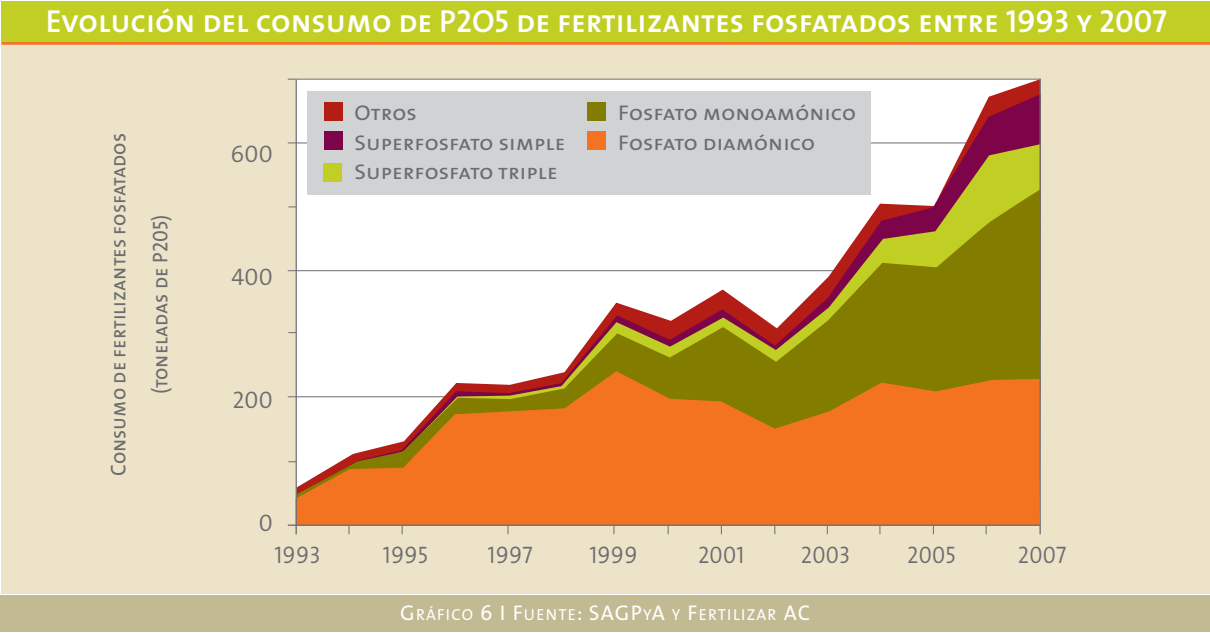
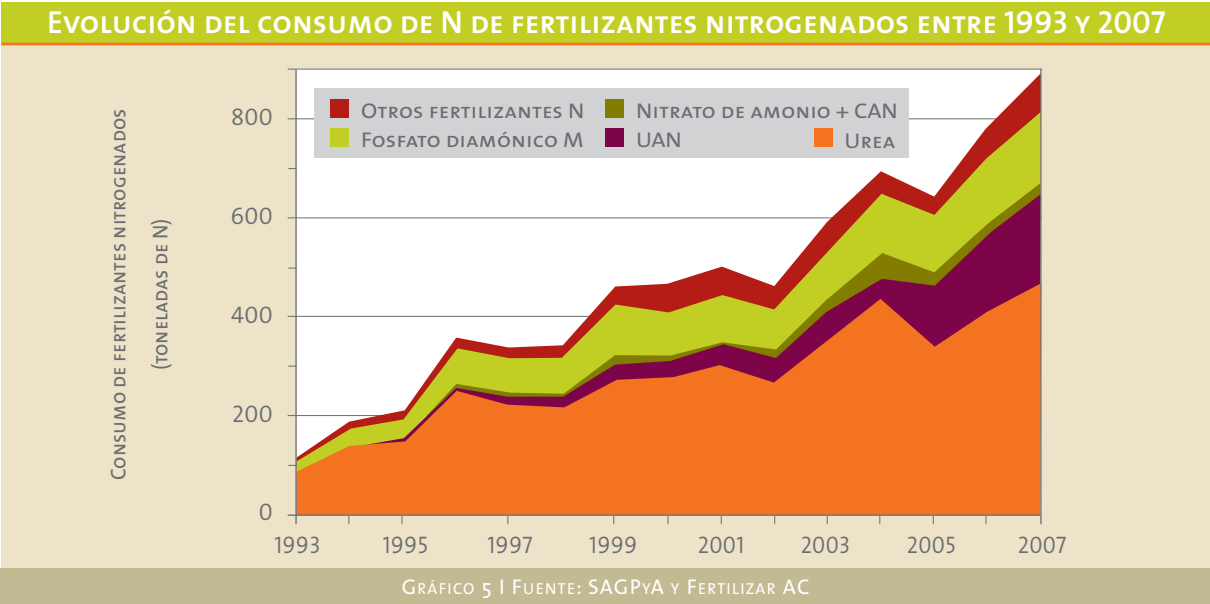
En cuanto al uso de nutrientes por cultivo, se estima que en la actualidad 80% del consumo total se destina a los cinco principales cultivos de grano: trigo, maíz, soja, girasol y sorgo (Tabla 5). El mayor porcentaje de área fertilizada se registra en trigo y maíz, principalmente con N y P (Tabla 6). El consumo y área fertilizada en soja ha crecido marcadamente en los últimos años. Para la campaña 2003/04, se estimó un área fertilizada del 20% con una dosis promedio de 9 kg de P por ha, mientras que para la campaña 2007/08 se pudo estimar una dosis de 18 kg de P por ha para un área fertilizada del 40% de soja.

MERCADO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO EN EL AÑO 2006						
FERTILIZANTES	TRIGO TON	MAÍZ TON	GIRASOL TON	SOJA TON	SORGO TON	TOTAL TON
NITROGENADOS	595.178	476.773	53.476	-	29.000	1.154.427
FOSFORADOS	381.386	248.334	46.530	519.011	27.500	1.222.761
AZUFRADOS	77.105	67.229	-	17.092	8.546	169.972
TOTAL APLICADO	1.053.669	792.336	100.006	536.103	65.046	2.547.160
TOTAL DEL CONSUMO NACIONAL	33,3%	25,0%	3,2%	16,9%	2,1%	80,5%

TABLA 5 | FUENTE: OLIVERIO Y LÓPEZ | 2008

CONSUMO DE NUTRIENTES ESTIMADO POR CULTIVO EN ARGENTINA EN EL AÑO 2007 PARA LOS CUATRO PRINCIPALES CULTIVOS DE GRANO				
CULTIVO		N	P	S
TRIGO	KG/HA	46	15	10
	% AREA FERTILIZADA	95	95	50
MAÍZ	KG/HA	57	14	7
	% AREA FERTILIZADA	90	90	40
SOJA	KG/HA	-	15	10
	% AREA FERTILIZADA	-	50	50
GIRASOL	KG/HA	15	9	5
	% AREA FERTILIZADA	60	40	10

TABLA 6 | FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

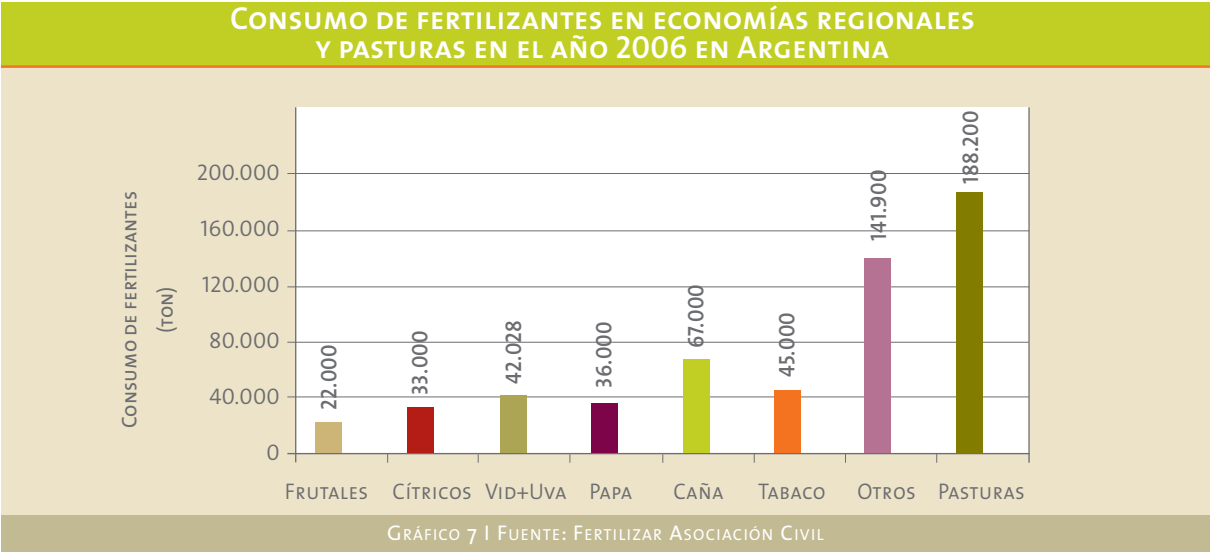


Fertilizantes en economías regionales y pasturas

El consumo de fertilizantes en 2006 en economías regionales y pasturas totalizó unas 575.100 toneladas de fertilizantes, según información de Fertilizar Asociación Civil. El Gráfico 7 muestra la distribución entre los distintos cultivos. Para esa campaña 2006, estas 575.100 toneladas representaron apro-

ximadamente 18% del consumo nacional de fertilizantes, mientras que el 82% restante correspondió al consumo de trigo, maíz, soja, girasol, sorgo, cebada, arroz y otros extensivos.

En la región noroeste (Salta, Tucumán, Jujuy y Catamarca), se estimó el consumo de N, P y K en 45.000, 3.000 y 6.200 toneladas, respectivamente,



para la campaña 2007/08 en cultivos como caña de azúcar, tabaco, limón, otros cítricos, hortalizas, banana y otros. Los principales fertilizantes utilizados son la urea, especialmente en caña de azúcar y citrus, los fosfatados y las mezclas NPK, en especial en tabaco.

En el mercado de Cuyo, el consumo estimado para la misma campaña 2007/08 incluyó 21.100 toneladas de nitrogenados, 186 toneladas de fosfatados, 407 toneladas de potásicos, 9.400 toneladas de nitro-

por año. Los principales fertilizantes utilizados son nitrato de amonio, sulfato de amonio, urea, fosfatos y mezclas NPK.

USO HISTÓRICO DE FERTILIZANTES.

En Argentina y principalmente dentro de la Región Pampeana, la producción agrícola fue realizada durante casi un siglo aprovechando la fertilidad

En Argentina y principalmente dentro de la Región Pampeana, la producción agrícola fue realizada durante casi un siglo aprovechando la fertilidad natural de sus tierras.

fosfatos, 1.500 toneladas de nitropotásicos, 12.400 toneladas de fertilizantes NPK, 562 toneladas de foliares y 11.300 toneladas de fertilizantes con micronutrientes. Los principales cultivos incluyen vid, olivo, durazno, ciruelo, manzano, pera, ajo, cebolla, tomate y papa. En el Valle de Río Negro se cultivan unas 46.000 ha de frutales (manzana, pera, durazno y ciruela principalmente) que reciben 7.000 toneladas de fertilizantes

natural de sus tierras. En efecto, los suelos predominantes (Molisoles) de una alta fertilidad, tanto por sus propiedades químicas y biológicas como por sus características físicas, permitieron el establecimiento y el crecimiento de los cultivos con rendimientos aceptables durante casi un siglo. Esta fertilidad natural debida a un alto contenido original de materia orgánica, un pH levemente ácido, una textura superficial franca, franco-arcillosa o

EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE CULTIVADA, LA PRODUCCIÓN DE GRANOS Y EL CONSUMO DE FERTILIZANTES EN EL PAÍS EN LOS ÚLTIMOS 63 AÑOS (PROMEDIOS APROXIMADOS DE DECENIOS Y QUINQUENIOS)				
PERÍODO	SUPERFICIE CULTIVADA (MILLONES HA/AÑO)	PRODUCCIÓN DE GRANOS (MILLONES TON/AÑO)	CONSUMO DE FERTILIZANTES (MILES DE TON/AÑO)	CONSUMO PROMEDIO DE FERTILIZANTES (KG/HA CULTIVADA)
1945-1955	18	23	10**	1
1955-65	19	25	50	3
1966-75	19	25	150	8
1976-85	20	35	250	13
1986-90	19	30	300	16
1991-95	20	40	800	40
1996-2000	22	55	1.600	73
2001-2005	24	70	1.800	75
2005-2008	30	87	3.060	102
** SOLAMENTE A PARTIR DE 1933				
TABLA 7 FUENTE: SAGPyA Y FERTILIZAR AC				

franco-arenosa, y a un material madre (loess) rico tanto en bases (Ca, Mg y sobre todo en K) como en otros nutrientes, permitió obtener rendimientos aceptables para la época sin necesidad de recurrir a la fertilización, al menos entre 1860 y 1960 (Tabla 7).

Años 1950 - 1960.

La predominancia de un sistema mixto de producción (agrícola-ganadero), donde durante el período ganadero se recomponía la fertilidad física y química (nitrogenada), unida a la fertilidad natural de los suelos, y a los menores rendimientos obtenidos, permitía una adecuada nutrición de los cultivos. El fosfato diamónico y la urea eran usados desde fines de los años 50 por varios productores, principalmente en cultivos intensivos, tales como papa, caña de azúcar, frutales y otros. A partir de 1960, la EEA Balcarce del INTA comenzó a experimentar con fertilización nitrogenada y fosfatada en el cultivo de trigo. En Tres Arroyos, la Cooperativa Alfa realizó la primera importación de urea para el cultivo de trigo en 1960. Los productores trigueros del sur de Buenos Aires son precursores en la fertilización de cultivos extensivos a partir de esta década. Empresas pioneras de los 60 fueron Archilnit y Agromax, que desarrollaron los primeros emprendimientos de significancia en el sector de fertilizantes. El 11 de mayo de 1968, la empresa PETROSUR S.A. inauguró la primera planta de producción de fertilizantes del país para la fabricación de urea en Campana (Buenos Aires), e inició sus actividades con una capacidad de producción de 170 toneladas de urea/día. A partir de 1968, con el auspicio del CIMMYT y la Fundación Ford, el INTA estableció un programa de experimentación y transferencia tecnológica en Nutrición y Fertilización de los cultivos de trigo y maíz, del cual participaron las Estaciones Experimentales de Marcos Juárez, Pergamino y Balcarce, y se creó una red de ensayos en campos de productores desde Pergamino hasta 9 de Julio y desde Balcarce hasta Cnel. Dorrego. Se establecieron así los primeros patrones de respuesta para trigo y maíz.

Década de 1970.

Comienza el proceso de agriculturización, que se acentuó a partir de 1976 con la irrupción masiva del cultivo de soja en el sur de Santa Fe y el norte de la provincia de Buenos Aires. Se realizó con intenso laboreo y cero uso de fertilizantes. Comenzaron los primeros trabajos en el INTA para la elaboración de métodos de diagnóstico para la fertilización con N y P en los cultivos de trigo y maíz. El INTA y la FAO iniciaron un programa de cooperación en 1970 que permitió estudiar más a fondo las deficiencias de P en el sudeste bonaerense. Se llegaron a realizar 50 ensayos por año en campos de productores y se estudió la respuesta a N y P en trigo y maíz. Hacia fines de 1977, el INTA Balcarce ya contaba con modelos matemáticos que permitían estimar los rendimientos y la respuesta del trigo a la fertilización NP en distintos tipos de suelo, con diferentes grados de estrés hídrico.

Década de 1980.

Se intensificó el proceso de agriculturización con intenso laboreo. En la mayoría de las regiones productivas de la pampa húmeda se alcanzaron y/o superaron valores de 80% de uso agrícola del suelo. Hasta mitad de la década, los niveles de materia orgánica en la capa arable del suelo cayeron aproximadamente al 50% del contenido original. El uso de fertilizantes minerales era bajísimo, 13 kg/ha cultivada. Este consumo se concentraba en cultivos regionales como caña de azúcar y frutales, en papa, trigo y, en mucho menor grado, en maíz y pasturas. Comenzó un proceso de deterioro de los suelos agravado por el desbalance entre extracción de nutrientes por las cosechas y reposición por fertilización. La Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (SAGyP) implementó junto con el INTA y la Junta Nacional de Granos en 1983/84 el subprograma “Fertilizantes”, cuya finalidad era aumentar la productividad agrícola mediante un mayor empleo de fertilizantes, estableciendo para tal fin los Planes “Canje” (Cereal por Fertilizante). En el mismo año (1983), la EEA INTA Balcarce, en

colaboración con todas las experimentales del ámbito pampeano, publicó el primer mapa regional donde se mostraban los contenidos de fósforo extractable (Bray 1) de los suelos, y se establecieron áreas con niveles deficientes medios y suficientes para los cultivos dentro de la Región Pampeana³⁵. En 1986, el INTA puso en marcha el Proyecto de Agricultura Conservacionista, que hizo una intensa difusión de tecnologías conservacionistas, tales como reducción de laboreo, siembra directa, fertilización y sistematización en suelos con pendientes pronunciadas. Se puso en evidencia, mediante la investigación en campos de productores, la importancia de la estrategia de fertilización de arranque cuando se realiza siembra directa.

A principios de la década, la Cátedra de Cereales de la Facultad de Agronomía (UBA) estableció redes de ensayos NP en trigo y maíz, en colaboración con los grupos CREA, en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Estos ensayos permitieron determinar umbrales críticos para la toma de decisión de la

experimentales del INTA en Marcos Juárez, Pergamino, Oliveros y Balcarce sobre técnicas de diagnóstico para recomendaciones de fertilización de cultivos (trigo, maíz, soja), y volcarla a métodos sencillos comprensibles por el productor. Se realizaron muchas experiencias de campo, se actualizaron y estandarizaron los métodos de análisis de suelo, se dieron varios cursos para capacitar ingenieros agrónomos en esta especialidad y se redactó y publicó el primer Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes en 1989 (Darwich, 1989).

Década de 1990.

Fue la década del despegue en el uso de fertilizantes para la agricultura extensiva en Argentina. Distintos factores económicos, comerciales, logísticos, técnicos y científicos se combinaron para permitir la expansión del uso de fertilizantes que pasó de aproximadamente 250 mil toneladas a más de 1,6 millones de

conocimientos por medio de la revista “FERTILIZAR” y decenas de reuniones con productores y técnicos en diferentes regiones del país, financiando la realización de ensayos de experimentación y/o demostrativos llevados a cabo por las diferentes Estaciones Experimentales del INTA dentro del ámbito pampeano. Asimismo, favoreció el contacto de los profesionales dedicados a la experimentación e investigación en Fertilidad de Suelos del INTA y de las universidades nacionales.

A mediados de la década, el INTA Casilda, mediante investigaciones realizadas en campo de productores, puso en evidencia la necesidad de la fertilización azufrada haciendo un aporte singular en el logro de mejores rendimientos para los cultivos implantados bajo siembra directa, particularmente trigo y soja. Estas investigaciones demostraron la respuesta de la soja a la aplicación de nutrientes, lo que facilitó la difusión y adopción no solo de la fertilización azufrada sino también de la fertilización fosfatada. El Instituto del Fósforo y el Potasio (INPOFOS) intensificó sus actividades de difusión en América Latina y en 1998 fundó en el país su oficina Regional para el Cono Sur, que brinda apoyo a la investigación y facilita el intercambio entre diferentes grupos de investigadores, fomentando la experimentación en el uso de fertilizantes mediante experiencias de campo, publicaciones, simposios, reuniones y cursos para profesionales y productores interesados en capacitarse en la materia.

A mediados de los 90, se instalaron los primeros agrocentros de distribución a granel de fertilizantes y de preparación de mezclas físicas específicas según cada lote. La posibilidad de contar con fertilizantes a granel y de mezclas físicas “a pedido” es un servicio altamente valorado por los productores y

contribuye en gran medida a la adopción del uso de fertilizantes, que creció marcadamente durante esta década (Gráficos 3 y 4). Estos agrocentros también brindaron servicios de muestreo y de análisis de suelos, lo que facilitó la difusión y aplicación de los conocimientos desarrollados (Fotografías 2 a 5).

En 1994, la firma PASA Fertilizantes comenzó la producción de UAN en el país. El primer año se produjeron 1.200 toneladas, en los años siguientes hasta 1999 se produjeron 5.800, 17.500, 25.000, 35.000 y 65.000 toneladas. Este fertilizante líquido nitrogenado alcanzó gran difusión entre los productores y hoy ha llegado a ocupar el segundo lugar después de la urea. Entre el 30 y 35% del total de fertilizantes nitrogenados que se consumen en el país son líquidos y el UAN es el principal.

Hacia mediados de la década (1996), se logró incrementar el consumo de fertilizantes a 50 kg por ha cultivada. No obstante, los balances de nutrientes (extracción por las cosechas-reposición por fertilización) continuaron siendo negativos a pesar de los esfuerzos de difusión realizados por el INTA, las universidades, FERTILIZAR, INPOFOS y las organizaciones de productores como AACREA, AAPRESID y otras.

Década del 2000.

La década comenzó con la concreción de un gran anhelo para los productores argentinos, la creación de la primera fábrica de urea granulada a nivel nacional. Mediante la asociación de dos empresas, Repsol-YPF y Agrium (Canadá), con una inversión cercana a los 700 millones de dólares, se creó en Bahía Blanca el complejo productor de amoníaco y

Fue la década del despegue en el uso de fertilizantes para la agricultura extensiva en Argentina.

fertilización NP en ambos cultivos.

A partir de un acuerdo de Cooperación Tecnológica entre los gobiernos de Italia y Argentina nació, en 1987- 88, el Proyecto “Desarrollo de la Fertilización en la Argentina”, que fue implementado en forma conjunta por la SAGyP y el INTA con la asistencia técnica y económica del gobierno italiano. Participaron las EEA de Marcos Juárez, Pergamino, Oliveros y Balcarce, con sus respectivas Agencias de Extensión. Este proyecto tenía dos objetivos principales:

1. En el área de comercialización y transporte de fertilizantes, se trató de agilizar el movimiento en los puertos. Dado que la mayoría del fertilizante que se usaba era importado y se transportaba y comercializaba en bolsas de 50 kg, los puertos eran un cuello de botella pues no contaban con la infraestructura necesaria para trabajar a granel.

2. En la faz técnica, el proyecto apuntaba a recopilar toda la información generada por las estaciones

toneladas en este período.

Entre los factores tecnológicos destacados en este período, la adopción de sistemas de siembra directa (SD) en cultivos extensivos impulsó decisivamente el uso de fertilizantes. La SD contribuyó a un uso más eficiente del agua y, por ende, al logro de rendimientos mayores y más estables. La labor de INTA y muchas otras instituciones y organizaciones en la generación de la tecnología y de AAPRESID en la difusión del sistema ha resultado en niveles de adopción de la SD de aproximadamente 70% del área de producción de cultivos extensivos.

En 1994, el INTA puso en marcha el proyecto FERTILIZAR, que reunió a las principales empresas privadas que producían o comercializaban fertilizantes en el país con el objeto de mejorar la difusión de los conocimientos y crear conciencia en los productores y técnicos respecto a la necesidad y conveniencia de aumentar el uso de fertilizantes por ha cultivada. En los últimos años (1995-2005), este proyecto realizó un valioso aporte en la difusión de los



FOTOGS.: 2 A 5 | INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO TÍPICOS DE UN AGROCENTRO DE DISTRIBUCIÓN A GRANEL Y PREPARACIÓN DE MEZCLAS FÍSICAS

urea más importante de Sudamérica, capaz de producir 1.100.000 tn de urea granulada/año y 750.000 tn de amoníaco.

En el año 2004, PASA-Petrobras creó la primera fábrica de tiosulfato de amonio en Campana, con una producción anual de 9 mil toneladas que fue incrementándose a lo largo de los últimos años, hasta alcanzar las 91 mil toneladas de producción en 2008.

Continuando con el desarrollo de la producción local de fertilizantes, en 2007 Mosaic instaló la primera planta de producción de superfosfato simple en Quebracho, en las cercanías de San Lorenzo (Santa Fe), con una producción anual de aproximadamente 240 mil toneladas. En 2009, Bunge comenzó a operar una planta de producción de superfosfato simple en San Nicolás (Buenos Aires), con una producción anual de 200 mil toneladas.

En el 2005, se creó la Asociación Civil Fertilizar, que fue impulsada y gerenciada por las empresas produc-

Se multiplicaron las investigaciones y experimentaciones en los campos de productores en numerosas zonas del país gracias al trabajo de varias instituciones. Estos trabajos tenían objetivos de investigación y de extensión, y permitieron que los productores se involucraran directamente en la evaluación de dosis, fuentes, momentos y formas de aplicación de nutrientes. Las fotografías 2 a 6 muestran algunos de estos trabajos.

En este período se multiplicaron las investigaciones y experimentaciones para evaluar deficiencias y respuestas a otros nutrientes más allá de N, P y S en cultivos extensivos. Se determinaron respuestas a cloro en trigo, a zinc en maíz, y a boro en girasol y alfalfa¹³, entre las más destacadas.

A pesar del notable aumento en el consumo de fertilizantes, el desbalance de nutrientes sigue siendo muy importante. Después de años de difusión masiva por parte del INTA, FERTILIZAR, INPOFOS/IPNI y muchas otras instituciones sobre los

La década comenzó con la concreción de un gran anhelo para los productores argentinos, la creación de la primera fábrica de urea granulada a nivel nacional. Mediante la asociación de dos empresas, Repsol-YPF y Agrium (Canadá), con una inversión cercana a los 700 millones de dólares, se creó en Bahía Blanca el complejo productor de amoníaco y urea más importante de Sudamérica, capaz de producir 1.100.000 tn de urea granulada/año y 750.000 tn de amoníaco.

toras y/o distribuidoras de fertilizantes en el país. A partir de 2007, INPOFOS Cono Sur pasó a integrar el Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI).

Comenzó el desarrollo de la Agricultura de Precisión en el país impulsada desde el INTA Manfredi en la provincia de Córdoba. Paulatinamente se fueron adaptando tecnologías que permitieron hacer un uso más eficiente de los fertilizantes nitrogenados como los lectores de índice verde y el manejo de dosis variables. INTA Paraná y AAPRESID llevaron adelante trabajos pioneros en el manejo de dosis variables de N utilizando sensores remotos en colaboración con la Universidad Estatal de Oklahoma (EE. UU.) y otras instituciones internacionales. Los productores privados comenzaron a evaluar el manejo de la fertilización por ambientes con dosis variables de nutrientes.

riesgos que conllevan los balances negativos de nutrientes para la sustentabilidad de los sistemas productivos, parecería ser que actualmente una gran parte de los productores ha tomado conciencia de la necesidad de emplear fertilizantes en sus sistemas de producción. No obstante, es necesaria una mayor y más detallada experimentación de campo para lograr adecuados métodos de diagnóstico o ajustes de los existentes, así como también una mayor divulgación de las estrategias de reposición de nutrientes.

USO FUTURO DE FERTILIZANTES EN ARGENTINA | 2009-2015.

A partir del notable incremento en el uso de fertilizantes registrado en Argentina entre 1991 y 2007 (Gráfico 4), se podría predecir un consumo para el



FOTOGS.: 6 A 14 | VISTAS DE PARCELAS Y VISITAS A ENSAYOS EN LOTES DE PRODUCTORES Y CAMPOS EXPERIMENTALES

2015 de 4,5-4,6 millones de toneladas. Las proyecciones de uso futuro se pueden basar en las necesidades de reposición de los nutrientes extraídos por los cultivos más las necesidades de construcción de niveles de nutrientes en los suelos y/o a partir de proyecciones de área futura de siembra y estimaciones de uso de fertilizante por ha según el cultivo. La Fundación Producir Conservando recientemente realizó un análisis de necesidades potenciales de fertilizantes para 2015¹⁴, basadas en la reposición de nutrientes para una agricultura sustentable. La proyección se realizó considerando una producción de granos de 122 millones de toneladas previstas

para 2015 y reposiciones promedio de N del 45%, de P del 97%, de K del 3% y de S del 68%. El consumo proyectado para el 2015 implica reponer 2,6 millones de toneladas de nutrientes en los principales cinco cultivos de grano (soja, trigo, maíz, girasol y sorgo). Estas 2,6 millones de toneladas de nutrientes representarían un consumo aproximado de fertilizantes de 4,4 millones de toneladas (Tabla 8). Si se considera que los cinco principales cultivos consumen 80% del total de fertilizantes y se proyecta un aumento proporcionalmente similar en el consumo en otros cultivos, se alcanza un consumo proyectado de alrededor de 5,53 millones de tone-

PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS DE GRANOS, Y PORCENTAJE DE REPOSICIÓN Y CONSUMO DE NUTRIENTES PARA 2015										
CULTIVO	SUPERFICIE HA	PRODUCCIÓN TON	PORCENTAJE REPOSICIÓN				CONSUMO			
			N	P	K	S	N	P	K	S
			%				TON			
TRIGO	6.300.000	17.760.432	80	100	2	52	258.300	63.000	1.260	12.600
MAÍZ	6.100.000	37.687.603	82	98	3	71	414.800	97.600	4.880	30.500
SORGO	700.000	3.487.959	85	91	4	62	51.800	10.500	420	4.200
SOJA	19.100.000	55.092.779	-	96	4	71	-	286.500	32.470	114.600
GIRASOL	2.300.000	4.348.039	81	96	2	60	75.900	25.300	460	4.600
TOTAL	34.500.000	118.376.833					800.800	482.900	39.490	166.500

TABLA 8 | FUENTE: REALIZADA POR LA FUNDACIÓN PRODUCIR CONSERVANDO | OLIVERIO Y LÓPEZ | 2008

ladas de fertilizantes para 2015. La *Tabla 9* muestra una proyección de consumo de fertilizantes considerando dosis modales de nutrientes por cultivo para la misma área de siembra proyectada por la Fundación Producir Conservando para 2015. Los consumos finales proyectados son muy similares a los realizados considerando porcentajes de reposición de nutrientes. El *Gráfico 8* muestra la proyección de consumo de nutrientes proyectada para 2015 comparada con la evolución registrada en los últimos 15 años. El incremento en el consumo por nutriente de 2007 a 2015 sería de 13%, 85%, 76% y 86% para N, P, K y S, respectivamente. El menor incremento en consumo de N respecto de los otros tres nutrientes se debe

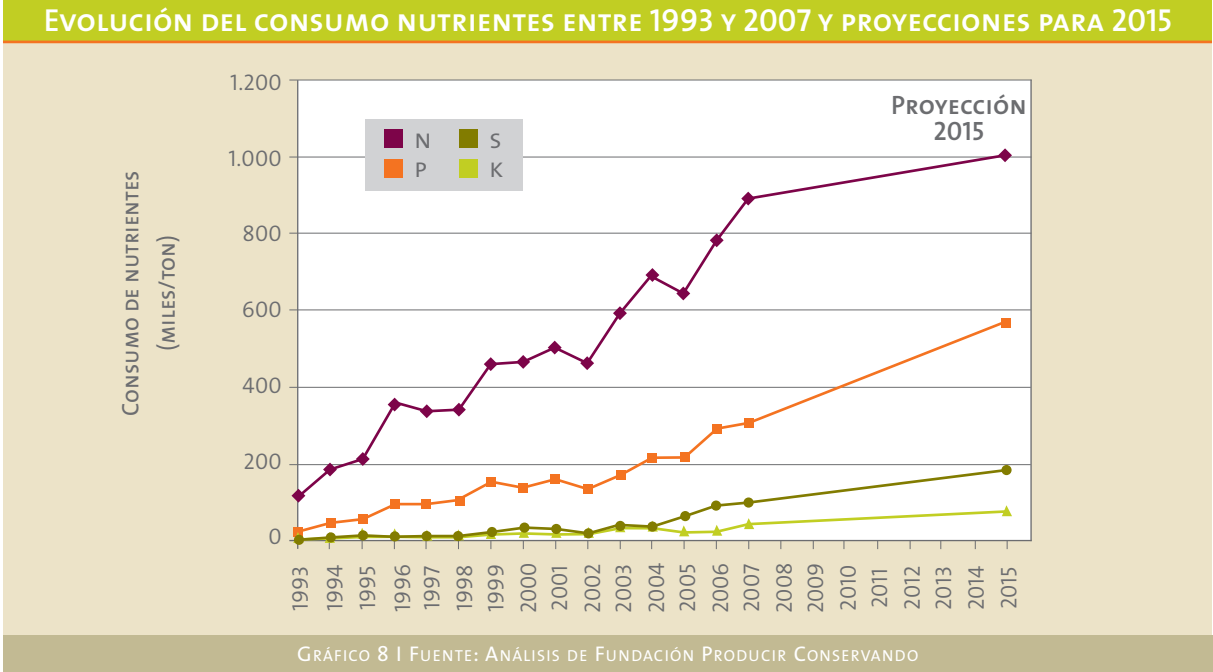
fundamentalmente a la mayor proporción de superficie proyectada de soja respecto de los otros cuatro cultivos (55% del total del área). Escenarios de mayor crecimiento en área de maíz, por ejemplo, cambiarían esta situación de manera significativa. Maizar Asociación Civil ha propuesto un escenario a futuro de 10 millones de ha de maíz con rendimientos promedio de 8 ton/ha. En esta situación, el consumo proyectado de N para maíz se ubicaría en alrededor de 700 mil toneladas de N.

Las proyecciones de consumo de fertilizantes a mayor plazo que 2015 dependerán de:

A. Cambios en el área sembrada de los cultivos,

PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS DE GRANOS Y PORCENTAJE DE REPOSICIÓN Y CONSUMO DE NUTRIENTES PARA 2015 REALIZADO CON DOSIS MODALES DE APLICACIÓN DE NUTRIENTES									
CULTIVO	SUPERFICIE HA	Dosis				CONSUMO			
		N	P	K	S	N	P	K	S
		HK/HA				TON			
TRIGO	6.300.000	50	12	1	3	315.000	75.600	6.300	18.900
MAÍZ	6.100.000	70	15	1	5	427.000	91.500	6.100	30.500
SORGO	700.000	70	15	0.5	5	49.000	10.500	350	3.500
SOJA	19.100.000	-	15	2	6	-	286.500	38.200	114.600
GIRASOL	2.300.000	35	12	0.2	2	80.500	27.600	460	4.600
TOTAL	34.500.000					871.500	491.700	51.410	172.100

TABLA 9 | FUENTE: REALIZADA POR LA FUNDACIÓN PRODUCIR CONSERVANDO



B. Ganancias en el rendimiento debidas a avances en mejoramiento y manejo de los cultivos y suelos,

C. Avances en las mejores prácticas de manejo (MPMs) de nutrientes y, específicamente, fertilizantes en cuanto a dosis, fuente, momento y forma de aplicación. Las mejoras en eficiencia de uso de los nutrientes a partir de la implementación de MPMs de fertilizantes son una alternativa de alto impacto potencial en el consumo futuro de este insumo.

cipación de la fertilización en el aumento de los rendimientos puede ser estimada, según la información del *Gráfico 10*, en un aumento del rendimiento relativo de los cuatro principales cultivos de grano (Base 1991=100%) de casi 1% cada 100.000 toneladas de incremento de consumo de fertilizantes para el período 1991-2005. Esta estimación indicaría que la fertilización habría contribuido en un 30-35% del crecimiento en la producción de granos en el país.

IMPACTOS DEL USO DE FERTILIZANTES EN LA AGRICULTURA ARGENTINA.

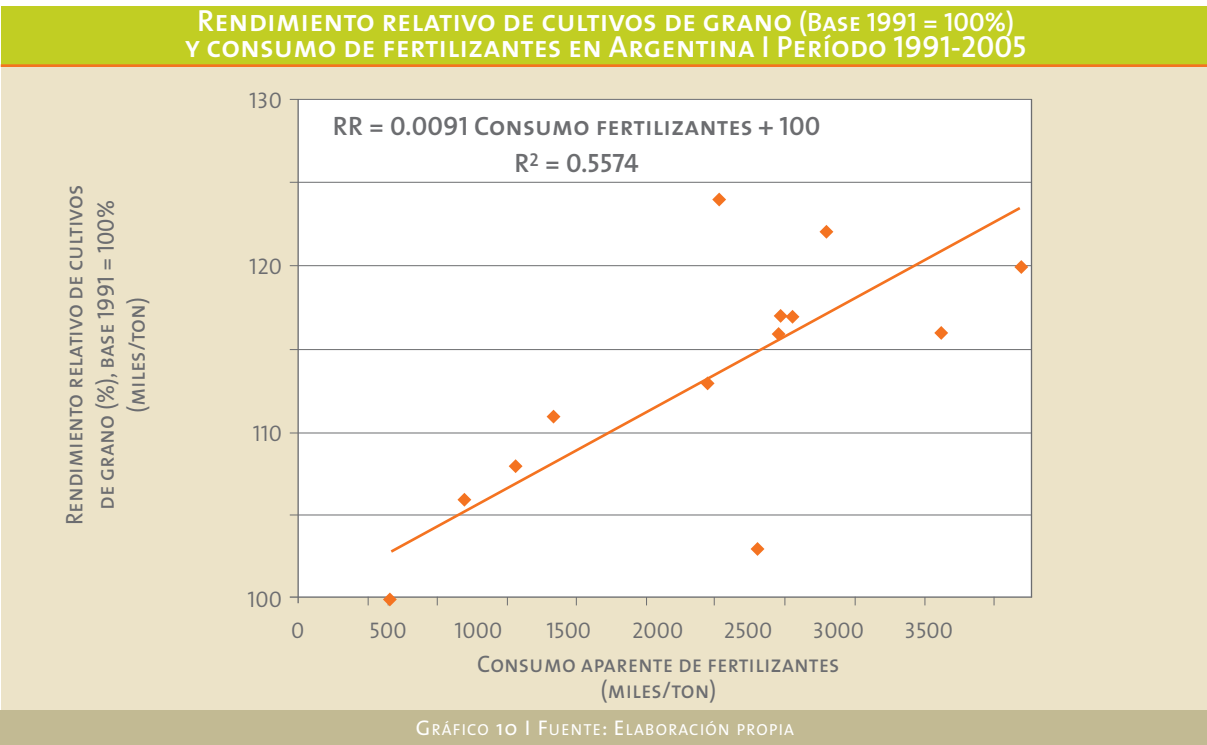
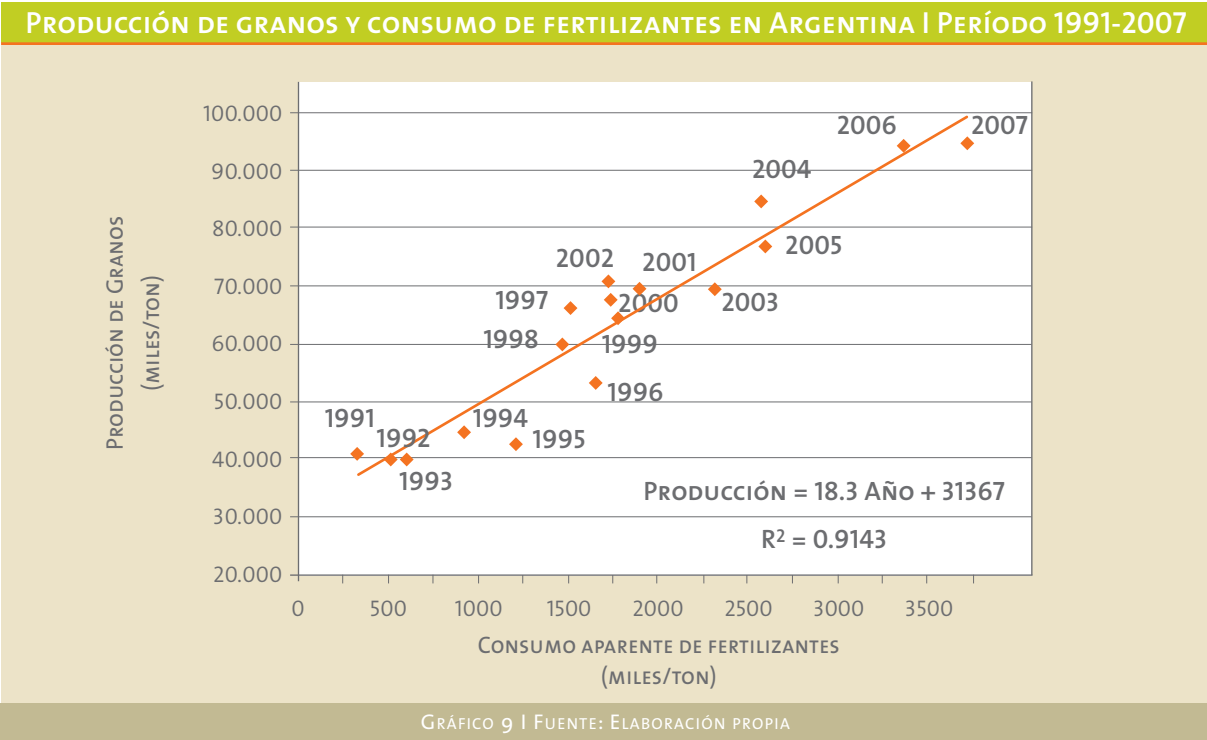
EFECTOS EN PRODUCCIÓN Y EN CALIDAD.

El creciente uso de fertilizantes ha sido una de las tecnologías clave en la expansión agrícola registrada a partir de los 90. El *Gráfico 9* muestra que el incremento en la producción de granos se relaciona estrechamente con el mayor uso de fertilizantes. Sin embargo, esta relación no define el impacto directo del uso de fertilizantes en la producción. La parti-

El caso del trigo.

El *Gráfico 11* indica tres cosas remarcables:

1. El importante aumento en los rendimientos unitarios que experimentó el cultivo de trigo desde 1970 hasta 2001 para la subregión triguera IV sur, pasando de 1500 a 3000 kg/ha (promedio regional SE provincia de Buenos Aires), que arroja una tasa de crecimiento cercana a los 50 kg/ha /año.
2. La línea media muestra el incremento logrado en el mismo lapso en las parcelas realizadas en los cam-



pos de los productores, donde se seleccionaron los mejores cultivares, la fecha de siembra y las labores culturales para cada sitio, y se omitió deliberadamente el uso de fertilizantes para ese cultivo en particular. Aquí vemos que los rendimientos también se duplicaron y pasaron de 2000 a 4000 kg/ha para el mismo período de tiempo

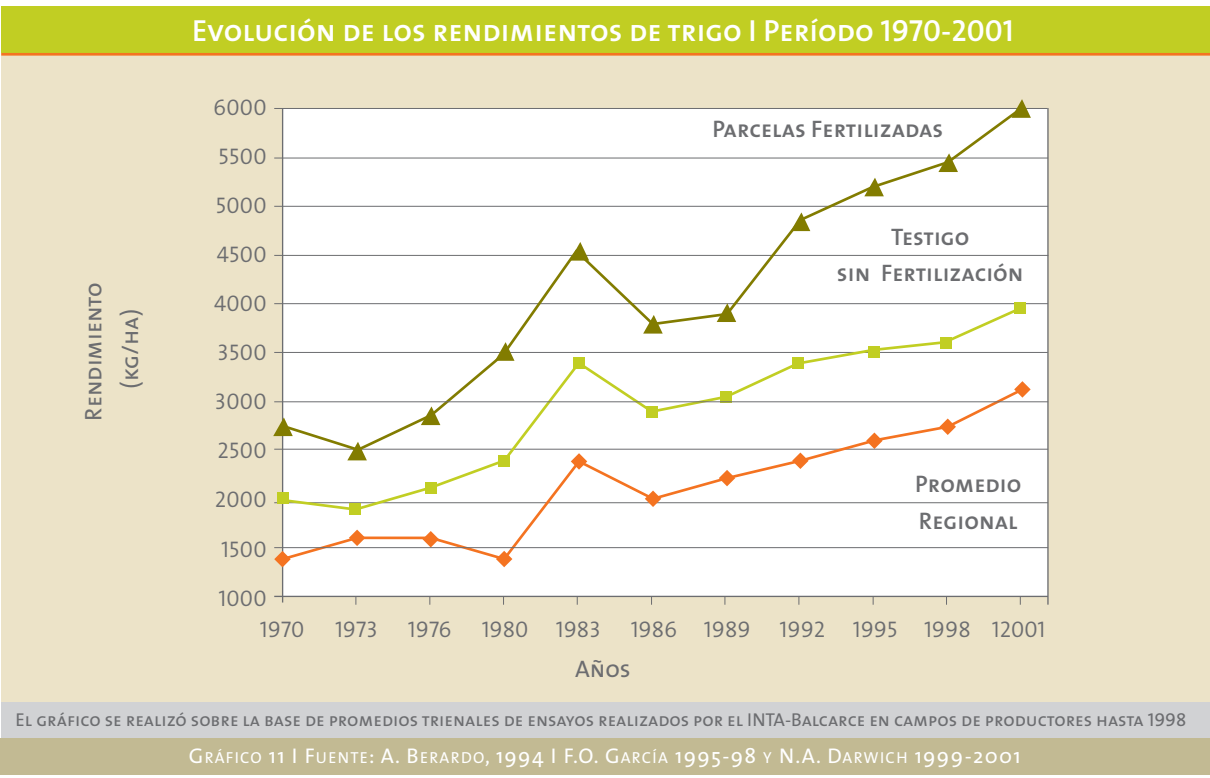
3. La línea superior muestra el rendimiento de las parcelas fertilizadas con N y P. Si comparamos la línea media con la superior, podemos observar el tremendo impacto que tiene el empleo de fertilizantes en este cultivo, ya que a partir de 1990 la diferencia por fertilización superaba los 1400 kg/ha, y en el trienio 1998-2001 llegó a superar los 2000 kg/ha. A partir de 1990, con la incorporación de cultivares con mayor potencial de rendimiento y nuevos métodos de manejo (siembra directa, SD), la brecha entre las parcelas correctamente fertilizadas y los testigos sin fertilizar se amplió considerablemente y superó las 2 ton/ha. Mientras que los rendimientos máximos

en las parcelas fertilizadas superaron en 2,9 ton/ha a la media zonal.

Numerosos trabajos realizados por investigadores en diferentes zonas del país muestran resultados similares. Comúnmente se señala al agua y al N como los principales límites para alcanzar mayores rendimientos.

Magrín (1998) señala como principales límites para alcanzar los rendimientos factibles al agua y al N. Para el partido de Pergamino (Buenos Aires), para un lapso de veintiún años entre 1970 y 1990, el rendimiento factible de 5 ton/ha estuvo limitado por déficits hídricos en solo 8 de los 21 años analizados, mientras que se vio limitado por déficit de N en 15 de los 21 años analizados. El rendimiento promedio del partido para el mismo período de tiempo fue de 2000 kg/ha (Gáfico 12).

Travasso y García (1996)³⁷ mostraron en una experiencia de cinco años de duración destinada a evaluar rendimientos máximos en el cultivo de trigo con riego y fertilización en el partido de Balcarce (Bue-



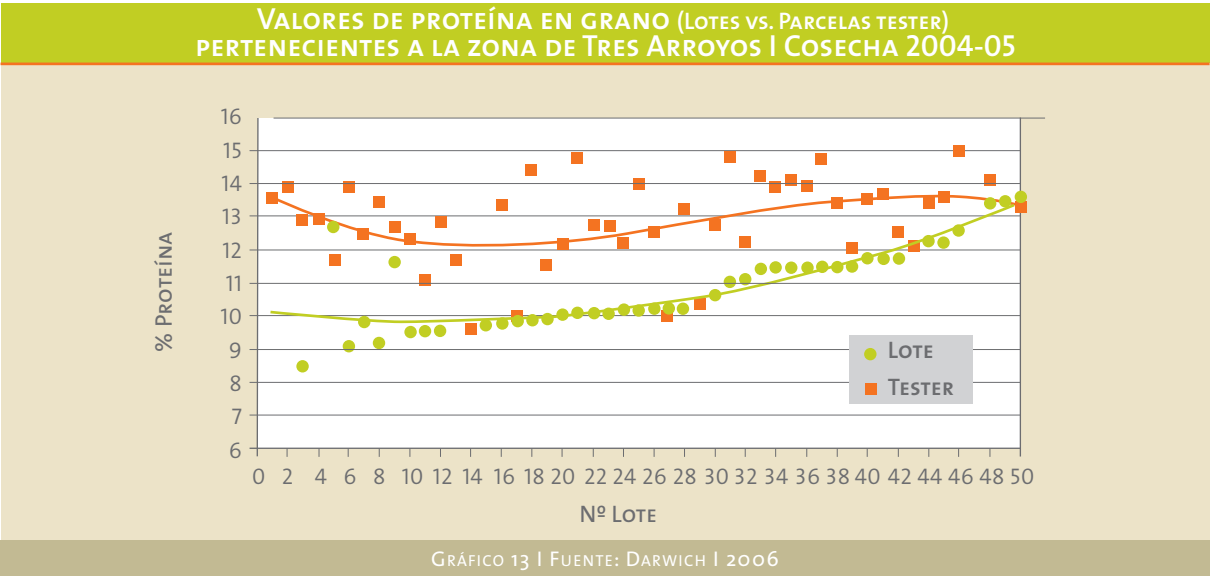
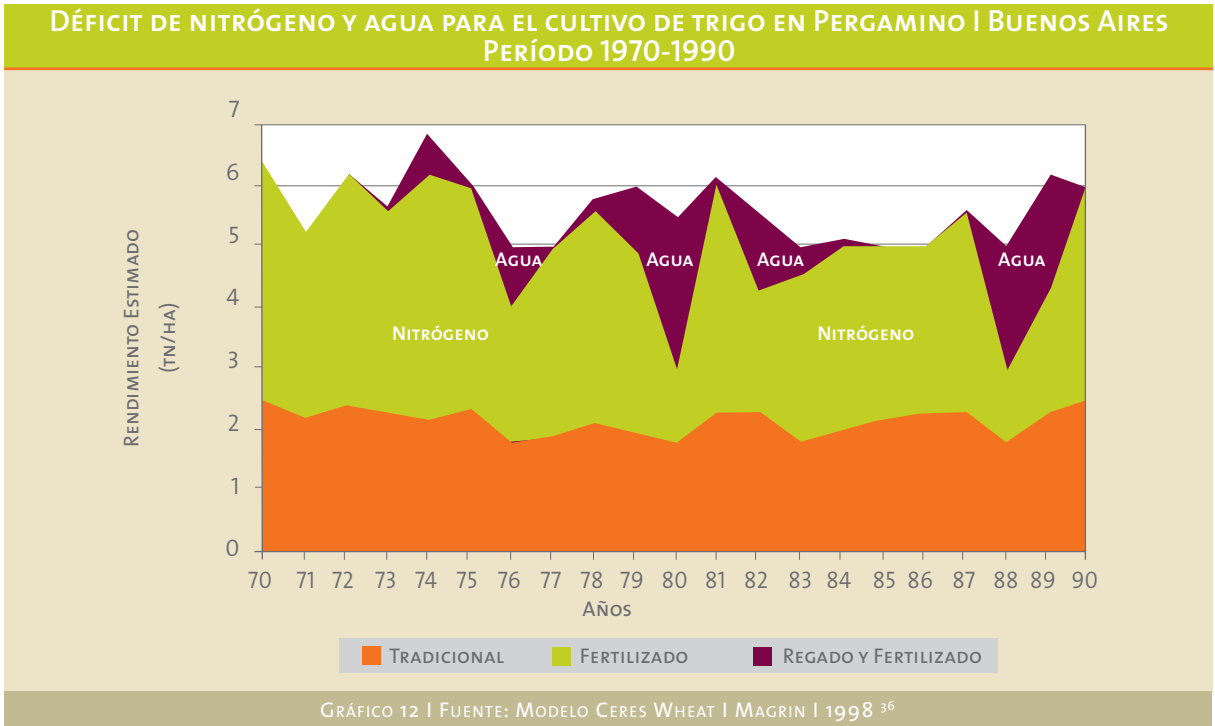
nos Aires), incrementos de 2,5 ton/ha debidas a la fertilización NP. Trabajos recientes en el sur de Santa Fe muestran incrementos de hasta 60% en los rendimientos de trigo con fertilizaciones balanceadas que incluyen N, P y S ¹⁵.

Efectos de la fertilización sobre la calidad de los granos de trigo.

La fertilización foliar con N aplicada desde prefloración hasta grano lechoso en trigo ha demostrado incrementos importantes en los porcentajes de gluten y proteína¹⁶. En los Gráficos 13 y 14 se puede observar la diferencia en el contenido proteico y % de gluten de los granos de trigo cosechados en 50 lotes de productores, donde se realizaron parcelas de una hectárea con aplicación de nitrógeno foliar (urea disuelta en agua) entre prefloración y grano lechoso. En estos gráficos, las parcelas con aplicación de N foliar se denominan “tester”.

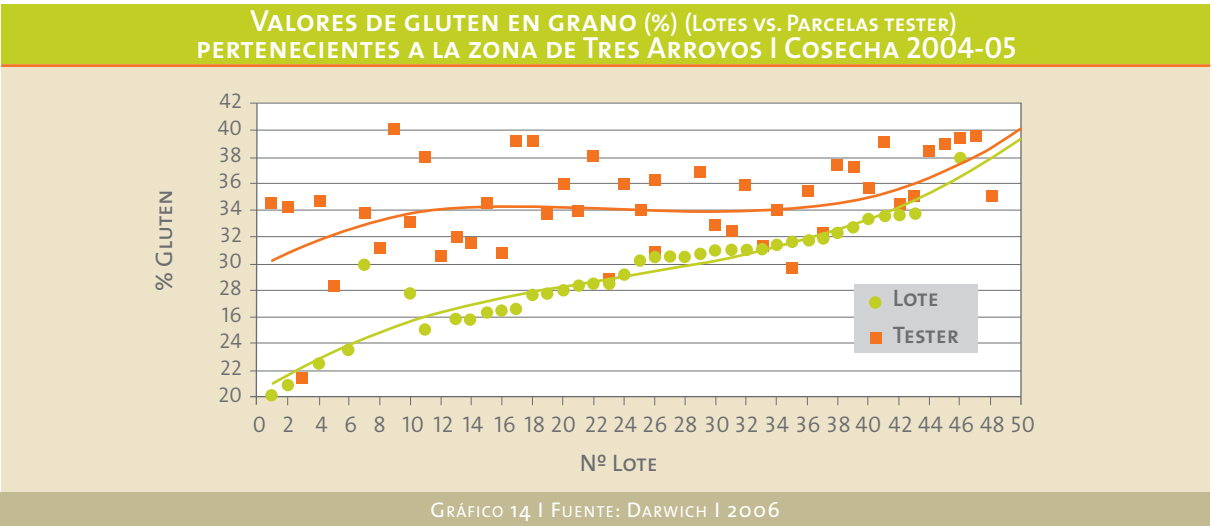
BALANCES DE NUTRIENTES EN LOS SUELOS.

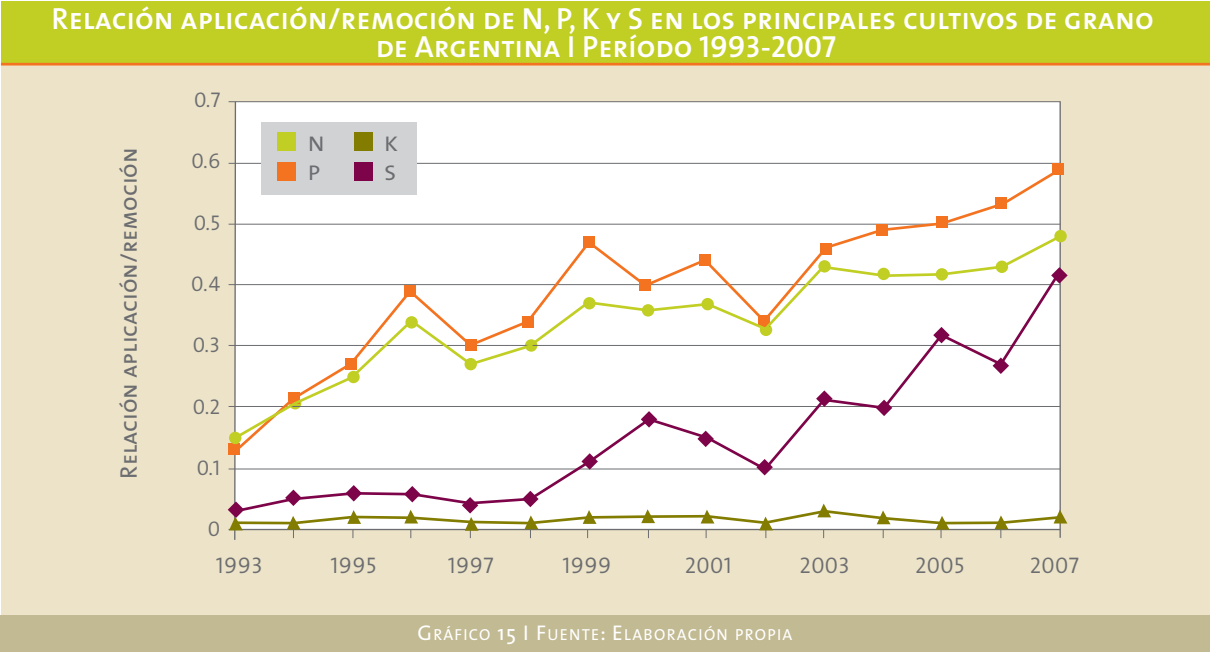
El notable aumento en el consumo de fertilizantes registrado en los últimos 15 años no ha permitido mejorar los balances de N, P, K y S (Gráfico 15). La estimación de extracción en grano y la aplicación de N, P, K y S en los cuatro principales cultivos de grano indica que para la campaña 2007/08 se repuso vía fertilización el 48%, 59%, menos del 2% y el 42% del N, P, K y S, respectivamente, extraídos en los granos. Los desbalances de nutrientes han disminuido la disponibilidad de nutrientes en los suelos, algo que puede ser claramente visualizado en las caídas de P extractable (*P Bray 1*) ¹⁷ y la creciente deficiencia de S en numerosas áreas de la región pampeana. La materia orgánica del suelo (MOS) ha sido la principal fuente de N, P y S para los cultivos a lo largo de estos casi 100 años de agricultura, fundamentalmente a partir de los nutrientes contenidos en las fracciones más lábiles. A modo de ejemplo, en el sur de Santa



Fe, zona núcleo de producción de granos, se han registrado disminuciones de MOS del orden del 3-5% que, considerando las concentraciones modales de N, P y S en la MOS, representan aproximadamente 3000-5000 kg/ha de N y 300-500 kg/ha de P y S. La adecuada nutrición de cultivos y suelos deberá considerar estos desbalances además de los resultados económicos directos de la práctica de fertilización y/o abonado. La posibilidad de lograr altos rendimientos en suelos

aptos para el cultivo y reducir la expansión agrícola hacia tierras menos aptas para el cultivo, es una alternativa válida en pos de satisfacer la demanda de granos a nivel mundial, maximizar la eficiencia productiva y económica del uso de recursos e insumos, y preservar y/o mejorar la calidad del ambiente. El concepto de intensificación ecológica, generado por investigadores de la Universidad de Nebraska en EE. UU. para definir sistemas de producción de alto rendimiento sustentables desde el punto de vista produc-





tivo, económico y ambiental, responde a este criterio¹⁸. La nutrición balanceada de los suelos y cultivos es un componente esencial de los planteos de intensificación ecológica. La intensa labor de investigación y experimentación realizada en los últimos años permite disponer de un caudal significativo de información acerca del manejo de la nutrición balanceada en los sistemas de cultivos de grano en el país¹⁹. Esta información fue generada por las estaciones experimentales de INTA, las universidades, las asociaciones de productores como AACREA y AAPRESID, distintos grupos o asociaciones de profesionales y productores, y organizaciones como la Asociación Civil Fertilizar (anteriormente Proyecto INTA Fertilizar) e IPNI Cono Sur (anteriormente INPOFOS Cono Sur). La *Tabla 10* muestra algunos ejemplos de respuestas a la fertilización obtenidos en distintas investigaciones en los últimos años.

EFICIENCIAS DE USO DE LOS NUTRIENTES.

Los términos de eficiencia para un componente del sistema, en nuestro caso los nutrientes, afectan la eficiencia de los otros componentes y este efecto

puede ser positivo o no²⁰. Por ejemplo, la eficiencia de uso de agua generalmente mejora cuando se mejora la nutrición de los cultivos²¹. Por otra parte, mejoras en la eficiencia a corto plazo pueden implicar pérdidas de ésta a largo plazo. Esto se ha observado frecuentemente en el caso de los nutrientes. La disminución en las dosis de aplicación de fertilizantes permite alcanzar mayores eficiencias de uso, aun con caídas en los rendimientos. Sin embargo, esta reducción de dosis lleva a menores rendimientos y al agotamiento de reservas de nutrientes de los suelos y, como consecuencia, a la pérdida de materia orgánica, mayor riesgo de erosión, y menor productividad sustentable del sistema a largo plazo²². En estos casos, la efectividad de los nutrientes surge como complementaria de la eficiencia, ya que considera los resultados de todos los componentes del sistema y no los de un componente en forma aislada. Dada la complejidad de los sistemas agrícolas, la eficiencia se evalúa frecuentemente desde el punto de vista económico maximizando el beneficio cuando se obtiene el máximo valor en producto por unidad de valor de los insumos. Por esta razón, es frecuente que la eficiencia de uso de nutrientes sea determinada, en cultivos de grano, como los kg de grano extras obte-

RESPUESTAS A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y AZUFRE EN LOS PRINCIPALES CULTIVOS EN DISTINTAS REGIONES PRODUCTORAS ARGENTINAS ALGUNOS EJEMPLOS			
REGIÓN (SITIOS)	NUTRIENTE	RESPUESTA	REFERENCIA
TRIGO			
REGIÓN PAMPEANA (24)	NITRÓGENO	17-21 KG/KG N	VARIOS AUTORES (INTA, CREA Y OTROS)
SUR DE SANTA FE (25)	FÓSFORO	12-21 KG/KG P	GARCÍA ET AL (2006)
MAÍZ			
SUR DE SANTA FE (12)	NITRÓGENO	13-21 KG/KG N	GARCÍA ET AL (2006)
SUR DE SANTA FE (12)	FÓSFORO	11-43 KG/KG P	GARCÍA ET AL (2006)
SUR DE SANTA FE (12)	AZUFRE	14-40 KG/KG S	GARCÍA ET AL (2006)
SOJA			
PAMPEANA CENTRAL (15)	FÓSFORO	19-24 KG/KG P	INTA PARANÁ, RAFAELA Y PERGAMINO (2003/04)
CENTRO-ESTE SANTA FE (28)	FÓSFORO	12-24 KG/KG P	INTA RAFAELA (2002-06)
SUR DE SANTA FE (12)	AZUFRE	24-28 KG/KG S	GARCÍA ET AL (2006)
FORRAJERAS			
BALCARCE (BUENOS AIRES)	NITRÓGENO	25 KG MS/KG N (1)	MARINO ET AL (1996) ³¹
BALCARCE (BUENOS AIRES)	NITRÓGENO	33 KG MS/KG N (2)	LATTANZI ET AL (1997) ³²
SAN CAYETANO (BUENOS AIRES)	FÓSFORO	136 KG MS/KG P (3)	BERARDO Y DARWICH (1974) ³⁶
BALCARCE (BUENOS AIRES)	FÓSFORO	182 KG MS/KG P (4)	BERARDO (1996) ³⁴
MS MATERIA SECA - (1) AVENA - (2) RAIGRÁS (TAMA) - (3) PRADERAS MIXTAS - (4) ALFALFA			
TABLA 10 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA			

nidos por kg de nutriente aplicado. Sin embargo, se han definido numerosos índices de eficiencia de uso de nutrientes que amplían su evaluación desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental. Estos índices requieren de una cuidadosa interpretación para hacer una evaluación correcta de la contribución efectiva de los nutrientes a la mayor eficiencia global de los agrosistemas. La información sobre los diferentes índices de eficiencia de uso se puede ampliar en ²³ y ²⁴. La *Tabla 11* muestra las estimaciones de índices de eficiencia, el balance parcial de nutriente (BPN) y la productividad parcial del factor (PPF), de N y P para cuatro cultivos de grano en Argentina²⁵. El BPN representa los kg de nutriente removidos en grano divididos por los kg de nutriente aplicados. El PPF representa los kg/ha de rendimiento total obtenidos dividido por los kg/ha de nutriente aplicados. En el caso de N, los BPN muestran valores por debajo de

1 para trigo, lo que indica un aporte mayor a la extracción en granos, y valores superiores a 1 en maíz y girasol, lo que indica aplicaciones por debajo del nivel de extracción de los granos de estos cultivos. El BPN para N debe ser considerado cuidadosamente dada la dinámica de este nutriente en el suelo, fundamentalmente su movilidad. Las aplicaciones de N deben ser estratégicas en cuanto a aportar el nutriente en las cantidades exactas que el cultivo requiere, no siempre coincidentes con lo que se remueve en los granos, sincronizándolas con el período de mayor demanda del cultivo. Las PPF de N en maíz son superiores en aproximadamente un 30% a las reportadas para EE.UU ²⁶. Una elevada PPF de N en maíz y el BPN de N menor a 1 podrían indicar dosis de aplicación por debajo del óptimo para el cultivo. Los valores de BPN de P indican que en trigo y maíz se estaría trabajando en condición sustentable porque la aplicación de P supera la cantidad de P extraído en

ÍNDICES DE EFICIENCIA DE USO, BPN Y PPF, DE N Y P PARA LOS PRINCIPALES CUATRO CULTIVOS DE GRANO DE ARGENTINA ESTIMACIONES PARA 2007-08				
CULTIVO	BPN		PPF	
	KG N REMOVIDO/ KG N APLICADO	KG P REMOVIDO/ KG P APLICADO	KG GRANO/KG N APLICADO	KG GRANO/KG P APLICADO
Maíz	1.14	0.78	87	296
Trigo	0.86	0.61	48	174
Soja	-	5.46	-	1011
Girasol	1.50	1.23	69	201

TABLA 11 | FUENTE: GARCIA | 2009

los granos. En soja y, en menor medida, en girasol, los valores de BPN de P son altos, lo que indica que se remueve mucho más P del que se aplica. La PPF de P en maíz es aproximadamente 20% inferior a la reportadas para EE.UU.²⁷. Una probable explicación de esta menor PPF sea el hecho de los mayores rendimientos que se alcanzan en la región maicera norteamericana respecto a la argentina. Por otra parte, los suelos de EE.UU. presentan niveles más superiores de P extractable para el cultivo que los argentinos.

PROBLEMÁTICAS E IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE FERTILIZANTES.

El uso de fertilizantes en la agricultura moderna afecta los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes en el ecosistema terrestre, lo que genera desbalances en las vías de transformación y transferencias de flujos entre los distintos compartimentos. Numerosos trabajos a nivel mundial han demostrado el impacto de estos efectos sobre la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), eutrofización de aguas superficiales, contaminación de aguas subterráneas, acidificación de suelos, acumulación de metales pesados y otros. Existe abundante información en la literatura científica acerca de los alcances de estos efectos en distintos ecosistemas agrícolas. Se recomienda consultar^{28, 29, 30, 31}. En Argentina, los balances negativos de nutrientes ya comentados en las secciones anteriores, han generado un proceso de degradación de suelos y pérdida de su productividad, y reducido las posibilidades de efectos contaminantes en suelos, atmósfera y aguas.

NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN, EDUCACIÓN Y EXTENSIÓN.

Debe destacarse y alentarse el trabajo conjunto en investigación, experimentación y extensión que han realizado en los últimos años instituciones como AACREA, AAPRESID, FERTILIZAR, INTA, IPNI, universidades y empresas del sector privado. Si bien dentro del movimiento CREA (bajo la supervisión de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de la UBA) y en el INTA (Balcarce y Pergamino) hubo redes de ensayos de fertilización en el pasado (década del 70) llevadas a cabo en campos de productores por períodos cortos, nunca como ahora se había logrado la integración entre instituciones para no repetir cada uno por su lado las mismas experiencias con los escasos recursos humanos y materiales disponibles para llevarlas a cabo. La participación de grupos de investigación básica en cuanto a la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-agua-atmósfera-plantas es fundamental para el desarrollo del conocimiento de los procesos y mecanismos involucrados. Este conocimiento permitirá generar las MPM de nutrientes y fertilizantes que resulten en una mayor eficiencia de uso de los nutrientes y de todos los recursos de los sistemas de producción. El rol de las universidades, del INTA, y todo el sistema científico-técnico del país (CONICET, SECyT, etcétera) es fundamental en este aspecto. Una línea de trabajo que requiere atención en el desarrollo de futuras investigaciones y experimentaciones a campo, es la evaluación de deficiencias y respuestas potenciales de nutrientes que no sean N, P y S. Como se indicó en las secciones anteriores, el agro

argentino ha experimentado una profunda transformación en los últimos 10-15 años. Nos encontramos hoy ante un sector más dinámico y muy competitivo, con gran demanda de bienes y servicios. Las empresas proveedoras de maquinarias y agroquímicos así lo han entendido y la agroindustria del país se está moviendo rápidamente hacia una mayor prestación de servicios. Hoy la oferta de productos es amplia, aunque todavía deficiente en algunos sectores de servicios, por ejemplo en el diagnóstico y la caracterización de ambientes productivos, si bien algunos organismos oficiales como el INTA, en Manfredi (Córdoba) y en Paraná (Entre Ríos), algunas Facultades de Agronomía y algunos grupos privados como los CREA del Oeste de región pampeana lo están realizando en pruebas pilotos. Son muy pocas las empresas privadas que le ofrecen este servicio en forma confiable al productor, quien se torna cada vez más indispensable para un uso eficiente de los insumos agropecuarios en un contexto de insumos caros y precios de granos reducidos.

La contaminación ambiental y el cuidado del medio ambiente.

En la actualidad, la mayoría de los organismos gubernamentales y algunas ONG se están focalizando con mucho énfasis en el cuidado del medio ambiente y los riesgos de contaminación. Éste es un tema muy amplio, dado que podemos involucrar el efecto invernadero como parte del calentamiento global, los desmontes y las talas indiscriminadas, las emisiones de gases provenientes de la industria, los transportes, etcétera, y en el que puede incluirse el uso ineficiente de los fertilizantes. Los procesos que conllevan un riesgo ambiental, tal como la contaminación de nitratos en los acuíferos, deben ser cuantificados bajo las distintas prácticas de manejo de fertilizantes. De esta manera, se determinarán los principios científicos que sostengan mejores prácticas de manejo de fertilizantes que permitan alcanzar altas eficiencias de uso de nutrientes con reducido o nulo impacto sobre el ambiente. Asimismo, deben cuantificarse los balances de nutrientes de los distintos sistemas de producción para evitar la degradación del recurso suelo por pérdida de fertilidad. Todo esto requiere de la elaboración de una estrategia de divulgación que involucre tanto a los profesionales y los estudiantes,

como al público en general, de manera que pueda entender y discernir cuáles son los costos y riesgos reales para el medio ambiente. En lo concerniente a la *formación y capacitación de los recursos humanos*, en los últimos años ha crecido la oferta de jóvenes profesionales graduados en ciencias agropecuarias, con inquietudes y deseo de prestar servicios en el sector. Los más aptos han sido rápidamente contratados por la agro-industria y por las empresas vendedoras y/o distribuidoras de productos agroquímicos y semillas. No obstante, solo unos pocos han podido acceder a capacitación de posgrado en áreas específicas. La formación de posgrado es un área en la que se debe seguir trabajando para capacitar más agrónomos en áreas específicas como la del uso de fertilizantes y el manejo de fertilidad de suelos. No existe ningún organismo ni público ni privado en el país que certifique la idoneidad de los profesionales para desempeñarse en un área específica como el diagnóstico de fertilidad de los suelos y el correcto uso de fertilizantes. El programa de certificación de servicios para el agro creado en la década de los 90 en EE.UU. y administrado por la ASA (*American Society of Agronomy*), es un buen ejemplo que se podría asimilar en el país.

En síntesis, la situación actual requiere:

- ➔ Priorizar la investigación de dosis, fuentes, momentos y formas de aplicación que maximicen la eficiencia de uso de los nutrientes del suelo y de los aplicados en distintos ambientes, de manera que nuestros sistemas de producción se desarrollen bajo pautas de sustentabilidad ecológica, económica y social.
- ➔ La educación, para el cuidado del recurso suelo, debe comenzar con los jóvenes adolescentes, enfatizando la enseñanza en las escuelas agropecuarias que dictan el bachillerato agrícola.
- ➔ Continuar con la capacitación en Diagnóstico y Técnicas de Manejo de la Fertilización, así como en el uso racional y sustentable de los insumos y del recurso suelo, para el personal de las empresas que fabrican, fraccionan o venden fertilizantes, sus distribuidores, y para los profesionales del sector que lo requieran.

➔ La gran tarea de Extensión para el sector público y privado es continuar “Promoviendo en todo el país el uso racional de fertilizantes mediante la difusión de información técnico-científica adaptada a la realidad local, que explique las ventajas agronómicas y económicas del agregado balanceado de nutrientes sobre la productividad de cultivos y pasturas, y sobre la fertilidad del suelo para el logro de una agricultura sustentable” (*Fertilizar Asociación Civil, 2007*).

Los programas y la tecnologías de fertilización son necesarios para hacer un uso eficiente de los fertilizantes, minimizar el riesgo ambiental y asegurar la rentabilidad en el uso del insumo. El Estado debería acompañar al sector productor con políticas de investigación, educación y extensión que favorezcan el uso eficiente de los fertilizantes, evitando así la degradación y contaminación de los suelos.

Las perspectivas para los próximos años indican un crecimiento a tasas más moderadas, dependiendo fundamentalmente de la evolución del área agrícola y de la eficiencia de uso de los nutrientes y los otros recursos involucrados en la producción.

Vale recordar una de las conclusiones del reporte “Las Ciencias Agropecuarias en la Argentina” de la comisión integrada por los Dres. R. Blake, E. Fereres, T. Henzell y W. Powell, que fue convocada por la Fundación Antorchas en 2002: “*El país no tiene otra alternativa que practicar una agricultura basada en la ciencia y la tecnología, ya que poseer algunas de las mejores tierras agrícolas del mundo no es suficiente*”.

CONCLUSIÓN.

La agricultura argentina se desarrolló inicialmente

con un muy bajo uso de fertilizantes, basándose fundamentalmente en la alta fertilidad natural de los suelos y, en el caso de la región pampeana y peripampeana, en la rotación de cultivos anuales con pasturas perennes. El deterioro progresivo de la capacidad de abastecimiento de nutrientes de los suelos como resultado de los balances negativos de nutrientes (extracciones muy superiores a las aplicaciones) generó deficiencias de N, P y S que deben ser eliminadas para lograr altos rendimientos en el marco de una agricultura sustentable. A partir de la década del 90, el uso de fertilizantes se incrementó marcadamente, en especial en los cultivos extensivos, a partir de una combinación de factores económicos, comerciales, técnicos, científicos y logísticos, y el consumo se multiplicó en un 1500% en los últimos 16 años. Este mayor consumo de fertilizantes ha contribuido 30-35% al incremento de la producción

agrícola observado en dicho período. Las perspectivas para los próximos años indican un crecimiento a tasas más moderadas, dependiendo fundamentalmente de la evolución del área agrícola y de la eficiencia de uso de los nutrientes y los otros recursos involucrados en la producción. Los numerosos trabajos de investigación, experimentación y extensión llevados a cabo en los últimos años por instituciones del sector público como el INTA, las universidades, y el sector privado, deberán priorizar el desarrollo de mejores prácticas de manejo para el uso de fertilizantes, de manera de contribuir activamente al desarrollo de los objetivos de sustentabilidad ecológica, económica y social de toda la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

> 1. STEWART W., D. DIBB, A. JOHNSTON Y T. SMYTH. 2005. THE CONTRIBUTION OF COMMERCIAL FERTILIZER NUTRIENTS TO FOOD PRODUCTION. AGRON. J. 97:1-6.

> 2.TISDALE S., W. NELSON, J. BEATON Y J. HAVLIN. 1993. SOIL FERTILITY AND FERTILIZERS. MACMILLAN PUBLISHING COMPANY. NEW YORK. 5A. EDICIÓN. 634 PP.

> 3. CIAMPITTI I. Y F. GARCÍA. 2007. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES. ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES Y NUTRIENTES SECUNDARIOS: CEREALES, OLEAGINOSOS E INDUSTRIALES. INFORMACIONES AGRONÓMICAS No. 33. ARCHIVO AGRONÓMICO No. 11. PP. 1-4. IPNI CONO SUR. ACASSUSO, BUENOS AIRES.

> 4. CIAMPITTI I. Y F. GARCÍA. 2008. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES. ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES Y NUTRIENTES SECUNDARIOS. II. HORTALIZAS, FRUTALES Y FORRAJERAS. INFORMACIONES AGRONÓMICAS No. 37. ARCHIVO AGRONÓMICO No. 12. PP. 1-4. IPNI CONO SUR. ACASSUSO, BUENOS AIRES.

> 5. IFA. 1992. WORLD FERTILIZER USE MANUAL. INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. PARIS, FRANCIA. PÁG. 37-55

> 6. ECHEVERRÍA H. Y F. GARCÍA (ED.). 2005. FERTILIDAD DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS. EDITORIAL INTA. BUENOS AIRES, ARGENTINA.

> 7. DARWICH N. 2006. MANUAL DE FERTILIDAD DE SUELOS. 3ª EDICIÓN ISBN 987-43-9313-0.

> 8. HEFFER P. 2008. ASSESSMENT OF FERTILIZER USE BY CROP AT THE GLOBAL LEVEL. IFA AGRICULTURE.AGCom/08/78.

> 9. HEFFER P. Y M. PRUD'HOMME. 2008. MEDIUM-TERM OUTLOOK FOR GLOBAL FERTILIZER DEMAND, SUPPLY AND TRADE 2008 - 2012. SUMMARY REPORT. 76TH IFA ANNUAL CONFERENCE, VIENNA (AUSTRIA). INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (IFA). PARIS, FRANCIA.

> 10. OLIVERIO G. Y G. LÓPEZ. 2008. SUSTENTABILIDAD DE LA AGRICULTURA EN LA PRÓXIMA DÉCADA: POTENCIAL USO DE FERTILIZANTES AL 2015. FUNDACIÓN PRODUCIR CONSERVANDO. 30 PAG. DISPONIBLE EN WWW.PRODUCIRCONSERVANDO.ORG.AR/DOCS/SERVICIOS/FRAMSET_SERVICIOS.HTM

> 11. MELGAR R. 2005. EL MERCADO DE FERTILIZANTES EN LA ARGENTINA Y SU RELACIÓN CON EL SECTOR AGROPECUARIO. IN H. ECHEVERRÍA AND F. GARCÍA (ED.). FERTILIDAD DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS. ED. INTA. BUENOS AIRES, ARGENTINA. PP. 489-502.

> 12. BERARDO A. 2004. MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE. INFORMACIONES AGRONÓMICAS DEL CONO SUR, INPOFOS N° 23, PÁGS. 23-25

> 13. RATTO S. Y N. FATTA. 1990. DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN EL AREA MAICERA NUCLEO. CIENCIA DEL SUELO 8:9-15.

> MELGAR R., J. LAVANDERA, M. TORRES DUGGAN Y L. VENTIMIGLIA. 2001. MICRONUTRIENTES EN SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ: RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON BORO Y ZINC. CIENCIA DEL SUELO 19(2) 109-114

> GARCIA F. 2008. CLORO EN TRIGO: RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA: AÑOS 2001 A 2006. INFORMACIONES AGRONÓMICAS 38:17-21. IPNI CONO SUR. ACASSUSO, BUENOS AIRES.

> 14. OLIVERIO G. Y G. LÓPEZ. 2008. SUSTENTABILIDAD DE LA AGRICULTURA EN LA PRÓXIMA DÉCADA: POTENCIAL USO DE FERTILIZANTES AL 2015. FUNDACIÓN PRODUCIR CONSERVANDO. 30 PAG. DISPONIBLE EN WWW.PRODUCIRCONSERVANDO.ORG.AR/DOCS/SERVICIOS/FRAMSET_SERVICIOS.HTM

> 15. GARCÍA F., M. BOXLER, J. MINTEGUIAGA, R. POZZI, L. FIRPO, G. DEZA MARIN Y A. BERARDO. 2006. LA RED DE NUTRICIÓN DE LA REGIÓN CREA SUR DE SANTA FE: RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS PRIMEROS SEIS AÑOS 2000-2005. AACREA. 32 PP. ISBN 987-22576-7-1.

> 16. BERGH R, A. BÁEZ, M. ZAMORA Y A QUATROCCHIO, 1998. FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL TRIGO CANDEAL EN EL CENTRO SUR BONAERENSE. ACTAS IV CONGRESO 2DO SIMPOSIO NACIONAL DE CEREALES. MAR DEL PLATA 11 AL 13 DE NOV. 1998.

> BERGH R, A. BÁEZ, M. ZAMORA Y A QUATROCCHIO, 1999. DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA CALIDAD EN TRIGO. IN: SEMINARIO DIAGNÓSTICOS DE DEFICIENCIAS DE N, P Y S EN CULTIVOS DE LA REGIÓN PAMPEANA. INTA, IPG, SAGPyA, 1 AL 2 DE JULIO 1999. P 21-30.

> BERGH R, M. ZAMORA, M L SEGHEZZO Y E. MOLFESE, 2001. NUTRICIÓN NITROGENADA Y PROTEÍNA EN TRIGO CANDEAL. ACTAS V CONGRESO 3ER SIMPOSIO NACIONAL DE CEREALES. VILLA CARLOS PAZ, 25 AL 28 DE SEP DE 2001.

> DARWICH N. A. Y DARWICH G. A., 2004. ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN PARA MEJORAR EL RINDE Y LA CALIDAD INDUSTRIAL DEL TRIGO. ACTAS DEL CONGRESO A TODO TRIGO, MAYO 2004, PÁG. 63-69.

> DARWICH N. 2006. ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA LA OBTENCIÓN DE TRIGOS CON CALIDAD DE EXPORTACIÓN. ACTAS CONGRESO A TODO TRIGO, MAR DEL PLATA, 18 Y 19 DE MAYO DE 2006. PÁGS. 29-35.

> ECHEVERRÍA H.E., G.A. STUDDERT, 1998. EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN LA HOJA BANDERA DEL TRIGO COMO PREDICTIVO DEL INCREMENTO DE PROTEÍNA EN EL GRANO, POR APLICACIONES DE NITRÓGENO DURANTE LA ESPIGAZÓN. REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, LA PLATA 103 (1), P 27-36.

> ECHEVERRÍA H.E., G.A. STUDDERT, 2001. PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA EN GRANO DE TRIGO, MEDIANTE EL ÍNDICE DE VERDOR DE LA HOJA BANDERA. CIENCIA DEL SUELO, 19-67 A 74.

> 17. GARCIA F. 2001. PHOSPHORUS BALANCE IN THE ARGENTINEAN PAMPAS. BETTER CROPS INTERNATIONAL 15 (1): 22-24.

> 18. DOBERMANN A. Y K.G. CASSMAN. 2002. PLANT NUTRIENT MANAGEMENT FOR ENHANCED PRODUCTIVITY IN INTENSIVE GRAIN PRODUCTION SYSTEMS OF THE UNITED STATES AND ASIA. PLANT SOIL 247: 153-175.

> 19. DÍAZ ZORITA M., F. GARCÍA AND R. MELGAR. 2002. FERTILIZACIÓN EN SOJA Y TRIGO-SOJA: RESPUESTA DE LA FERTILIZACIÓN EN LA REGIÓN PAMPEANA. BOLETÍN PROYECTO FERTILIZAR. EEA INTA PERGAMINO. 44 PÁG.

> GARCÍA F., M. BOXLER, J. MINTEGUIAGA, R. POZZI, L. FIRPO, G. DEZA MARIN, AND A. BERARDO. 2007. DIRECT AND RESIDUAL EFFECTS OF BALANCED FERTILIZATION IN FIELD CROPS OF THE PAMPAS OF ARGENTINA: THE FIRST SIX YEARS OF THE NUTRITION NETWORK OF THE SOUTHERN SANTA FE REGION OF CREA. BETTER CROPS 91 (3): 11-13.

> GARCIA F. Y M. DIAZ ZORITA. 2006. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN: BALANCES, MODELOS DE DIAGNOSTICO E INTERACCIONES. CONGRESO A TODO TRIGO. FCEGAC. MAR DEL PLATA.

> SALVAGIOTTI F., G. GERSTER, S. BACIGALUPPO, J. CASTELLARÍN, C. GALARZA, N. GONZÁLEZ, V. GUDELI, O. NOVELLO, H. PEDROL, Y P. VALLONE. 2005. EFECTOS RESIDUALES Y DIRECTOS DE FÓSFORO Y AZUFRE EN EL RENDIMIENTO DE SOJA DE SEGUNDA. CIENCIA DEL SUELO 22(2):92-101.

> 20. SNYDER C.S. Y T.W. BRUULSEMA. 2007. NUTRIENT USE EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS IN NORTH AMERICA: INDICES OF AGRONOMIC AND ENVIRONMENTAL BENEFIT. IPNI. JUNIO 2007. REF. # 07076. DISPONIBLE EN WWW.IPNI.NET/IPNIWEB/PORTAL.NSF/O/D58A3C2DECA9D7378525731E006066D5/\$FILE/NUE.PDF

> 21. MICUCCI F. Y C. ÁLVAREZ. 2003. EL AGUA EN LOS SISTEMAS EXTENSIVOS. III. IMPACTO DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA. INFORMACIONES AGRONÓMICAS No. 20, ARCHIVO AGRONÓMICO No. 8: 1-4. INPOFOS CONO SUR. ACASSUSO, BUENOS AIRES, ARGENTINA. DISPONIBLE EN WWW.IPNI.NET/PPIWEB/LTAMS.NSF/\$WEBINDEX/57353DDB287CEE7Do3256E04007615CA

> 22. URRICARRIET S. Y R. LAVADO. 1999. INDICADORES DE DETERIORO EN SUELOS DE LA PAMPA ONDULADA. CIENCIA DEL SUELO 17 (1): 37-44.

> 23. SNYDER C.S. Y T.W. BRUULSEMA. 2007. NUTRIENT USE EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS IN NORTH AMERICA: INDICES OF AGRONOMIC AND ENVIRONMENTAL BENEFIT. IPNI. JUNIO 2007. REF. # 07076. DISPONIBLE EN WWW.IPNI.NET/IPNIWEB/

PORTAL.NSF/O/D58A3C2DECA9D7378525731E006066D5/\$FILE/NUE.PDF

> 24. DOBERMANN A. 2007. NUTRIENT USE EFFICIENCY - MEASUREMENT AND MANAGEMENT. IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON FERTILIZER BEST MANAGEMENT PRACTICES. 7-9 MARZO, BRUSELAS, BÉLGICA.

> 25. GARCÍA F. 2009. EFICIENCIA DE USO DE NUTRIENTES Y MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO PARA LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS DE GRANO. ACTAS SIMPOSIO “FERTILIDAD 2009”. ROSARIO, SANTA FE. IPNI CONO SUR-FERTILIZAR AC.

> 26. DOBERMANN A. Y K.G. CASSMAN. 2002. PLANT NUTRIENT MANAGEMENT FOR ENHANCED PRODUCTIVITY IN INTENSIVE GRAIN PRODUCTION SYSTEMS OF THE UNITED STATES AND ASIA. PLANT SOIL 247: 153-175.

> 27. BYRNES B. 1990. ENVIRONMENTAL EFFECTS OF N FERTILIZER USE - AN OVERVIEW. FERTILIZER RESEARCH 26: 209-215.

> 28. RATTO S. Y L. GIUFFRÉ. 2005. LOS NUTRIENTES Y LA CALIDAD DEL AMBIENTE. IN ECHEVERRÍA H. Y F. GARCÍA (ED.). FERTILIDAD DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS. EDITORIAL INTA. BUENOS AIRES, ARGENTINA. PAG. 503-520.

> 29. HEATHWAITE A.L., A. SHARPLEY, M. BECHMANN, Y S. REKOLAINEN. 2005. ASSESSING THE RISK AND MAGNITUDE OF AGRICULTURAL NONPOINT SOURCE PHOSPHORUS POLLUTION. IN PHOSPHORUS: AGRICULTURE AND THE ENVIRONMENT. J.T. SIMS Y A. SHARPLEY (EDS.). ASA-CSSA-SSSA. MADISON, WISCONSIN, EE. UU. PAG. 981-1020.

> 30. SNYDER, C.S., T.W. BRUULSEMA, Y T.L. JENSEN. 2007. GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM CROPPING SYSTEMS AND THE INFLUENCE OF FERTILIZER MANAGEMENT-A LITERATURE REVIEW.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, NORCROSS, GEORGIA, EE. UU.

> 31. MARINO, M.A., MAZZANTI, A., ECHEVERRÍA, H.E. Y ANDRADE, F. 1996. FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE CULTIVOS FORRAJEROS INVERNALES. 1. ACUMULACIÓN DE FORRAJE. REVISTA ARGENTINA DE PRODUCCIÓN ANIMAL 16 (SUPL. 1): 248-249.

> 32. LATTANZI, F., MARINO, M.A. Y MAZZANTI, A. 1996. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LA MORFOGÉNESIS DE RAIGRÁS ANUAL CV. GRASSLANDS TAMA. REVISTA ARGENTINA DE PRODUCCIÓN ANIMAL 16 (SUPL. 1): 240-241.

> 33. BERARDO, A. Y DARWICH, N. 1974. FERTILIZACIÓN DE PASTURAS EN EL SUDESTE BONAERENSE. REVISTA IDIA N° 313 314: 8 16.

> 34. BERARDO, A. 1996. LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y NITROGENADA DE LAS PASTURAS Y SUS EFECTOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN. 3ER SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA EN FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS EXTENSIVOS Y FORRAJERAS. CPIA, SRA, PÁGS. 173 A 182.

> 35. DARWICH N. 1983. NIVELES DE P ASIMILABLE EN LOS SUELOS PAMPEANOS. IDIA N° 409/412, P. 1-5.

> 36. MAGRIN G. 1998. INTRODUCCIÓN AL MODELO DE SIMULACIÓN CERES WHEAT, EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN ARGENTINA. EN: “EXPLORANDO ALTOS RENDIMIENTOS DE TRIGO”. M. KOHLI Y D. MARTINO (EDS.). CIMMYT-INIA, PÁGS. 111-126.

> 37. TRAVASSO M.I. Y F. GARCIA. 1996. PROYECTO PREVISIÓN DE COSECHAS DE CEREALES Y OLEAGINOSAS. INFORME INTERNO EEA INTA BALCARCE, MIMEOGRAFIADO.

