

RESERVAS MUNDIALES DE NUTRIENTES PARA FERTILIZANTES¹

Paul E. Fixen²

La administración responsable de la agricultura incluye el uso racional de las materias primas con las que se producen los fertilizantes comerciales. La estrategia de desarrollar e implementar las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para fertilizantes, enfocada fundamentalmente en la utilización de fuentes correctas, en dosis, épocas y localización correctas es importante no solamente por razones económicas y ambientales de corto plazo, sino también para la adecuada administración de las materias primas de fertilizantes provenientes de recursos no renovables, de las cuales depende la producción de alimentos, fibra y combustible a largo plazo.

El abrupto incremento en los precios de los fertilizantes portadores de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) a mediados del año 2008 causó mucha alarma alrededor del mundo. Ciertos sectores conjeturaron que las reservas de nutrientes estaban alcanzando niveles críticamente bajos y que esta situación estaba contribuyendo a la volatilidad del mercado. Este artículo intenta revisar el estado de las reservas mundiales de materias primas para fertilizantes, en términos de la producción actual.

Fosfatos

La principal materia prima usada en la producción de casi todos los fosfatos es la Roca Fosfórica (RF). Existen dos tipos generales de RF, el de origen ígneo y el de origen sedimentario. Los depósitos insulares son un tipo especial de depósitos sedimentarios. La **Figura 1** muestra un mapa de los depósitos de RF que están al momento en explotación, aquellos que han dejado de explotarse en el pasado reciente y aquellos que han mostrado tener un potencial económico (McClellan y Van Kauwenbergh, 2004). Estos depósitos están ampliamente distribuidos en el mundo.

El P de las RF ígneas está en la apatita y otros minerales ígneos. Los depósitos ígneos a menudo tienen minerales de baja concentración de P, pero se pueden beneficiar y lograr concentraciones del 36 al 40 % de P₂O₅ (Stewart et al., 2005). Los minerales de los depósitos ígneos son poco reactivos y en consecuencia no son apropiados para aplicación directa a los cultivos y normalmente se muelen finamente para usarse en la fabricación de fertilizantes.

Alrededor del 80 % de la RF explotada en el mundo proviene de depósitos sedimentarios. Estos depósitos tienen amplias variaciones en sus propiedades físicas y químicas, encontrándose desde materiales sueltos no

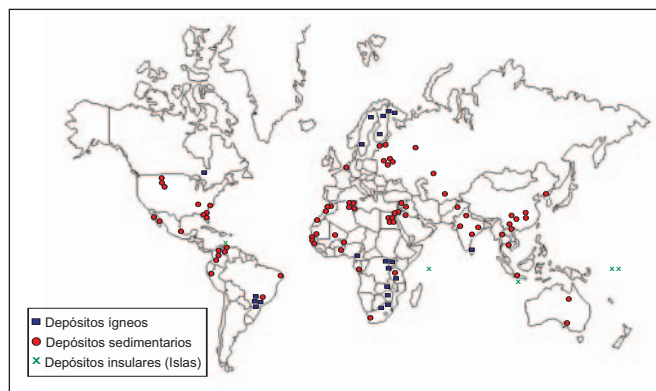


Figura 1. Depósitos económicos y potencialmente económicos de fosfato en el mundo

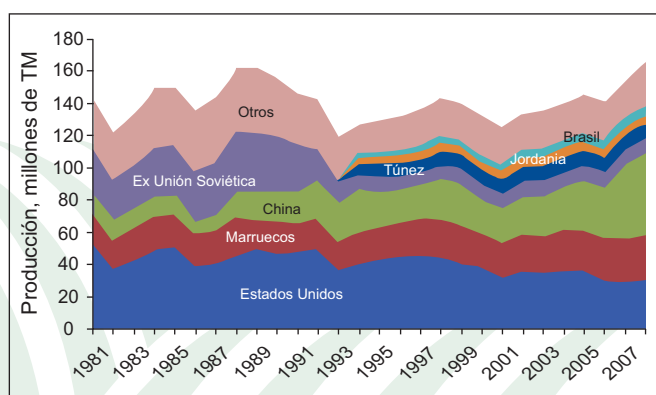


Figura 2. Producción mundial de roca fosfórica, 1981-2008.

consolidados a rocas duras y fluoro-apatita que va desde materiales casi sin sustitución de carbonato por fosfato en la estructura del mineral a materiales con 6 a 7 % de sustitución (Stewart et al, 2005).

En general, la producción mundial de RF ha sido estable desde 1981 y está en un rango de 120 a 165 millones de Toneladas Métricas (TM) por año (**Figura 2**). Sin embargo, la ruptura de la Unión Soviética causó una significativa interrupción en la producción de fosfato resultando en una importante reducción al inicio de la década de 1990. La producción mundial se ha recuperado a niveles anteriores sobrepasando las 160 millones de TM. China ha sido la mayor fuente del incremento en los últimos 20 años.

La determinación de las reservas de RF está llena de dudas e incertidumbres por la limitada información disponible, lo que no asegura la certeza de las estimaciones. A menudo, los productores de fosfato consideran que esta información es confidencial, dejando como las principales fuentes de información solamente la información pública

¹ Tomado de: Fixen, P. 2009. World fertilizer nutrient reserves. In F. García (ed.) Simposio de Fertilidad del Suelo 2009. IPNI-Cono Sur, Rosario, Argentina.

² Vicepresidente del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: pfixen@ipni.net.

de trabajos científicos y reportes específicos de ciertos depósitos. Por lo tanto, la información sobre las reservas presentadas en este artículo es una aproximación general con amplios intervalos de confianza.

La **Tabla 1** contiene las estimaciones actuales de las reservas mundiales de RF clasificadas por tonelaje de la reserva base. Los términos reserva y reserva base se definen a continuación [U.S. Geological Survey (USGS, 2009)]: “Reservas - aquella parte de la reserva base que puede ser económicamente extraída o producida al momento de la determinación. El término reservas no necesariamente significa que las instalaciones de extracción estén en el sitio y trabajando. Reserva base - incluye los recursos que al momento son económicos (reservas), recursos económicamente marginales y algunos que al momento son sub-económicos”. Sin embargo, comunicaciones personales directas con el USGS permitieron establecer que las estimaciones de las reservas actuales se basan en las condiciones de mercado de hace dos años y en consecuencia no reflejan los precios del 2008. Por lo tanto, la porción de las reservas base reportadas como reservas pueden haberse subestimado.

Marruecos – Sahara Occidental tiene las mayores reservas base y reservas de RF del mundo, con el 45 % de las reservas base del mundo (**Tabla 1**). Luego se

encuentra China con el 21 % de las reservas. Estos dos países tienen los dos tercios de las reservas de RF del mundo. La **Tabla 1** también contiene evaluaciones de la duración estimada de las reservas y de las reservas base de RF calculadas teniendo en cuenta la producción promedio de los años 2007 y 2008. A estos niveles de producción, se calcula que la duración de las reservas y las reservas base mundiales de RF son de 93 y 291 años, respectivamente.

En este punto es importante recordar los comentarios anteriores de este artículo sobre la confiabilidad de las estimaciones de las reservas de RF. Dos ejemplos para demostrar este hecho. Primer ejemplo, en el año 2002 el USGS estimó que las reservas y las reservas base mundiales de RF eran de 12 990 y 46 990 millones de TM, respectivamente (Stewart et al, 2005). Las estimaciones para el año 2009 discutidas arriba representan el 122 y 100 % de las estimaciones anteriores, aun cuando han transcurrido 7 años adicionales de producción. Segundo ejemplo, Sheldon (1987) reportó que las reservas mundiales de RF eran de 15 259 millones de TM (casi el mismo estimado actual) e identificó los recursos (reserva base más la reserva base inferida) como 112 431 millones de TM. Con estos recursos y basándose en la producción actual, la duración de los recursos sería de 696 años.

Tabla 1. Producción, reservas y reservas base de las minas de fosfato (USGS, 2009c).

	----- Producción de las minas ¹ -----		Reservas ³	Reservas base ⁴	Duración de la reserva ⁵	Duración de la reserva base
	2007	2008 ²				
	----- Millones de toneladas métricas -----		----- Años -----			
Marruecos – Sahara Occidental	27.00	28.00	5 700	21 000	207	764
China	45.40	50.00	4 100	10 000	86	210
Estados Unidos	29.70	30.90	1 200	3 400	40	112
Sudáfrica	2.56	2.40	1 500	2 500	605	1 008
Jordania	5.54	5.50	900	1 700	163	308
Australia	2.20	2.30	82	1 200	36	533
Rusia	11.00	11.00	200	1 000	18	91
Israel	3.10	3.10	180	800	58	258
Siria	3.70	3.70	100	800	27	216
Egipto	2.20	3.00	100	760	38	292
Túnez	7.80	7.80	100	600	13	77
Brasil	6.00	6.00	260	370	43	62
Canadá	0.70	0.80	25	200	33	267
Senegal	0.60	0.60	50	160	83	267
Togo	0.80	0.80	30	60	38	75
Otros países	8.11	10.80	890	2 200	94	233
Total mundial	156	167	15 000	47 000	93	291

¹ El contenido de P₂O₅ varía de 23 a 39 % de P₂O₅, con un promedio de 32 % en el 2007. La roca de Estados Unidos promedia 29 %.

² Estimado.

³ Las reservas pueden ser minadas económicamente en el momento de

determinación.

⁴ Las reservas base incluyen algunas fuentes económicas, fuentes económicamente marginales y algunas actualmente sub-económicas.

⁵ Duración basada en la producción 2007-2008.

Es claro que existe mucha incertidumbre en las estimaciones actuales, pero también es cierto que el mundo no está en riesgo de quedarse sin materia prima para la producción de fertilizantes fosfatados. Sin embargo, éstos son recursos naturales no renovables que deben tener el mejor manejo posible.

Potasa

El término potasa se refiere a una variedad de minerales que contienen K, siendo los más comunes la silvita (KCl), silvinita (KCl+NaCl), hartsalz (depósitos minerales con sales de sulfato) y langbeinita (K₂SO₄•2MgSO₄). Los depósitos económicos de potasa se encuentran en camas de sales sedimentarias remanentes de antiguos océanos interiores (depósitos de evaporación) o lagos salados y salmueras naturales. La **Figura 3** presenta la localización de las reservas y reservas base de potasa. Las reservas más grandes se encuentran en Saskatchewan, Canadá, donde el mineral tiene altas concentraciones de K₂O (25 - 30 %) y se encuentra a profundidades de 1 000 a 3 500 m. Estos depósitos son en su mayoría silvinita con algo de carnalita (KCl•MgCl₂•6H₂O) y arcilla.

La producción, reservas, reservas base y la duración de las reservas de potasa por país, basándose en los datos de USGS, se presentan en la **Tabla 2**. Canadá tiene el 53 % de las reservas del mundo mientras que en conjunto Canadá, Rusia, Bielorrusia y Alemania tienen el 92 %. Las reservas mundiales de potasa son inmensas, con una expectativa de duración de 235 años, basándose

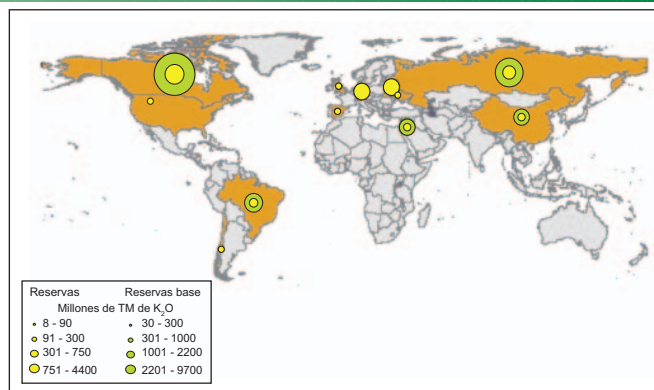


Figura 3. Reservas y reservas base de potasa.

en la producción actual, y una reserva base que excede los 500 años.

Se espera que se añadan alrededor de un millón de TM de K₂O por año de nueva capacidad de producción desde el año 2009 al 2011, la mayoría en Canadá, Rusia e Israel, con algún aporte de Jordania y los Estados Unidos. Se espera un aporte adicional de 5 millones de TM en el año 2012 en Canadá, Argentina, Bielorrusia y Jordania (Prud'homme, 2008). El aporte de nueva producción hasta el año 2012 será de aproximadamente 8 millones de TM.

Azufre

El azufre (S) es uno de los constituyentes más comunes en la corteza terrestre. Según las estimaciones del USGS, los recursos de S elemental en depósitos

Tabla 2. Producción de las minas de potasa, reservas y reservas base (USGS, 2009d).

	----- Producción de las minas -----			Reservas base ³	Duración de la reserva ⁴	Duración de la reserva base ⁴
	2007	2008 ¹	Reservas ²			
	----- Millones de toneladas métricas de K ₂ O -----			----- Años -----		
Canadá	11.10	11.00	4 400	11 000	398	995
Rusia	6.60	6.90	1 800	2 200	267	326
Bielorrusia	4.97	5.10	750	1 000	149	199
Alemania	3.60	3.60	710	850	197	236
Brasil	0.41	0.43	300	600	719	1 437
Israel	2.20	2.40	40	580	17	252
Jordania	1.09	1.20	40	580	35	507
China	2.00	2.10	8	450	4	220
Estados Unidos	1.10	1.20	90	300	78	261
Chile	0.50	0.58	10	50	19	93
España	0.58	0.59	20	35	34	60
Ucrania	0.01	0.01	25	30	2 083	2 500
Reino Unido	0.43	0.48	22	30	49	66
Otros países			50	140		
Total mundial	35	36	8 300	18 000	235	510

¹ Estimado.

² Las reservas pueden ser minadas económicamente en el momento de determinación.

³ Las reservas base incluyen algunas fuentes económicas, fuentes económicamente marginales y algunas actualmente sub-económicas.

⁴ Duración basada en la producción 2007-2008.

Tabla 3. Producción de azufre y yeso (USGS, 2009a; USGS, 2009e).

País	----- Producción de azufre -----		País	----- Producción de yeso -----	
	2007	2008 ¹		2007	2008 ¹
	-- Millones de toneladas métricas --			-- Millones de toneladas métricas --	
Estados Unidos	9.09	9.09	China	37.0	40.7
Canadá	8.97	8.80	Estados Unidos	17.9	12.7
China	8.46	8.50	Irán	12.0	12.0
Rusia	7.05	7.10	España	11.5	11.3
Japón	3.20	3.20	Tailandia	8.6	8.8
Arabia Saudita	3.10	3.20	Canadá	7.7	7.3
Kazajstán	2.60	2.60	México	6.1	5.8
Alemania	2.30	2.50	Japón	5.9	5.7
Emiratos Arabes Unidos	1.95	2.00	Italia	5.5	5.5
México	1.77	1.80	Francia	4.8	4.7
Corea	1.69	1.70	Australia	4.2	4.1
Chile	1.57	1.60	India	2.5	2.8
Irán	1.57	1.60	Rusia	2.3	2.4
Francia	1.31	1.30	Egipto	2.0	2.0
Polonia	1.32	1.30	Brasil	1.8	1.7
India	1.15	1.20	Alemania	1.8	1.7
Australia	0.95	0.95	Polonia	1.6	1.7
Venezuela	0.80	0.80	Reino Unido	1.7	1.7
Italia	0.74	0.74	Argelia	1.1	1.3
Kuwait	0.70	0.70	Uruguay	1.2	1.1
Sudáfrica	0.64	0.65	Austria	1.0	1.0
Finlandia	0.61	0.61			
España	0.60	0.60			
Holanda	0.53	0.53			
Uzbekistán	0.52	0.52			
Otros países	5.23	5.20	Otros países	15.3	14.9
Total mundial	68	69	Total mundial	154	151

¹ Estimado.

minerales sedimentarios y volcánicos y asociados al gas natural, petróleo, alquitrán y sulfitos metálicos son de alrededor de 5 billones de TM. El S en el yeso y la anidrita es casi ilimitado y existen alrededor de 600 billones de TM de S en el carbón, pizarra bituminosa y pizarra rica en materia orgánica, pero todavía no se desarrollan métodos de bajo costo para recuperar el S de estas fuentes (USGS, 2009e). En general, el S no se obtiene intencionalmente como un producto principal. La mayoría del S disponible en el mercado mundial se extrae del gas natural y del petróleo ya que el petróleo crudo contiene de 0.1 a 2.8 % de S (IFDC, 2008). También se puede recuperar algo de S del carbón, del proceso metalúrgico de los sulfitos y del minado de piritas.

Entre el 80 y 85 % de la producción mundial de S se usa para elaborar ácido sulfúrico. La mitad de la producción mundial de ácido sulfúrico se utiliza en la producción de fertilizantes, principalmente para convertir fosfatos insolubles a formas solubles en agua. Se necesita

alrededor de una tonelada de S para producir un poco más de 2 toneladas de fosfato diamónico (DAP) (IFDC, 2008).

Los principales países productores de S son Estados Unidos, Canadá, China y Rusia (**Tabla 3**). Estos cuatro países producen casi la mitad del S del mundo. Debido a que el petróleo y los sulfitos minerales pueden procesarse a grandes distancias del sitio donde son extraídos, el USGS señala que la producción actual de S no está relacionada con el país al cual se le atribuyen las reservas. Esta es una de las razones por las cuales los datos de las reservas y reservas base de S no se reportan por país. En la **Tabla 3** también se presenta la producción de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) por país, debido a que una pequeña cantidad de este producto se usa con propósitos agrícolas ya sea como acondicionador de suelo o como fuente de nutrientes. Por ejemplo, en los Estados Unidos, en el año 2008, se utilizaron en agricultura un poco más de un millón de TM de los 12.7 millones de yeso producidas.

Tabla 4. Producción de amoníaco, consumo y reservas de gas natural [USGS, 2009b (amoníaco); Anónimo, 2007 (gas)].

----- Producción de amoníaco -----			----- Gas natural, 1/1/2008 -----			
País	2007	2008 ¹	País	Consumo		Reservas ²
	Toneladas métricas de N ----- Millones -----			Metros cúbicos		Total
				Billones	Trillones	%
China	42.48	44.60	Rusia	610	47.57	27.2
India	11.00	11.00	Irán	112	26.84	15.3
Rusia	10.50	11.00	Qatar	21	25.63	14.6
Estados Unidos	8.84	8.24	Arabia Saudita	76	7.16	4.1
Trinidad y Tobago	5.10	5.10	Emiratos Arabes Unidos	43	6.06	3.5
Indonesia	4.40	4.40	Estados Unidos	653	5.97	3.4
Ucrania	4.20	4.20	Nigeria	13	5.21	3.0
Canadá	4.10	4.10	Venezuela	27	4.70	2.7
Alemania	2.75	2.80	Argelia	26	4.50	2.6
Arabia Saudita	2.60	2.60	Iraq	2	3.17	1.8
Pakistán	2.25	2.25	Turkmenistán	19	2.83	1.6
Irán	2.00	2.00	Kazajistán	31	2.83	1.6
Egipto	1.75	1.90	Indonesia	23	2.66	1.5
Polonia	1.90	1.90	Malasia	33	2.35	1.3
Los Países Bajos	1.80	1.80	China	71	2.27	1.3
Qatar	1.80	1.80	Noruega	7	2.24	1.3
Japón	1.09	1.36	Uzbekistán	51	1.84	1.1
Bangladesh	1.30	1.30	Egipto	32	1.67	0.9
Rumania	1.30	1.30	Canadá	93	1.64	0.9
Otros países	20.30	22.00	Otros países	1 253	17.85	10.2
Total mundial	132	136	Total mundial	3 196	175	100

¹ Estimados.
² Reservas que pueden recuperarse con la tecnología y precios actuales.
 Nota: La producción de una tonelada de amoníaco requiere de 1 230 metros cúbicos de gas natural.

A largo plazo, se espera que el incremento en la producción mundial de S alivie la escasez que se presentó a mediados del año 2008, cuando los precios del S se incrementaron de menos de 100 dólares por tonelada a más de 800. Este alto incremento se produjo por el pobre abastecimiento resultante de la producción más baja de S de lo esperado en los Estados Unidos, por lento desarrollo de nuevas operaciones petroleras y de gas natural y por el incremento del consumo por las operaciones de producción de fertilizantes fosfatados. Una aguda reducción de la demanda de S en Asia en el tercer trimestre del año 2008 causó la radical disminución del precio ocurrida a finales del año pasado.

Nitrógeno

El amoníaco (NH₃) es la fuente básica de nitrógeno (N) usada en la manufactura de la mayoría de los fertilizantes portadores de N. Cerca del 3 % del NH₃ se utiliza para aplicación directa en el campo, principalmente en América del Norte. Procesos diferentes a la fabricación de fertilizantes utilizan cerca del 16 % de la producción mundial de NH₃ (Abram y Foster, 2005). China, India, Rusia y los Estados Unidos son responsables de más del 50 % del total de la producción de NH₃. China por si sola

es responsable de alrededor de un tercio del total de la producción (Tabla 4).

El gas natural (CH₄) es la materia prima utilizada en el 75 - 80 % de la manufactura de NH₃ a nivel mundial (Abram y Foster, 2005). Se requieren de 1 230 metros cúbicos de gas natural para producir una tonelada de NH₃ (Huang, 2007). Sin embargo, la producción de NH₃ consume una muy baja cantidad de gas natural en la mayoría de los países. Aun asumiendo que todo el NH₃ se produce usando gas natural, solamente el 5 % del consumo mundial de gas natural sería utilizado para la producción de NH₃. En los Estados Unidos, solamente el 1.5 % de gas natural utilizado se usa en la síntesis de NH₃.

Por lo tanto, los precios del gas natural son generalmente independientes del mercado de los fertilizantes, pero están muy influenciados por el sitio donde se producen los fertilizantes. El incremento de los precios del gas natural en países desarrollados ha promovido el cambio de la producción de N a países en vías de desarrollo. Varias compañías han anunciado planes de construir nuevas plantas de NH₃ en Argelia, China, Libia y Perú (USGS, 2009b).

El tópic de las reservas de fertilizantes nitrogenados, considerando el proceso de manufactura actual, es esencialmente una discusión de las reservas de gas natural. En la **Tabla 4** se presenta el consumo y reservas de gas clasificadas por el volumen de la reserva. Rusia, Irán y Qatar tienen el 57 % comprobado de las reservas mundiales de gas natural. A nivel mundial se consumen al momento alrededor de 3.2 trillones de metros cúbicos de gas por año y se registran 175 trillones de metros cúbicos de reservas comprobadas, que durarían 55 años. Sin embargo, las reservas mundiales de gas natural tienden a incrementarse, indicando que los productores han sido capaces de continuar incrementando las reservas con el paso del tiempo (Energy Information Administration, 2008). Los incrementos más grandes y recientes a las estimaciones de reservas de gas natural las reportaron Venezuela y Arabia Saudita.

Resumen

Las reservas mundiales de N, P, K y S parecen ser adecuadas para el futuro inmediato. Sin embargo, el costo de los nutrientes se incrementará con el paso del tiempo a medida que se consuman los materiales de más fácil extracción. Por esta razón, la implementación y refinamiento continuo de las mejores prácticas de manejo de fertilizantes permitirá una mejor eficiencia de uso de los nutrientes. Un sabio manejo de los recursos no renovables de donde provienen los nutrientes es una responsabilidad crítica de todos aquellos envueltos en la producción agrícola.

Bibliografía

- Abram, A. and D.L. Forster. 2005. A primer on ammonia, nitrogen fertilizer, and natural gas. OSU AED Economics (AEDE-RP.0053-05). The Ohio State University.
- Anónimo, 2007. Gas and Oil Journal. On line at www.nationalmaster.com.
- Energy Information Administration. 2008. Natural gas. In International Energy Outlook. On line at www.eia.doe.gov/oiaf.
- Huang, W. 2007. Impact of rising natural gas prices on U.S. ammonia supply. USDA-ERS, August, 2007.
- IFDC. 2008. Focus on fertilizers and food security. Issue 4; July 15. On line at www.ifdc.org.
- McClellan, G.H. y S.J. Van Kauwenbergh. 2004. World phosphate deposits. In Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture. FAO Land and Water Development Division and the International Atomic Energy Agency, Rome.
- Prud'homme, M. 2008. Global fertilizer and raw materials supply and supply/demand balances 2008-2012. IFA Production and Trade. Paris, France.
- Sheldon, R.P. 1987. Industrial minerals – with emphasis on phosphates rock. P. 347-361. In D.J. McLaren and B.J. Skinner (ed.). Resources and World Development. John Wiley & Sons, New York.
- Stewart, W.M., L.H. Lawrence, and S.J. Van Kauwenbergh. 2005. Phosphorus as a natural resource. In Phosphorus: Agriculture and the Environmental, Agronomy Monograph No. 46. ASA-CSSA-SSSS, Madison, WI.
- USGS. 2009a. Gypsum. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009b. Nitrogen (Fixed) – Ammonia. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009c. Phosphate Rock. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009d. Potash. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009e. Surfur U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>. ★