

Por: Alonso Ramírez Velásquez.

sólo cinco cosas pueden suceder cuando se aplica un fertilizante al suelo :

1. Puede ser utilizado por el cultivo
2. Pasar a formar parte del complejo del suelo
3. Lavarse (lixiviarse) fuera del perfil del suelo
4. Perdersé por erosión
5. Volatilizarse o escaparse en forma gaseosa

En el presente trabajo se discuten brevemente estos aspectos para los fertilizantes comerciales a base de nitrógeno, fósforo y potasio.

#### Fuentes mas comunes de Nitrógeno

##### Formas amoniacales

Amoniaco anhidro ( $\text{NH}_3$ ). 82.2% N. Almacenado en forma líquida en tanques a presión. Requiere equipo especial para su aplicación.

Soluciones amoniacales. Mezclas a base de amoniaco gaseoso, nitrato de amonio y urea; su grado se expresa utilizando fórmulas del tipo 206 (25-0-0) que indica una solución del 20.6 de N total 25% del cual está en forma de amonio; esta fórmula no tiene nitrato de amonio ni urea.

Nitrato de Amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) 33.5% N. Poco comercial debido mas que todo a dificultades de almacenaje; es muy higroscópico.

Sulfato de Amonio ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>  $\text{SO}_4$ . 20.5%N 24.2S. Usado preferentemente para suelos alcalinos por su efecto acidificante.

Urea.  $\text{CO} (\text{NH}_2)_2$ . 45%N. Que es la fuente sólida de mayor contenido

de nitrógeno.

#### FUENTES NITRICAS

Nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) 16.0% N. La forma natural de este compuesto se conoce como "Salitre Chileno".

Nitrato de potasio. ( $\text{KNO}_3$ ). 13.4% N 44.2%  $\text{K}_2\text{O}$ ". Este producto junto con el anterior constituyen las únicas fuentes de N alcalinizantes.

#### COMPUESTOS DE NITROGENO LENTAMENTE ASIMILABLES

Urea-formaldehído. Este producto se obtiene haciendo reaccionar úrea con formaldehído, siendo posible obtener una completa gama de productos desde solubles hasta completamente insolubles, de acuerdo a la concentración de urea utilizada.

Para ser clasificados como fertilizantes, sin embargo, deben contener por lo menos 35% de N total, en gran parte insoluble, aunque lentamente asimilable. El N insoluble en agua en estos productos debe testar no menos de 40% activo de acuerdo al índice de actividad para la urea-formaldehído definida así:

$$IA = \frac{\% \text{ NIAF} - \% \text{ NIAC}}{\% \text{ NIAF}} \times 100$$

donde IA = Índice de actividad

% NIAF = % nitrógeno insoluble en agua fría (25°C)

% NIAC = % nitrógeno insoluble en agua caliente (98-100°C)

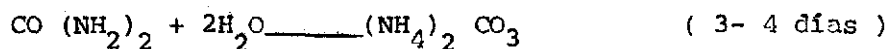
La garantía de este producto se basa en :

1. La cantidad de N insoluble en agua fría, fuente del Nitrógeno lentamente asimilable.
2. La calidad del nitrógeno insoluble en agua fría determinada por su índice de actividad.

En el comercio se consigue un producto con 38% de N; 28% insoluble en agua, y un índice de actividad de 50, este producto ha dado muy buenos resultados en zonas húmedas.

El nitrógeno en los fertilizantes puede estar como una de las siguientes formas: Amoníaco libre-NH<sub>3</sub>, urea-(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> CO, Amonio- NH<sub>4</sub>, o nitratos- NO<sub>3</sub>. La forma química sin embargo, no es de mucha importancia, ya que normalmente todas las formas tienden a pasar a la forma nítrica NO<sub>3</sub>. En suelos bien aireados, de zonas calientes, la urea hidroliza a compuestos amoniacales NH<sub>4</sub>, en unos pocos días (3-4 días). Similarmente las bacterias del suelo convierten el Amonio NH<sub>4</sub> en nitratos NO<sub>3</sub> en el transcurso de unas semanas (1-4 semanas)

#### Hidrólisis de la Urea



El carbonato de amonio es un compuesto inestable y descompone en amonio NH<sub>4</sub> y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

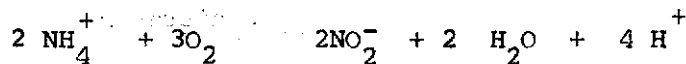
Esta reacción es estimulada por la presencia de enzima ureasa presente en los suelos; una vez en forma amoniacal la urea se comporta como cualquier otro producto a base de amonio.

Cuando la urea se deja sobre la superficie del suelo, sin cubrir por mucho tiempo, parte del N se convierte a forma gaseosa y se pierde por volatilización. La Figura 1 muestra las pérdidas de nitrógeno ocurridas al aplicar urea al suelo. Se puede ver en la gráfica que en los primeros 4 días las pérdidas de nitrógeno son pequeñas, posiblemente debido a que la hidrólisis de la urea es aún incompleta. La volatilización ocurre por hidrólisis del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> formado así :

$\text{NH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH} \longrightarrow \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Una vez la urea es transformada en amonio  $\text{NH}_4$ , hay una pérdida creciente de N. La incorporación de la urea reduce considerablemente las pérdidas por evaporación (Fig. 1)

#### Nitrificación de las formas amoniacales de Nitrógeno.

Es la transformación químico-biológica de las formas amoniacales a nitratos. Proceso en dos etapas en que el amonio es primero convertido en nitritos  $\text{NO}_2^-$  y luego en nitratos  $\text{NO}_3^-$ . La transformación a nitritos es llevada a cabo principalmente por un grupo de bacterias autotróficas obligadas (nitrosomonas) de acuerdo a la siguiente reacción:



La conversión de nitritos a nitratos es efectuada por un segundo grupo de bacterias autotróficas obligadas (nitrobacter) de acuerdo a la reacción siguiente :



Hay tres aspectos importantes en estas reacciones que es conveniente hacer resaltar.

1. Las reacciones requieren oxígeno en forma molecular. Es decir la reacción requiere suelos bien aireados.
2. La reacción libera hidrógeno en forma iónica ( $\text{H}^+$ ), contribuyendo así a la acidificación de los suelos.
3. A causa de que estas reacciones envuelven la actividad microbial, la rapidez y extensión de las reacciones está grandemente influenciada por las condiciones ambientales del suelo tales como la humedad, temperatura etc.

En suelos neutros a ligeramente ácidos bien drenados la rata de oxidación de  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$  es normalmente mayor que la de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$ . La rata de formación de  $\text{NO}_2^-$  es igual o mayor que la de formación de  $\text{NH}_4^+$ . En consecuencia la forma nítrica tiende a dominar en estos suelos y es por lo tanto la forma más usada por las plantas.

Este proceso, sin embargo, es relativamente lento. Para una completa nitrificación se requieren por lo menos 4 semanas (Fig. 2). La nitrificación es más intensa a mayor temperatura. Se requieren 28 días para convertir 150 ppm de N- $\text{NH}_4^+$  en N- $\text{NO}_3^-$  a 25°C; en el mismo lapso de tiempo la nitrificación es solo parcial cuando la temperatura es de 16°C.

Las formas amoniacales persisten indefinidamente en suelos inundados. Esta forma es utilizada preferentemente por el arroz bajo inundación.

Como la urea-formaldehído es un producto de reciente introducción con uso preferente para las zonas húmedas de alta lixiviación; se acompaña una gráfica (Fig. 3) que muestra la nitrificación de este producto a diferentes índices de actividad. Se observa una rata de nitrificación menor si la comparamos con el gráfico para la urea. En 60 días un producto con un IA de 55, considerado como óptimo, sólo ha nitrificado en un 30%.

Afortunadamente las formas amoniacales  $\text{NH}_4^+$  son absorbidas por el complejo coloidal del suelo y se protegen así de perderse por lixiviación. Esta forma puede persistir retenido por el suelo por largo tiempo si las condiciones para la nitrificación son desfavorables, y el suelo no es muy arenoso. Las formas nítricas  $\text{NO}_3^-$ , en cambio, son muy solubles y lixivian libremente con el agua del suelo.

N- VOLATILIZADO - Porcentaje.

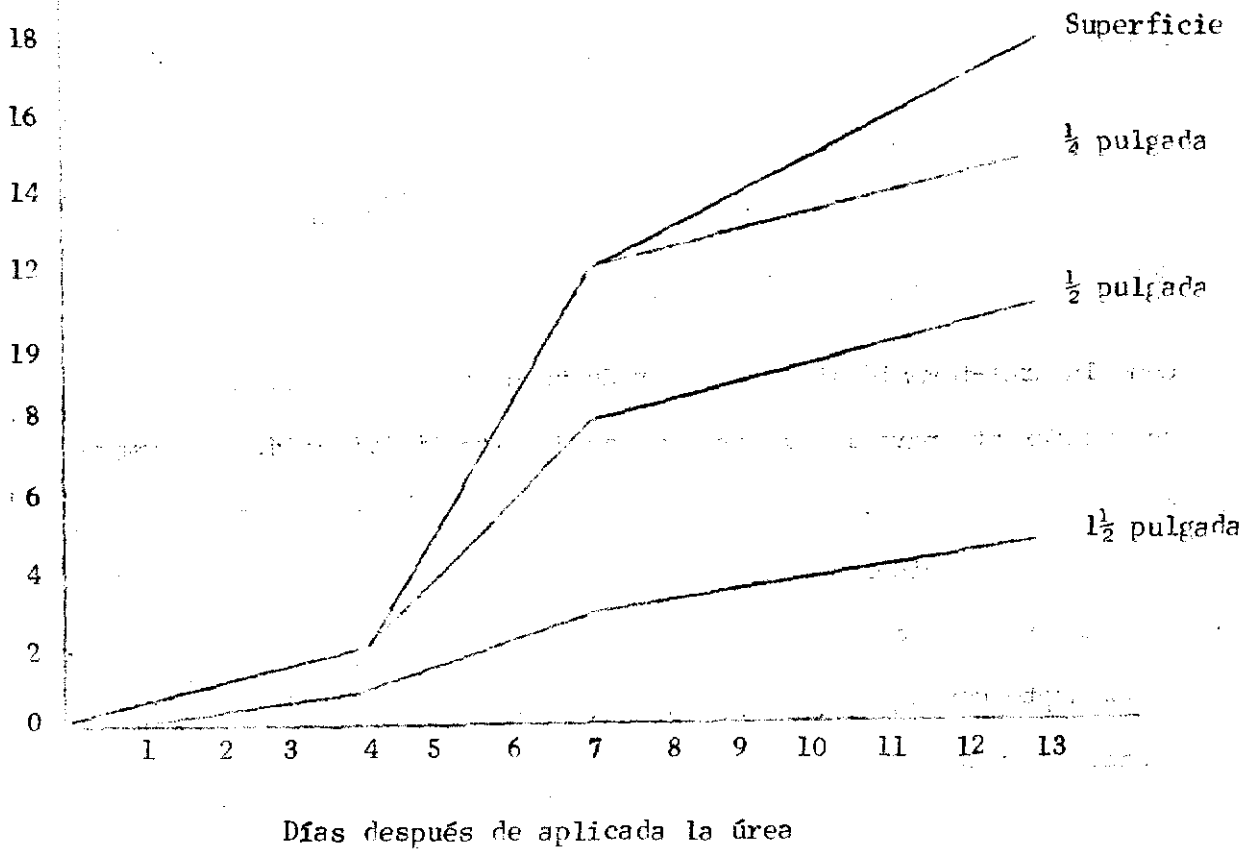


FIGURA 1. Pérdidas acumulativas de N- urea aplicado al suelo a varias profundidades. 100 kg/Ha N. Dickson, Franco limoso, pH 6.5, 24°C. Ernest et al; SSSAP. 24:87 (1960).

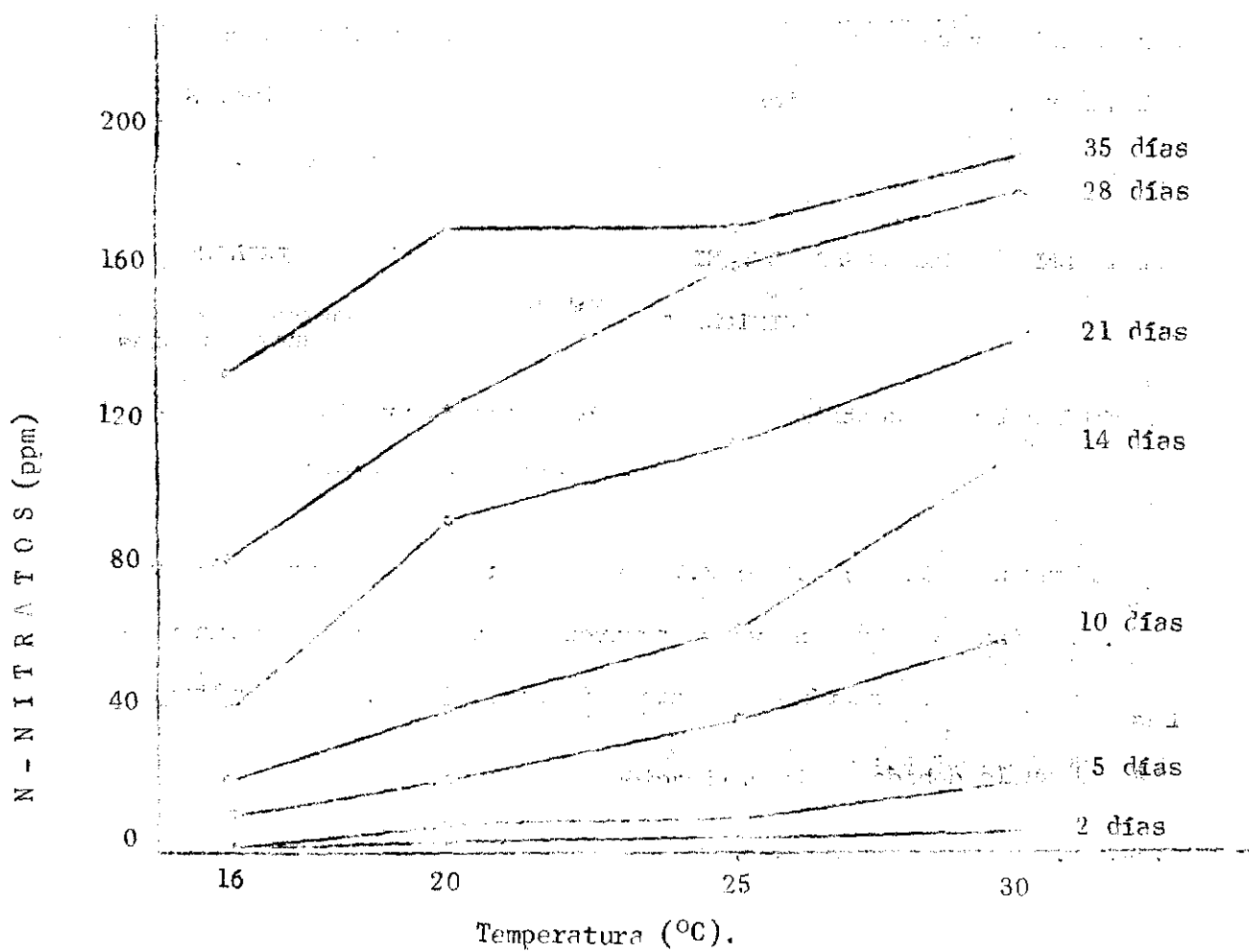
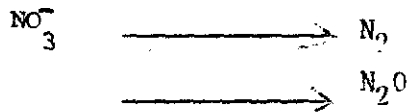


FIGURA 2. Efecto del tiempo y la temperatura sobre la nitrificación de 150 ppm de  $N-NH_4$  aplicado al suelo e incubado por 35 días.  
Parker et al, SSSAP 26 : 238 (1962).

La forma nítrica no sólo es susceptible de perderse por lixiviación. En suelos inundados, el oxígeno es excluido y ocurre denitrificación. Algunos organismos anaeróbicos tienen la habilidad de obtener su oxígeno de los nitritos y nitratos del suelo con liberación del N en forma gaseosa :



Los organismos responsables de la denitrificación son algunas especies del género *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Scheromobacter* y *Bacillus*. Se calcula entre un 10 a 30% de nitrógeno perdido de esta manera.

#### EFFECTO DEL USO PROLONGADO DEL NITROGENO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES

##### QUIMICAS DEL SUELO.

Las Tablas 1 y 2 muestran el efecto sobre algunas propiedades químicas del suelo debidas a la aplicación continuada de nitrógeno.

Se aplicaron 0; 1.250; 2.500; 3.750 y 5.000 kg/Ha de N entre 1960 y 1965. Al final de este ensayo se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 centímetros para análisis químico. Los resultados son los siguientes :

TABLA 1. Efecto de las fuentes y dosis de N sobre el pH.

FUENTES	0	1250	2500	3750	5000
NaNO <sub>3</sub>	5.9	6.3	6.6	6.7	6.8
Urea	5.4	5.4	5.1	5.0	4.8
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5.4	4.7	4.3	4.2	3.9

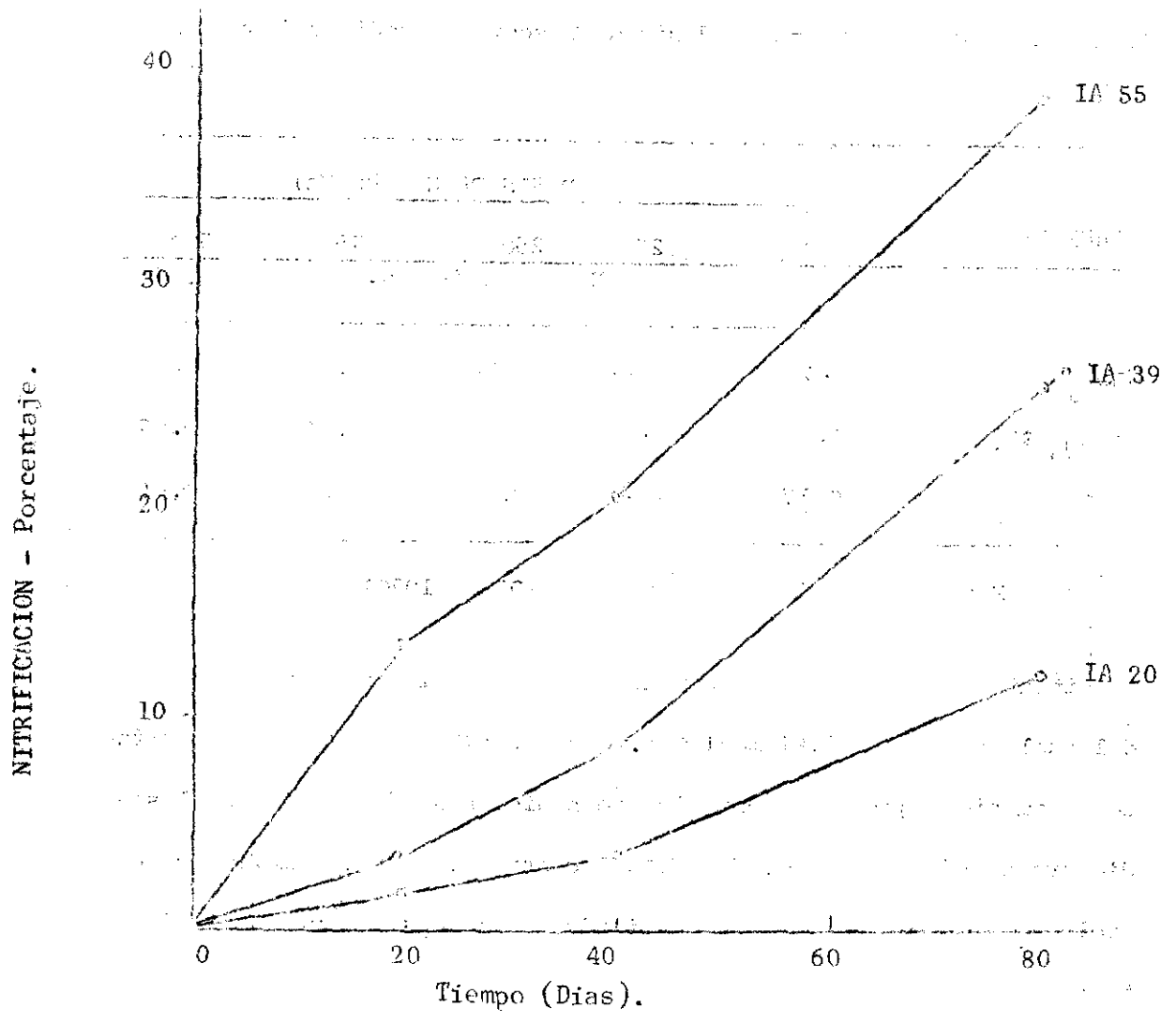


FIGURA 3. Relación entre el índice de actividad (IA) y la nitrificación de la fracción insoluble en agua fría de la urea-formaldehído.  
Reinhold Publishing Corp; New York  
Tisdale and Nelson Soil Fertility and fertilizers.  
1966.

Lotero y Monsalve. Revista ICA 5 (3): 199 (1970).

El nitrato de sodio tuvo un efecto alcalinizante del suelo; con la dosis máxima se aumentó el pH en 0.9 unidades con relación al testigo. La urea y el sulfato de amonio tendieron a disminuir el pH, con un descenso de 0.6 y 1.5 unidades con relación al testigo.

TABLA 2. Efecto de fuentes y dosis de N sobre el sodio del suelo.

FUENTES	DOSIS DE N (kg/Ha)				
	0	1250	2500	3750	5000
	Na me/100 g.				
$\text{NaNO}_3$	0.28	0.96	1.76	2.21	2.81
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.10	0.05	0.06	0.08	0.07
Urea	0.17	0.10	0.10	0.06	0.09

Lotero y Monsalve, Revista ICA 5 (3) : 199 (1970)

El nitrato de sodio aumentó considerablemente el contenido de sodio del suelo de 0.28 a 2.81 me/100 g. Las otras 2 fuentes, urea y sulfato de amonio bajaron el contenido de sodio. Después de 5 años el sodio era de sólo 0.09 y 0.07 me/100 g contra 0.17 y 0.10 me/100 g del suelo inicial, cuando se aplicó nitrógeno en forma de urea y sulfato respectivamente.

Las otras bases, calcio, magnesio y potasio fueron poco afectadas, por el uso de urea o  $\text{NaNO}_3$ . El sulfato de amonio tiende a reducir el calcio y el magnesio.

Otras propiedades del suelo, tal como el contenido de fósforo

aprovechable, no fueron mayormente afectadas.

#### FUENTES COMUNES DE FOSFORO.

Hoy en día la principal fuente natural de fósforo es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita de fórmula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6 (\text{F, Cl OH})_2$ .

Esta roca tratada al calor o con acidez libera el fósforo a formas más solubles.

#### Fosfatos obtenidos por acidificación

El ácido fosfórico  $\text{H}_3\text{PO}_4$  puede obtenerse tratando la roca con ácido sulfúrico en un proceso llamado "húmedo o verde", u oxidando el fósforo elemental a pentóxido en altos hornos en el proceso "blanco" o de "horno". El ácido fosfórico de grado comercial con 24% de fósforo (55%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), es usado para acidular la roca fosfórica y obtener superfosfato triple.

Ortofosfatos de Calcio. Los fertilizantes fosfóricos más importantes consistentes de ortofosfato de calcio, son el superfosfato ordinario o simple y el superfosfato triple o concentrado.

El Superfosfato ordinario o simple (SFS) se obtiene tratando la roca fosfórica con ácido sulfúrico. Este producto es una mezcla de fosfato monocálcico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  y yeso- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; contiene de 16 a 22% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , del cual cerca del 90% es soluble en agua, y prácticamente 100% asimilable. Contiene además de 8 a 10% de azufre. Se usa preferentemente en la obtención de los fertilizantes completos o para aplicación directa.

El superfosfato concentrado o triple. (SFT) contiene 44 a 52% de  $P_2O_5$ , 95 a 98% del cual es soluble en agua casi todo clasificado como asimilable. Esencialmente es fosfato monocálcico y se obtiene al tratar la roca fosfórica con ácido fosfórico. Contiene usualmente menos de 3% de azufre.

La roca fosfórica natural es muy estable y casi completamente insoluble en agua. Las fuentes comerciales más importantes contienen de 27 a 41% de  $P_2O_5$  total. La solubilidad en citrato varía entre 5 y 17% del contenido total de fósforo.

En su estado natural es de poco valor para las plantas a menos que esté finalmente molida, se aplique en dosis, que suministren de 3 a 5 veces cantidades equivalentes de formas más solubles, y se use para suelos ácidos. Aparentemente tiene un efecto residual mayor, y por esta razón se aconseja para cultivos perennes. Nunca debe emplearse en cultivos de período vegetativo corto.

Fosfatos obtenidos por calor. Los fosfatos por calentamiento o térmicos se obtienen fundiendo la roca a diferentes temperaturas con o sin aditivos, como la sílica. Tienen la desventaja de no poder ser usados para la fabricación de fertilizantes completos, no contienen fósforo soluble en agua y generalmente resultan más costosos.

La forma más popular es la escorias Thomas básicas o Calfos, que es un subproducto en los procesos de obtención del hierro.

El Calfos contiene entre 8 y 18% de  $P_2O_5$ , básicamente todo asimilable; en adición, su valor de neutralización es del 60 al 80%. Ha dado muy buenos resultados como fuente de fósforo en suelos ácidos.

Fosfatos de Rhenania y Fosfatos de Magnesio y Sílice. Se obtienen fundiendo la roca fosfórica junto con olivina o serpentina a altas temperaturas (1550°C). Es una fuente satisfactoria para suelos ácidos; aparentemente la sílice de estos productos bloquea algunos sitios de fijación, reduciendo así el fósforo fijado, con aumento de la aprovechabilidad del fósforo aplicado.

Comportamiento en el suelo. Se ha encontrado que los fosfatos reaccionan con los componentes del suelo para dar numerosos productos secundarios de cuya solubilidad depende la aprovechabilidad del fósforo.

Cuando se aplica un producto a base de fosfato monocálcico (SFS o SFT), el gránulo rápidamente absorbe agua (Fig. 4). La solución formada está saturada con fosfato monocálcico y fosfato bicálcico dihidratado con un residuo de fosfato bicálcico en el centro de la partícula. Esta solución enriquecida en fósforo y calcio se mueve sólo unos pocos centímetros y es extremadamente ácida (pH 1.8).

En suelos ácidos reacciona principalmente con compuestos de Fe, Al y Mn que disuelven en la solución. Con el tiempo se precipitan fosfatos de estos tres cationes dando lugar a formar insolubles; en suelos calcáreos la solución obra sobre el calcio formándose fosfatos tricálcicos insolubles. La Figura 5 muestra gráficamente la fijación del fósforo por la caolinita. La Figura resalta el papel que los sesquióxidos de hierro y aluminio  $(Fe\ Al)_2\ O_3$  juegan en esta fijación en suelos ácidos; una vez removidos la fijación reduce. Menos de 5 mg por gramo de arcilla, contra más de 25 mg fijados cuando no han sido removidos. La reacción es muy rápida; la diferencia entre 24 horas y 1 mes, aunque considerable, deja entrever que la mayoría del fósforo es fi-

jado en las primeras 24 horas a pH inferiores a 5.0, cuando no han sido removidos los compuestos de Fe y Al.

Hay un agudo contraste entre esta situación y la referida para el caso del Nitrógeno. En primer lugar las formas químicas de los fertilizantes fosfóricos son más complejas; en segundo lugar el fósforo reacciona rápidamente en el suelo formando una serie de nuevos productos, todos ellos muy complejos. Finalmente, los fosfatos prácticamente son inmóviles en el suelo. Permanecen donde son aplicados, excepto las reducidas porciones que se mueven adheridas a las partículas de arcilla en los procesos de erosión y eluviación.

La tendencia de los fosfatos a formar compuestos insolubles en el suelo explica la poca cantidad presente en un momento dado. Usualmente la concentración de fósforo en el suelo es menos de 0.1 ppm y raramente mayor de 1 ppm. En zonas localizadas alrededor de los gránulos, o en la aplicación en bandas, sin embargo, la concentración puede ser 1000 veces mayor que en zonas afectadas unas pocas pulgadas más lejos. Experimentalmente se ha comprobado movimientos de sólo 8 pulgadas en 50 años. La Tabla 3 muestra algunos resultados para diferentes fuentes y diferentes suelos. Puesto que con todo el fósforo se encuentra estrechamente ligado a las partículas más finas del suelo (coloides) su pérdida por erosión puede ser considerable,

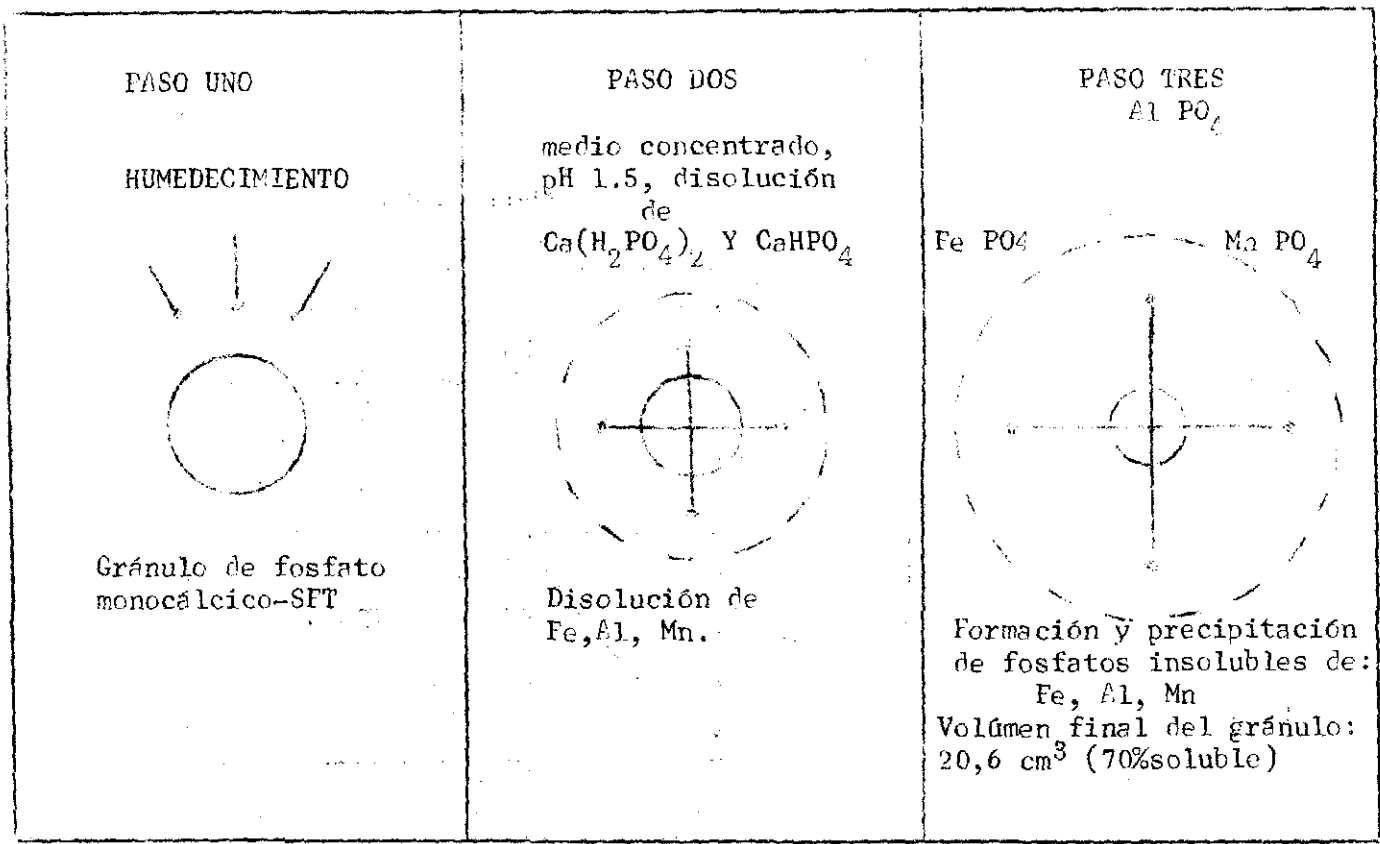


FIGURA 4. Representación diagramática de las reacciones de un gránulo de superfosfato triple.  
Tisdale and Nelson. Soil Fertility and Fertilizers. 1966.

## CAOLINITA

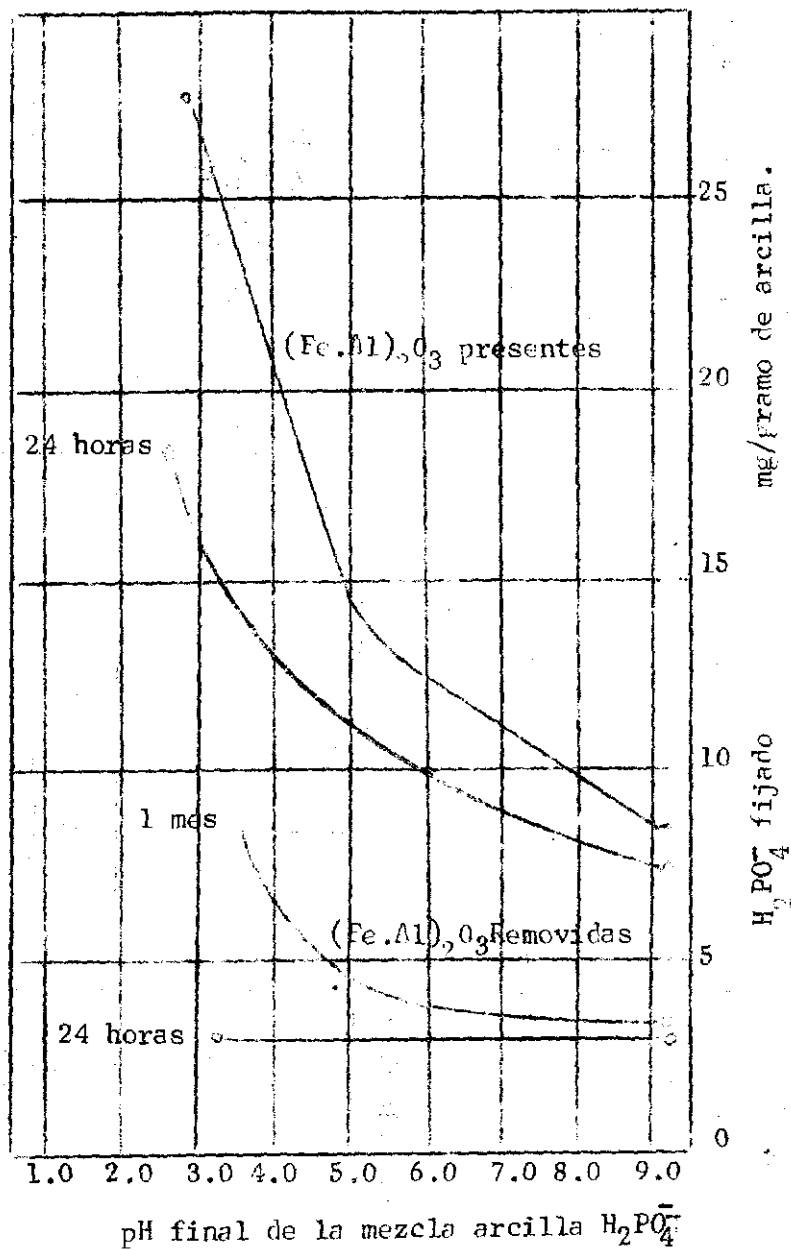


FIGURA 5. Fosfato fijado por la caolinita R. Coleman.  
SSSAP 9:72 (1944)

TABLA 3. Penetración de fosfatos en el suelo.

Textura	Fertilizante	años	Dosis lbs./A.	Penetración- $H_2PO_4^-$		
				0-15 cm.	15-30 cm	30-60 cm
FAg	6-8-4	15	7290	36.2	44.2	27.9
F	SFS	7	1350	6.9	1.9	Trazas
FAf.	Urea + SFT	3	800	61.0	4.7	0.3
Ar	$NaNO_3$ + SFS	1	120	0.6	0.3	Trazas
Ar L	SFS	2	386	2.2	2.2	Trazas
FAf	R.de Establo	5	200	8.4	8.4	5.5
FAR	SFT	1	877	11.2	Trazas	Trazas

R.E. Stephenson y H.D. Chapman Journal Soc. Agr. 23, 1931.

#### FUENTES DE POTASIO

El potasio natural se encuentra formando parte de minerales tales como los feldespatos potásicos Ortoclasa- $K Al Si_3 O_8$ , y las micas moscovita  $H_2 K Al_3 (SiO_4)_3$  y biotita  $(H,K)_2 (Mg,Fe)_2 Al_2 (SiO_4)_3$ ; además es constituyente integral de las arcillas illitas, vermiculitas y cloritas.

Los fertilizantes comerciales comúnmente son a base de cloruro de potasio ( $KCl$ ); sólo en casos especiales, previa solicitud, se usa el sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) preferentemente para el tabaco y otros pocos cultivos.

Estas formas son completamente solubles en agua y no sufren transformaciones de significación en los suelos. Se encuentra casi en su totalidad en forma iónica, libre en la solución del suelo, en menor proporción, o retenido o fijado por los coloides del suelo. Como catión intercam-

biable es retenido por el complejo de cambio que lo protege contra la lixiviación; en esta forma es 100% aprovechable y se intercambia libremente con otros iones de la solución del suelo o directamente con las raíces de las plantas. También puede ser fijado con mayor fuerza entre las láminas expandibles de las arcillas de tipo 2 : 1, principalmente la illita, por fuerzas electrostáticas. En esta condición compete con el amonio  $\text{NH}_4$  de radio iónico similar por sitios entre la malla de oxígeno que constituyen las láminas de sílice en la estructura de las arcillas.

Los anteriores fenómenos explican por qué no obstante ser el potasio un compuesto muy soluble en los suelos, su pérdida por lixiviación es muy escasa. (Fig. 6). Los datos de la Figura 6 fueron obtenidos en un suelo arenoso franco cultivado con papa bajo intensa irrigación, con un promedio de precipitación anual de 750 mm y 250 a 300 mm de irrigación adicional por año. Los análisis de potasio fueron realizados en muestras de suelo tomadas a diferente profundidad a intervalos de 15 cm cada una, hasta una profundidad de 150 cm.

Este campo recibió una aplicación anual de 430 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ /Ha durante un período de 9 años. El lote se aró a una profundidad de 20-25 cms, lo cual explica el mayor contenido de potasio en esta capa del suelo. Análisis de suelo a intervalos de 1 pulgada confirman la escasa movilidad del potasio en los suelos.

La Tabla 4 resume los resultados obtenidos después de 2 años con altas dosis de  $\text{K}_2\text{O}$  en un suelo franco arenoso aplicadas superficialmente sobre un cultivo de alfalfa.

Análisis químico  
K<sub>2</sub> (me/100 g).

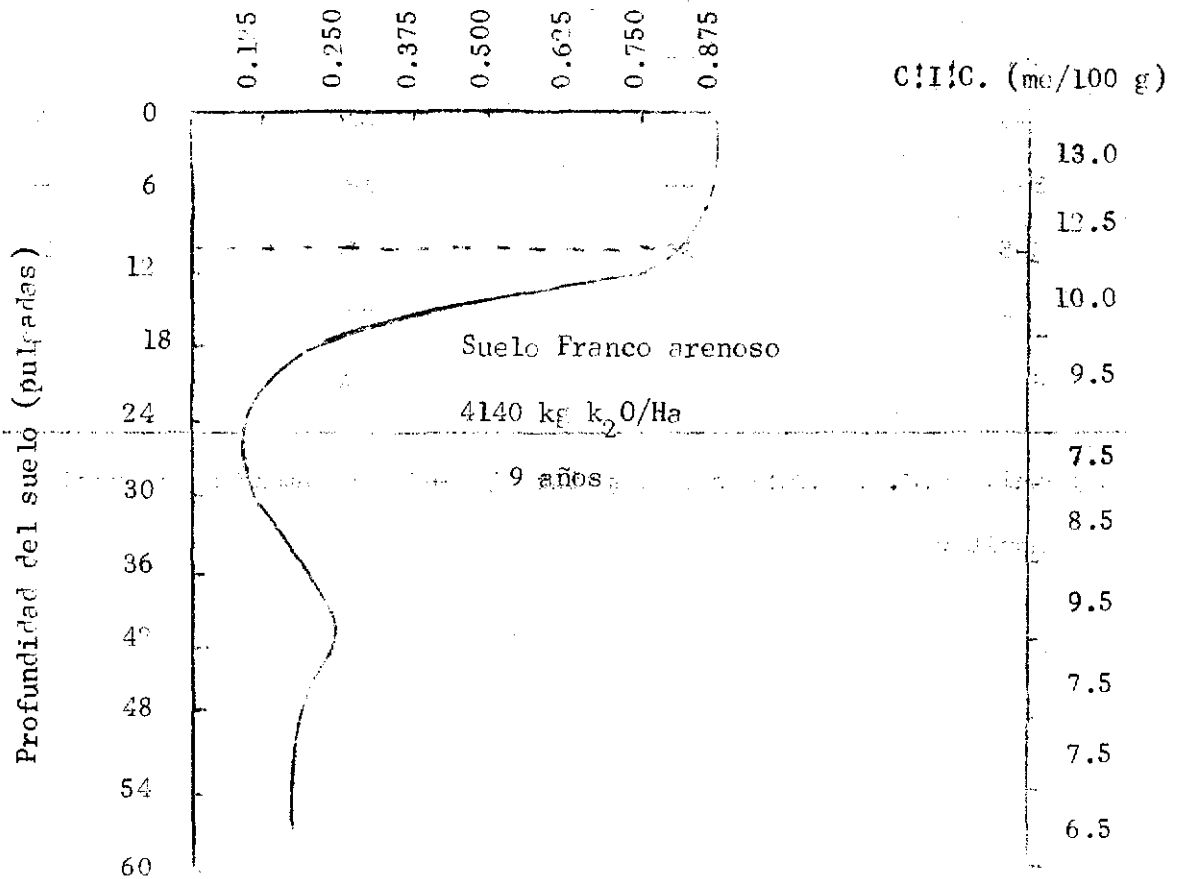


FIGURA 6. Penetración del potasio en un suelo franco arenoso después de 9 años durante los cuales se aplicaron 4140 kg de K<sub>2</sub>O/Ha. Overdahl, C.J. Y R.D. Munson Reprint Q-W-65 tomado de Better Crops with plant food. The American Potash Institute.

TABLA 4. Libras de potasio intercambiable uno y dos años después de la aplicación de 180 y 1000 Lbs  $K_2O$  por acre en un suelo franco arenoso.

Profundidad pulgadas	K intercambiable 180 Lbs $K_2O/A$ .		Lbs $K_2O/Acre$ 1000 Lbs $K_2O/A$ .	
	Después de 2 años		después de 1 año	después de 2 años
	Lb/A		Lb/A	Lb/Ha
0-1	70		600+	600+
1-2	--		600+	--
2-3	40		410	400
3-4	--		180	--
4-5	30		90	240
5-6	--		70	--
6-7	40		70	70

Overdahl, C.J. y R.D.Munsn. Reprint Q-W-65 The American potash  
Institute.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

327

1. COLEMAN, R. 1944. The mechanism of phosphate fixation by mont- marillonite and kaolinitic Clays. S.S.S.A.P. 9:72-78.
2. ENGELSTAD, O.P. and G.L. TERMAN. 1966. Water solubility of phosphorus fertilizers. Reprint SF 112. from commercial Fertilizers and plant food Industry.
3. ENGELSTAD, O.P. and R.D. HAUCK! 1974. Urea. Will it become the most popular nitrogen Carrier? Crops and Soils 26(7) :11-14.
4. LOTERO, C. J y S.A MONSALVE. 1970. Efecto de fuentes y dosis de aplicación de nitrógeno en las propiedades químicas del suelo. Revista ICA (Colombia) 5 (3): 199-220
5. OVERDAHL, C.J. and R.D. MUNSON. 1965. How much does applied potassium move, Reprint Q-W-65. The American potash Institute.
6. PARKER, J.H. 1972. How fertilizer moves and react in the Soil. Crops and Soils 25(2): 7-11.
7. STEPHENSON, R.E. and H.D. CHAPMAN. 1931. Phosphate penetration in field soils. Journal of Am. Soc. of Agronomy 23(10):759- 771.
8. TISDALE, S.L., y W.L. NELSON. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. The Macmillan Co. New York. 694 pag.