

Es bien conocido que el arroz crece mejor en suelos inundados que en suelos húmedos. Esto es verdad también para variedades de arroz de secano. La inundación no sólo sirve para el suministro de agua y para el control de malezas, sino también mejora mucho las características químicas del suelo.

CARACTERISTICAS DE SUELOS INUNDADOS

1. Retardo del intercambio de gases:

La rata de difusión del oxígeno en el aire es 10.000 veces más rápida que en el agua. Entonces, en un suelo inundado la difusión de O_2 hacia el interior y de CO_2 hacia afuera del suelo es muy lenta. La concentración de O_2 depende de la rata de difusión y de la rata de consumo por parte del suelo. El suelo consume O_2 principalmente por la respiración de las raíces y de los microorganismos aeróbicos. Debido a que la rata de consumo es más alta que la rata de difusión en un suelo recientemente inundado, la concentración de O_2 en la solución, disminuye en pocos días hasta cero en todo el suelo, excepto en una capa superficial de algunos milímetros y a veces en el subsuelo. En la capa superficial la difusión de O_2 es suficientemente rápida para hacer balance con el consumo por parte de microorganismos. Dentro de esta capa "oxidada" la concentración de O_2 en solución no es constante pero varía entre saturación en la superficie hasta cero en el límite entre la capa oxidada y el suelo reducido.

(Fig. 1)

A una temperatura de $25^\circ C$. esta concentración de saturación de O_2 corresponde a más o menos 8 ppm. El espesor de la capa oxidada depende del balance entre difusión y consumo. En suelos con alto contenido de materia orgánica (M.O.), y una alta población de microorganismos, el consumo es grande y la capa

* Técnico del Programa de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia, Junio, 1973.

039435

30 OCT. 1973
48512

delgada. Pero en suelos con poca M.O. y nutrientes, ó un pH muy bajo, los microorganismos son inactivos y la capa puede ser bastante gruesa. El espesor de la capa oxidada no solo tiene importancia en la fertilización con NH_4^+ y P sino también en el desarrollo de las raíces superficiales del arroz. Excepto estas raíces superficiales, la mayoría de las raíces del arroz crecen en un ambiente anaeróbico.

Una concentración baja de O_2 no es perjudicial para el arroz, ya que debido a la respiración anaeróbica, la semilla puede germinar con muy poco O_2 . También el arroz tiene estructura especial de canales (aerochyma) para el transporte del aire desde las hojas hacia las raíces. Si el consumo de O_2 por parte de las raíces es más lento que la difusión desde las hojas, un poco de O_2 puede difundirse hacia afuera de las raíces, resultando en una capa aeróbica directamente fuera de las raíces (Fig. 1). Esta capa oxidada en la superficie de las raíces puede ser benéfica porque se reduce la absorción de algunos productos reducidos y tóxicos del suelo, pero por otra parte es perjudicial porque se reduce la absorción de nutrientes tales como el P que es fijado por el Fe oxidado antes de entrar en las raíces. En vez de O_2 , hay una concentración alta de CH_4 (15-75%), N_2 (10-95%) y CO_2 (1-20%). Una concentración alta de CO_2 (más de 15%) puede dañar la planta, reduciendo la absorción de nutrientes y el crecimiento de las raíces. La toxicidad de CO_2 es posible en suelos con alto contenido de M.O.

2. Cambios físicos:

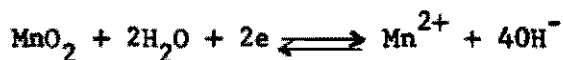
Dispersión de la arcilla, una temperatura baja y menos fluctuaciones en la temperatura.

3. Cambios físico-químicos:

La inundación resulta en un suministro de O_2 muy lento; los microorganismos aeróbicos consumen todo el O_2 en el suelo y mueren. Los microorganismos anaeróbicos se multiplican muy rápido, y descomponen la M.O., utilizando compuestos oxidados del suelo como captadores de electrones. Entonces los

compuestos oxidados como nitratos, MnO_2 , Fe_2O_3 , sulfatos y varios productos orgánicos son reducidos. Esto resulta en:

- (a) Cambio del pH (Fig. 2). En suelos alcalinos el pH disminuye hasta 7.0-7.5 debido a un aumento de concentración de CO_2 ; en suelos ácidos el pH aumenta hasta 6.5-7.0 debido a la reducción de MnO_2 y Fe_2O_3 :



En ambos casos el pH de equilibrio es casi neutro.

- (b) Aumento de la conductividad debido a la producción de Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ . Más tarde la conductividad baja por la precipitación de Fe^{2+} como $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y FeS .

- (c) Disminución en el potencial redox, Eh. Para una reacción:

Oxidante + ne \rightleftharpoons Reductor. La ecuación de Nerst dice: El

$$\text{Eh} = \text{Eo} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{(\text{Ox})}{(\text{Red})} = \text{Eo} + \frac{0.059}{n} \log \frac{(\text{Ox})}{(\text{Red})}$$

Eo es el potencial redox standard.

Eo = Eh cuando (Ox) = (Red).

Entonces, el Eh es una medida del estado de reducción porque cambia con la relación de (Ox)/(Red). En un suelo oxidado, la concentración de oxidantes es más alta que la concentración de reductores, y el Eh es alto. El Eh baja cuando el suelo se reduce (Fig. 3). También, el Eh se afecta por la formación de iones complejos y por el pH. Por ejemplo, para la reacción:



$$\text{Eh} = \text{Eo} - \frac{0.059}{2} \log (\text{Mn}^{2+}) - \frac{4 \times 0.059}{2} \text{pH}$$

Entonces el Eh baja cuando el pH aumenta. Para determinar que compuestos son reducidos primero, hay que corregir el Eo a un pH constante de 7. Los compuestos con un Eo^7 (Eo corregido a pH 7) alto se reducen primero. Los compuestos más comunes en el suelo se reducen en el orden siguiente:

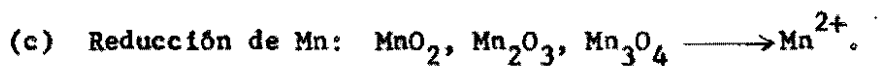
	<u>Eo</u>	<u>Eo⁷</u>
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	1.23	0.83
$NO_3^- + H_2O + 2e \rightleftharpoons NO_2^- + 2OH^-$	0.83	0.43
$MnO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$	1.23	0.41
$Fe(OH)_3 + e \rightleftharpoons Fe^{2+} + 3OH^-$	1.06	-0.13
$CH_3CHO + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons CH_3CH_2OH$	0.22	-0.19
$SO_3^{2-} + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons S^{2-} + 6OH^-$	-0.61	-0.20
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e \rightleftharpoons SO_3^{2-} + 2OH^-$	-0.90	-0.49

Entonces después del consumo de todo el O_2 , los nitratos se reducen primero, manteniendo un alto Eh. Los nitratos se reducen a nitritos y después a N_2 y N_2O , que son gases que se pierden en el ambiente. Al mismo tiempo el MnO_2 se reduce a Mn^{2+} pero debido a una solubilidad baja del MnO_2 , el efecto sobre el Eh es menor que el de los nitratos. Cuando los nitratos y el MnO_2 están reducidos el Eh se baja por la reducción de Fe_2O_3 a Fe^{2+} . En un suelo con alto contenido de Fe_2O_3 , como los oxisoles, el Eh se mantiene a más ó menos + 100 mV, que es el Eh para la reducción de Fe_2O_3 . En suelos con poco Fe_2O_3 el Eh puede bajar hasta -100 a -200 mV en donde ocurre la reducción de los sulfatos a S^{2-} . Si no hay mucho Fe^{2+} para la precipitación como FeS , la concentración de S^{2-} puede aumentar suficientemente para ser tóxico. La rata de reducción (baja de Eh), depende del Eh inicial del suelo, el contenido de M.O., la temperatura, y el contenido de captores de electrones. Un contenido alto de M.O. aumenta la rata de reducción. Una alta concentración de NO_3^- , Fe y Mn reduce la rata de reducción.

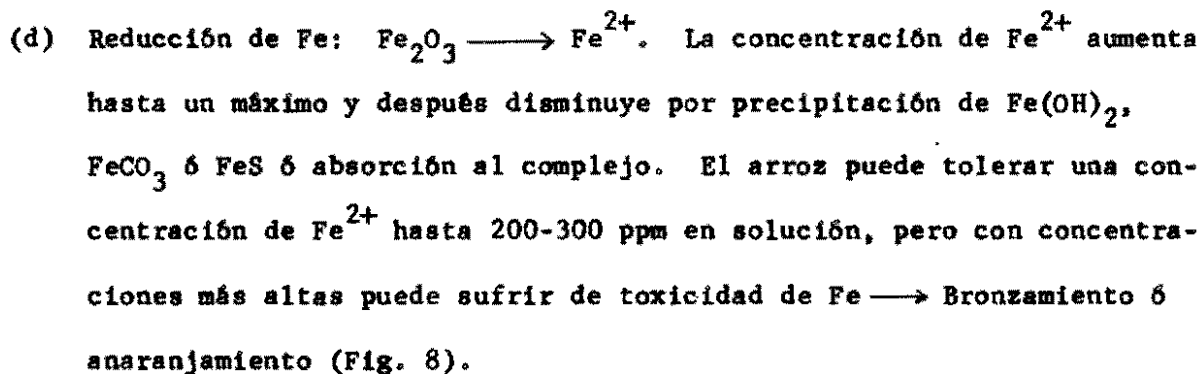
4. Cambios químicos:

- (a) Acumulación de NH_4^+ : Por falta de O_2 la M.O. esta mineralizada únicamente hasta NH_4^+ , y no hasta NO_3^- . Suelos con alto contenido de M.O. pueden acumular más de 300 ppm de NH_4^+ después de la inundación (Fig. 4).
- (b) Desnitrificación: $NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow N_2O$ o N_2 ; se pueden perder

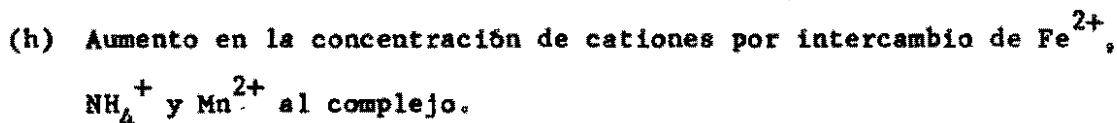
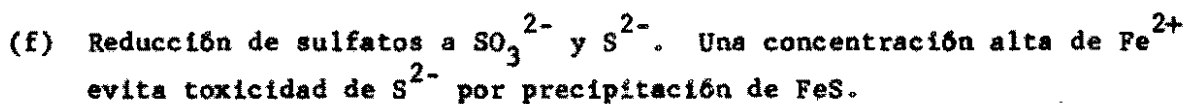
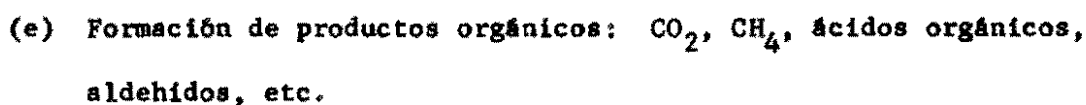
20-300 kg N/ha/año (Figs. 5 y 6).



La concentración de Mn^{2+} normalmente aumenta en las primeras semanas y después baja (Fig. 7).



En suelos alcalinos la inundación aumenta la concentración de Fe^{2+} en solución y reduce problemas de deficiencia de Fe.



CONCLUSIONES

El periodo de reducción más intenso es en las primeras 2-6 semanas después de la inundación. Entonces, en suelos con muy poco drenaje y alto contenido de M.O. ó Fe se pueden evitar problemas de toxicidad de CO_2 ó Fe, sembrando 4-6 semanas después de la inundación. En suelos con bajo contenido de M.O. es mejor sembrar en las primeras dos semanas de inundación para aprovechar el aumento en la disponibilidad de Fe, Mn, P, Si y K.

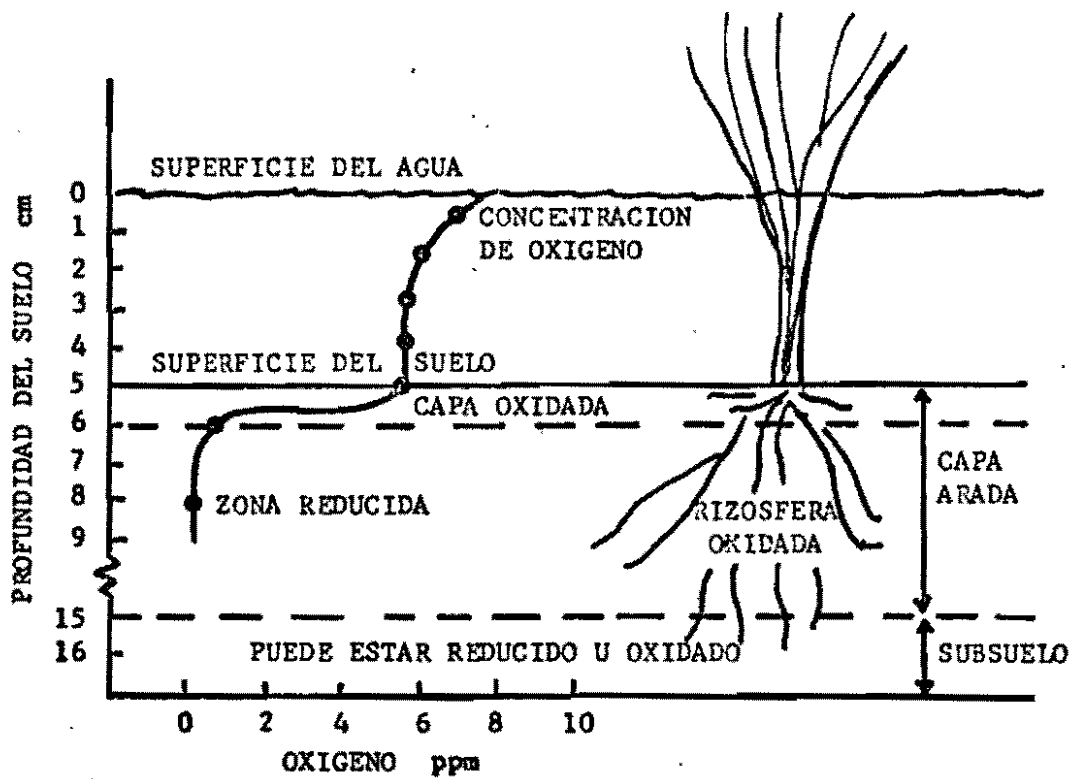
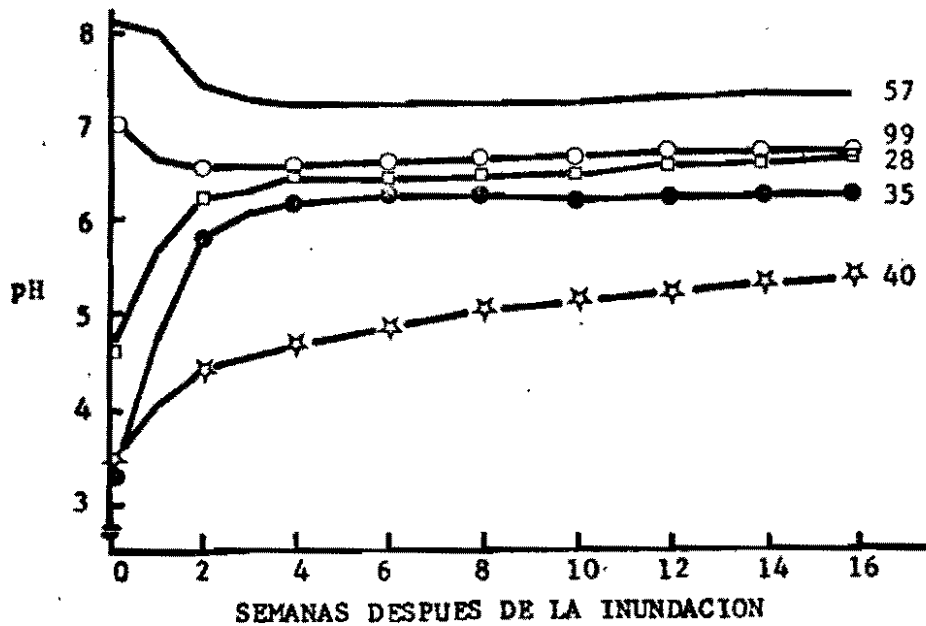


Fig 1. Las zonas oxidadas y reducidas en un suelo inundado.



No.	pH	% M.O.	% Fe	% Mn
57	8.7	2.2	0.63	0.07
99	7.7	4.8	1.55	0.08
28	4.9	2.9	4.70	0.08
35	3.4	6.6	2.60	0.01
40	3.8	7.2	0.08	0.00

Fig 2. Los cambios del pH en varios suelos después de la inundación.

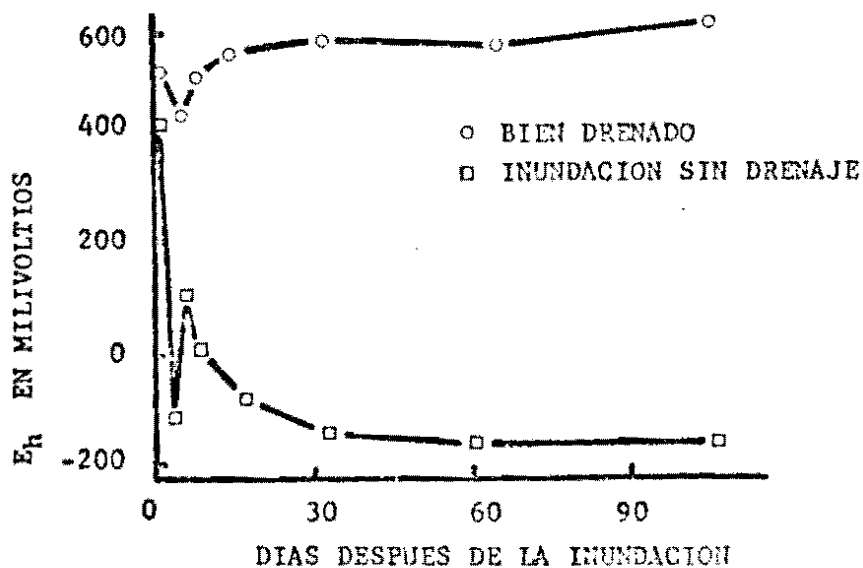


Fig. 3A.- Los cambios del potencial redox en suelos aerobicos y anaeróbicos después de la inundación.

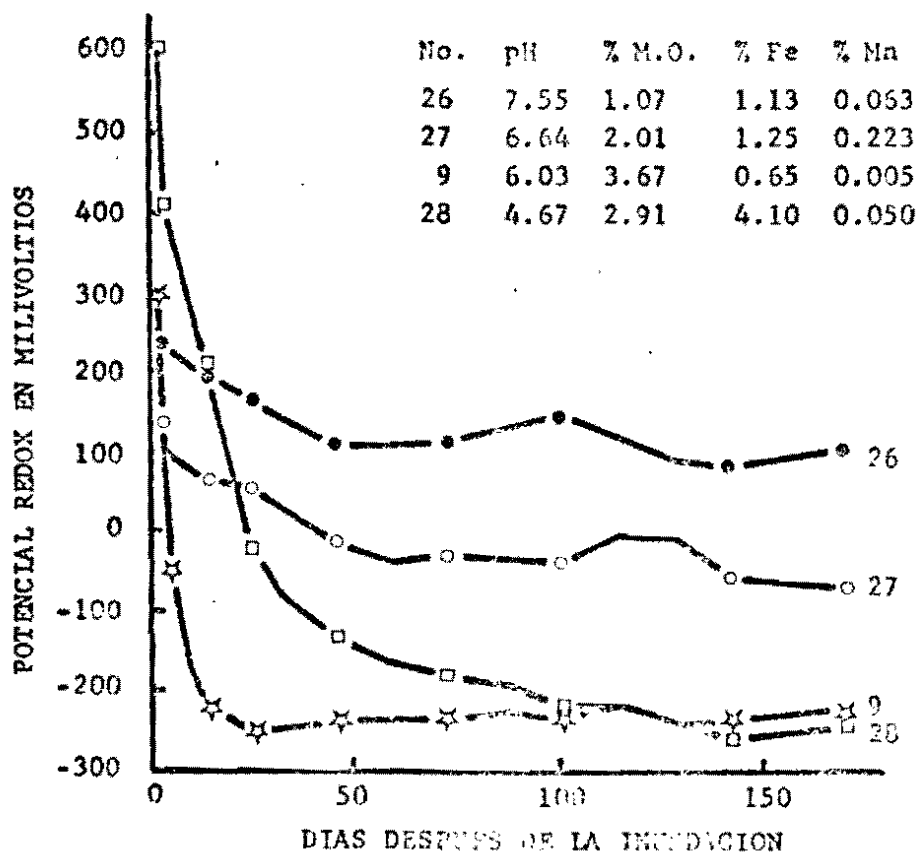


Fig. 3B.- Los cambios del potencial redox, en varios suelos después de la inundación.

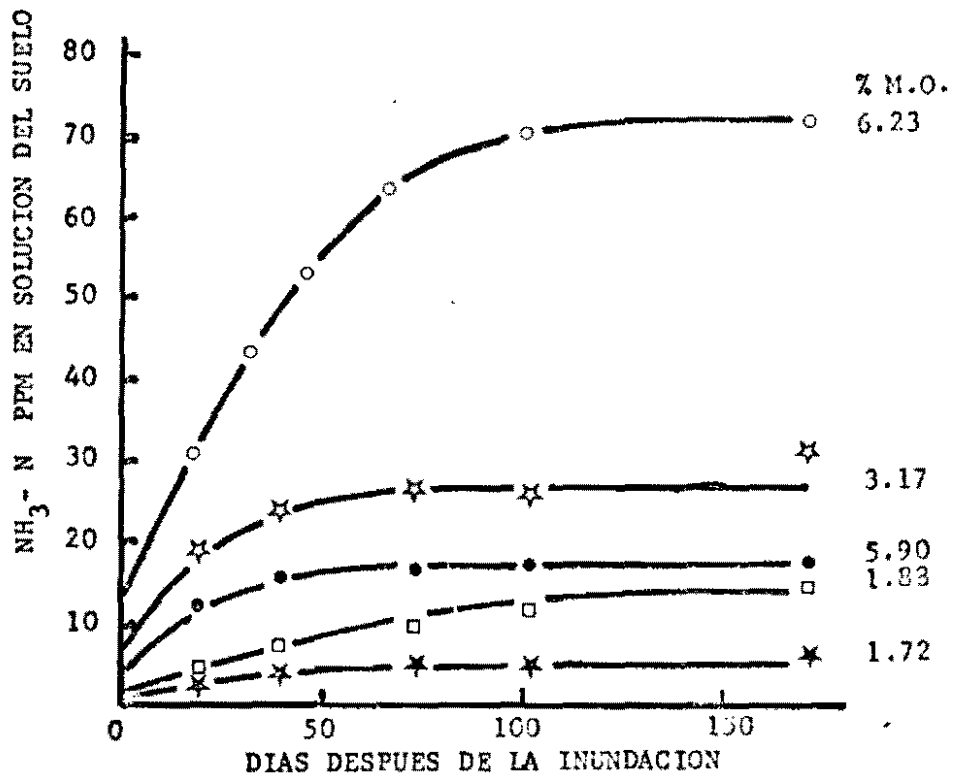


Fig. 4.- Los cambios en la concentración de amoníaco en la solución de varios suelos después de la inundación.

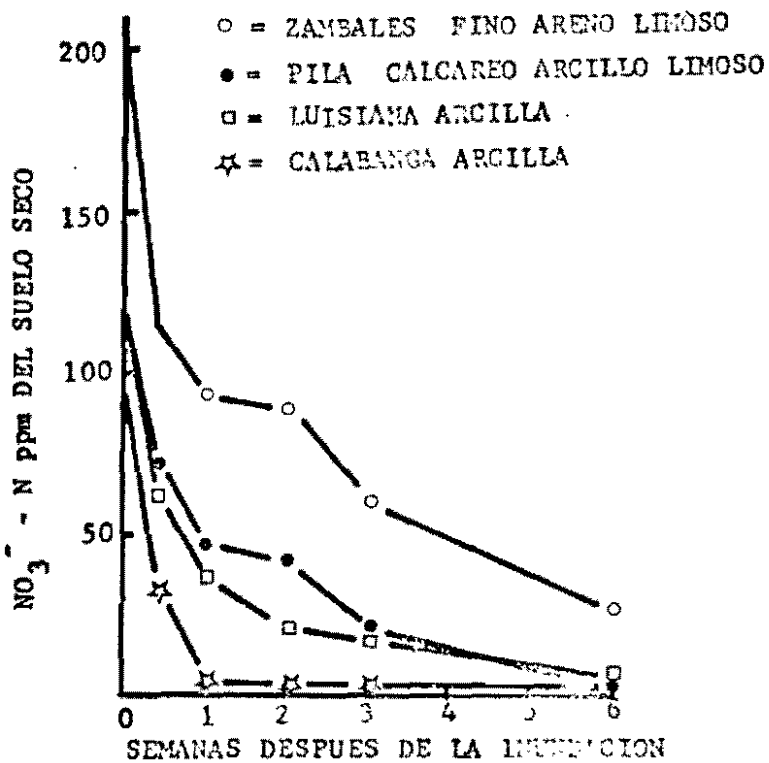


Fig. 5.- Los cambios en la concentración de nitratos en la solución de varios suelos después de la inundación.

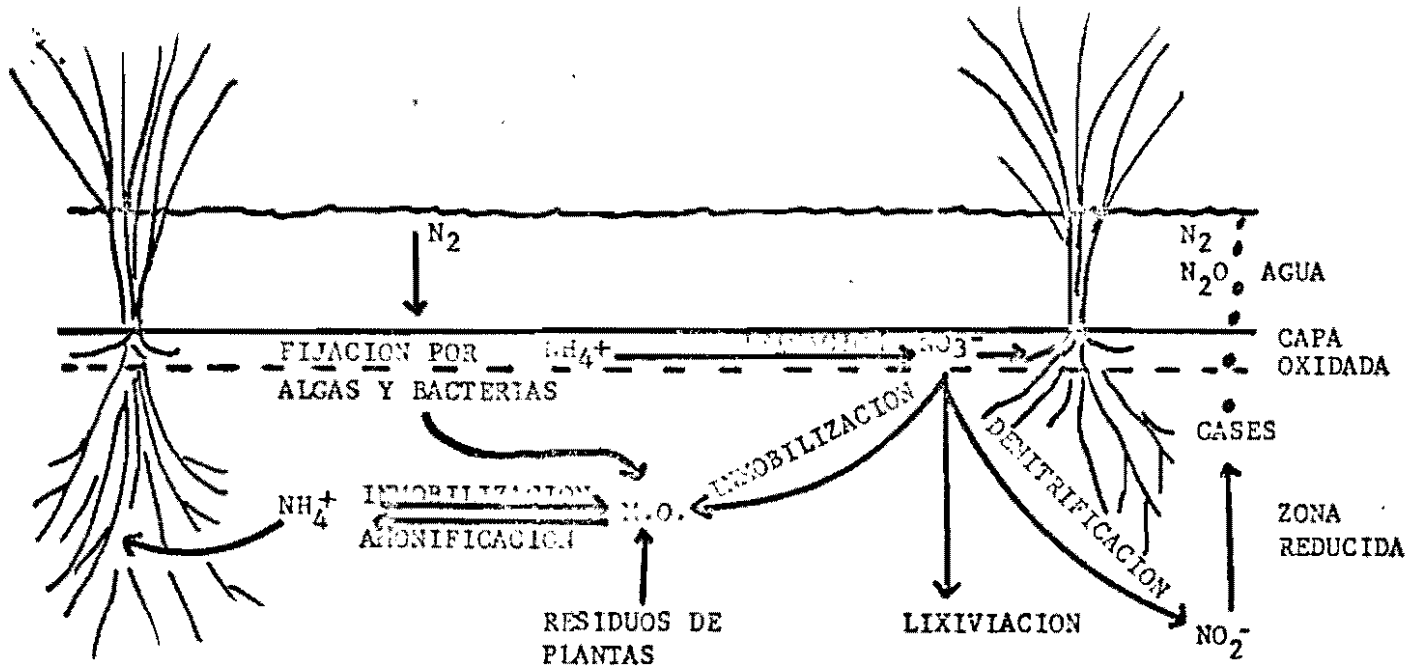


Fig. 6.- Las transformaciones de nitrógeno en un suelo inundado.

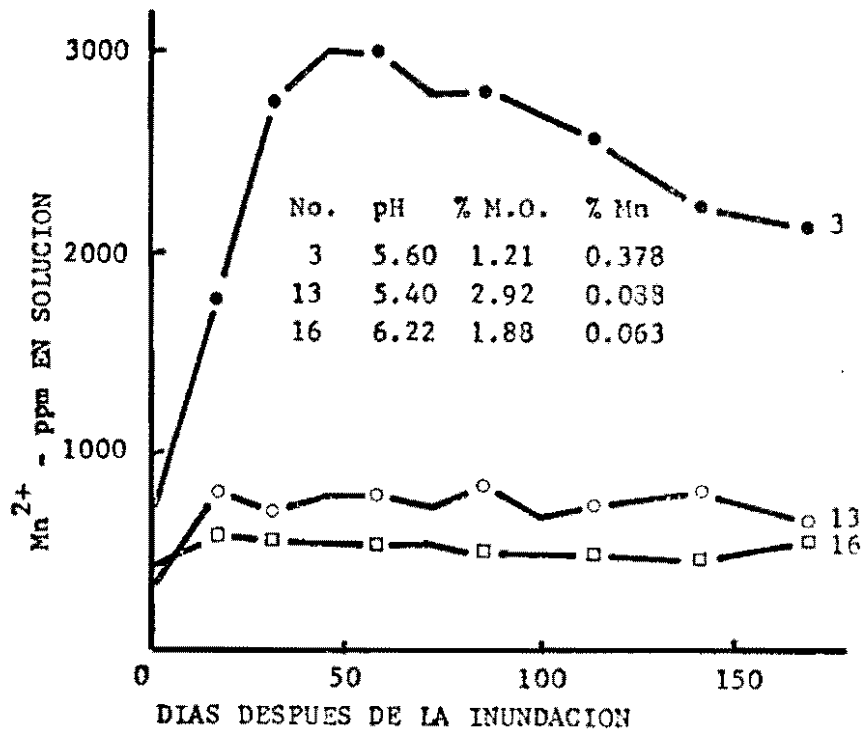


Fig. 7.- Los cambios en la concentración de Mn en la solución de varios suelos después de la inundación.

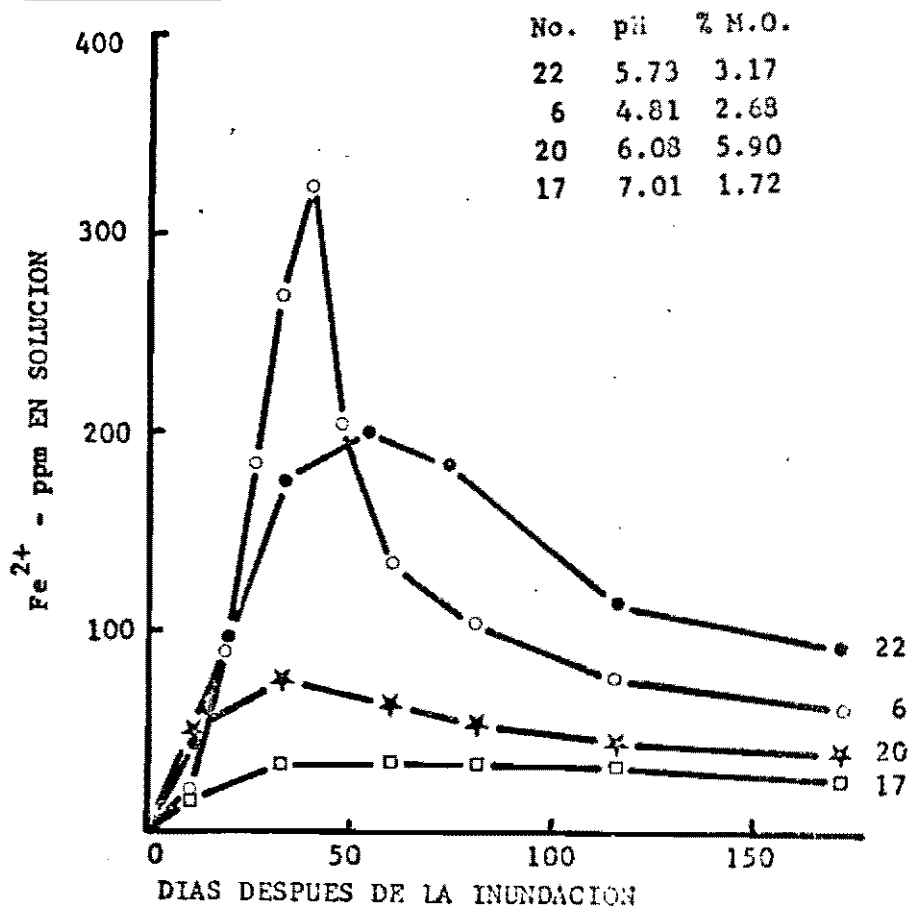


Fig. 8.- Los cambios en la concentración de Fe en la solución de varios suelos después de la inundación.

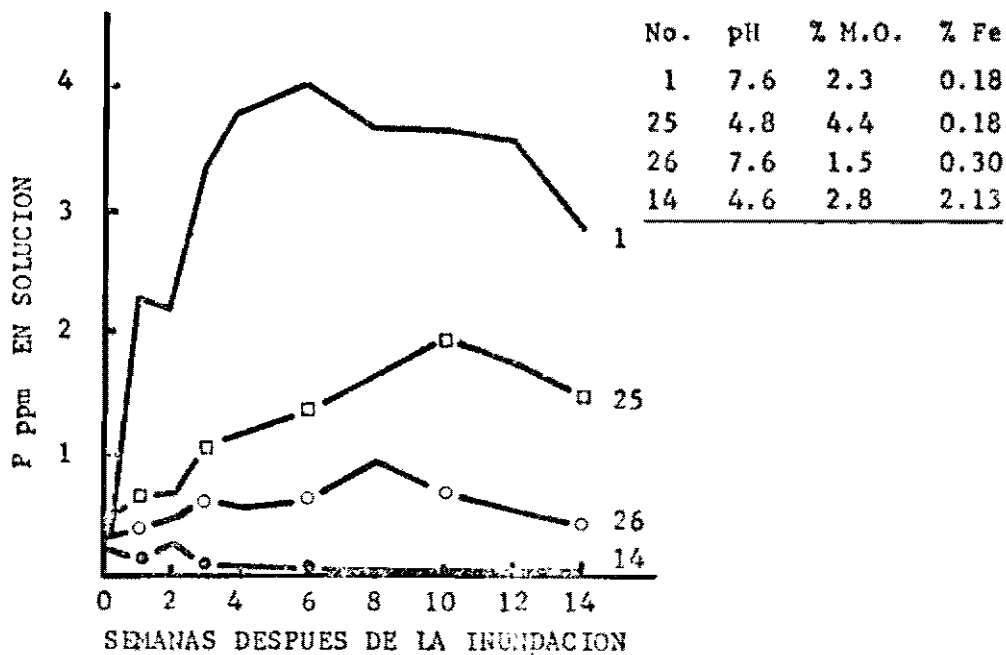


Fig. 9.- Los cambios en la concentración de P en la solución de varios suelos después de la inundación.