

INFLUENCIA DE LA MICROFLORA DEL SUELO Y DE LAS FUENTES DE CARBONO SOBRE LA SOLUBILIZACION DEL APATITO DE ARAXA *

PAULO DE C. T. DE CARVALHO **; JOCELEM M. SALGADO **

1. INTRODUCCION

Aunque el fósforo sea uno de los nutrientes esenciales en nutrición vegetal y sobre él se hayan realizado numerosas investigaciones, la química del fósforo en el suelo sigue presentando conocimientos muy incompletos. En la naturaleza se puede presentar el fósforo en el suelo, como fosfatos en solución edáfica, forma en que puede ser absorbido por los vegetales. Debido a la fuerte absorción de los fosfatos, su concentración en la solución edáfica es muy baja, puesto que gran parte de los fosfatos añadidos al suelo, se quedan absorbidos como fósforo de cambio. La otra parte de los fosfatos añadidos al suelo, se presenta como fósforo no cambiante, en forma orgánica o mineral.

Los microorganismos participan activamente en el ciclo del fósforo en el suelo. En razón de su activo metabolismo, pueden actuar sobre el fósforo de cambio y desplazarlo para la solución edáfica, en el proceso conocido por movilización. Por otro lado, pueden inmovilizar el fosfato de la solución edáfica, formando compuestos orgánicos e incorporándoles en su talo (1, 12, 16). Esta forma de fijación biológica es, generalmente, muy importante, como evidencia el hecho de que la mayor parte del fosfato no cambiante del suelo se encuentra en forma orgánica (1, 12).

* Investigación patrocinada por la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Sao Paulo)

** da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de Sao Paulo.

En Brasil, donde predominan los suelos ácidos, el fósforo solución edáfica es fijado por precipitación, en forma de fosfatos de hierro y de aluminio, para formar la fracción mineral del fósforo no cambiante del suelo, que a su vez, puede ser solubilizado por acción microbiana, siendo frecuente en los suelos, la presencia de microorganismos solubilizadores (5, 9, 15).

Los fosfatos naturales pueden ser utilizados como abonos, sin embargo la respuesta de las plantas es muy variable y los resultados dependen de factores edáficos, ambientales, biológicos y otros (4, 5, 11, 12, 16).

En lo concerniente a la microbiología del suelo, los efectos de la adición de la materia orgánica son muy importantes, pues influye favorablemente en la solubilidad del fósforo y disminuye la fijación para el aluminio e hierro (2). Este efecto ha sido inicialmente, interpretado como la formación de complejos de aluminio e hierro por ciertos ácidos orgánicos presentes durante la humificación, pero hoy se acepta que la solubilización resulta de la activación de la microflora, por adición de materia orgánica (5, 8, 11, 12). El efecto de la materia orgánica está en la dependencia de la variación del pH, de la relación C/N, de la clase de materia orgánica, tipo de fosfatos y de muchos otros factores (1, 2, 4, 5, 11, 12, 16).

En la presente investigación, se estudian algunos aspectos concernientes a la influencia de diferentes fuentes de carbono en la solubilización del apatito de Araxá, con vistas a la utilización como abono en la agricultura, una mezcla de residuos industriales ricos en carbono orgánico y fosfato natural.

2. MATERIALES Y METODOS

En los experimentos se ha utilizado un suelo latosol rojo coleccionado en el municipio de Piracicaba, Estado de Sao Paulo, Brasil, originalmente cultivado con plantas hortícolas. El suelo fue tamizado (en tamiz de 2 mm) y secado al aire.

Como fuentes de carbono, se utilizaron los residuos de la fabricación del café soluble, un abono orgánico a base de lignito y sacarosa, (ésta como patrón) y, siendo las fuentes de carbono añadidas en base de 49 por cada 100 gramos de suelo. El fosfato natural elegido fue el apatito de Araxá, Estado de Minas Gerais, Brasil, que presentó un nivel de 33,5% de P_2O_5 total, y 5% de P_2O_5 soluble en ácido cítrico a 2% soluble en relación 1:100. Las tablas núm. 1 y 2, pre-

sentan las características del suelo y de las fuentes de carbono utilizadas en los ensayos.

CUADRO NUM. 1: ANALISIS DEL SUELO LATOSOL-ROJO UTILIZADO EN LOS EXPERIMENTOS

pH	Contenido cambiabile en miliequivalentes/100 g de suelo						
	Carbono	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Aluminio	Hidrógeno
Valor	%	PO ₄	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺	H ⁺
5,6	1,44	0,332	0,27	5,44	1,52	0,112	4,128

CUADRO NUM. 2: CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES DE CARBONO UTILIZADAS EN LOS EXPERIMENTOS

Fuente de Carbono	C%	N%	P ₂ O ₅ %	K ₂ O%	C/N
Borra de café	48,20	1,91	0,170	0,012	25:1
Lignito	49,93	3,00	0,500	0,500	17:1
Sacarosa	40,0	—	—	—	—

Los tratamientos se practicaron en el suelo con y sin apatito y con las fuentes de carbono adicionadas una a una. Para cada tratamiento, fue hecha una incubación del suelo, en temperatura ambiental y con el suelo en 80% de su capacidad de campo, controlada todos los días. El fósforo en la solución edáfica fue determinado semanalmente durante 5 semanas con 2 repeticiones por semana, siendo empleado el método de la reducción del fosfomolibdato amónico por el ácido ascórbico (13).

Para los mismos tratamientos del suelo y fuentes de carbono, fue utilizado el método de Neubauer modificado por Catani (7) con vistas al estudio de la utilización del fósforo por las plantas de arroz. Para cada tratamiento se realizaron 6 repeticiones a fin de posibilitar el análisis estadístico de los datos. La recolección de la cosecha se practicó 18 días después de la germinación de las semillas de arroz, obtenido el peso seco de las plantas y determinado el fósforo total de las plantas de cada tratamiento.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, se presentan en los cuadros núms. 3, 4, 5 y 6.

CUADRO NUM. 3: INFLUENCIA DE LAS FUENTES DE CARBONO EN LA MOBILIZACION O INMOBILIZACION DEL FOSFORO DEL SUELO, EN UG DE P_2O_5 POR ML. DE LA SOLUCION EDAFICA

Tratamiento	Semana				
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a
Borra de café	(I)0,085	0,000	0,000	0,000	0,000
Lignito	0,840	0,375	0,137	0,100	0,200
Sacarosa	2,640	2,485	1,767	2,112	1,700
Testigo	0,110	0,000	0,000	0,000	0,000

(I) solamente en este tratamiento hay inmovilización superior a la movilización.

CUADRO NUM. 4: INFLUENCIA DE FUENTES DE CARBONO EN LA SOLUBILIZACION DEL APATITO DE ARAXÁ (EN UG DE P_2O_5 POR ML. DE LA SOLUCION EDAFICA)

Tratamiento	Semana				
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a
Borra de café	1,122	0,487	0,500	0,350	0,175
Lignito	2,560	0,812	0,225	0,175	0,187
Sacarosa	1,960	1,379	0,908	0,613	*
Testigo	1,220	0,772	0,325	0,140	0,175

* parcela perdida por accidente

CUADRO NUM. 5: INFLUENCIA DE LAS FUENTES DE CARBONO SOBRE EL PH DEL SUELO

Tratamiento	Variación de pH durante la incubación
Borra de café	7,3 — 7,5
Lignito	7,4 — 7,6
Sacarosa	5,2 — 6,4
Testigo	5,3 — 5,6

La sacarosa

La borra de café y lignito alcalinizaron el suelo

El suelo-testigo no cambió con 5 semanas de incubación

CUADRO NUM. 6: INFLUENCIA DE FUENTES DE CARBONO Y DEL APATITO DE ARAXA, EN LA ABSORCION DEL FOSFORO POR PLANTAS DE ARROZ. CON EMPLEO DEL METODO DE MICRO-NEUBAUER

Tratamiento	peso seco en mg	P ₂ O ₅ en mg/g	P ₂ O ₅ total p/planta en mg
Suelo + Apatito + borra	0,6354	3,80	2,4146
Suelo + Apatito	0,6185	3,50	2,1650
Suelo	0,6320	3,40	2,1490
Suelo + Apatito + lignito	0,5316	3,70	1,9670
Suelo + borra	0,6508	2,90	1,8876
Suelo + Apatito + Sacarosa **	0,4830	3,40	1,6425
Suelo + Sacarosa	0,5057	3,20	1,6185
Suelo + lignito	0,5733	2,70	1,5481

* Todos los datos son un promedio de 6 repeticiones

** La sacarosa presentó problemas de fitotoxicidad

C. V. = 1,43%

DMS (Tukey 5%) = 0,0030

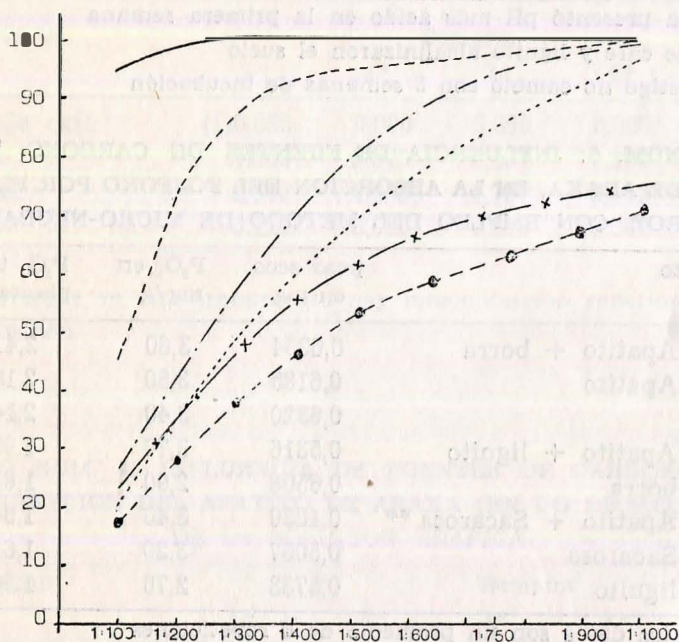
4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Aunque la utilización del Apatito de Araxá como materia prima en la obtención del ácido fosfórico es indiscutible, su utilización directa como abono en la agricultura sigue siendo cuestionable, en razón de su baja solubilidad lo que hace que el apatito se quede en el suelo como fosfato no cambiante. Comparado con otras rocas fosfáticas (4,14) presenta la solubilidad más baja, conforme se puede verificar en el gráfico núm. 1. Pero la adición de materia orgánica y

Gráfico núm. 1

SOLUBILIDAD DE FOSFATOS NATURALES

% DEL
P₂O₅ TOTAL



.Relacion fosfato acido citrico a 2%

(SEGUN M.O.C. BRASIL, F.A.F. MELLO e T. COURY)

- Termofosfato
- Hiperfosfato
- Fosfato da Flórida
- Fosforito de Olinda
- x — x — Fosfato Alvorada
- - - - • Apatita do Araxá

fosfatos simultáneamente en el suelo, puede activar la microflora solubilizadora (1, 11, 16), resultando en aumento del fosfato cambiante.

Por otro lado, la obtención de materia orgánica en cantidad, es muy difícil y costosa para los agricultores, visto que solamente los restos de cosecha o el estiércol, en general, son insuficientes. En los trópicos, donde la degradación de la materia orgánica es muy rápida, todavía es más difícil, su incorporación a los suelos. Tenemos, pues, que investigar todas las fuentes de carbono, procurando otras fuentes, que sean económicas y disponibles en cantidad.

En la presente investigación, elegimos el residuo de la fabricación de café soluble y el lignito, que son abundantes y muy poco utilizados. La sacarosa fue incluida como patrón, por haber sido estudiada su acción sobre los microorganismos solubilizadores (7, 10).

En el cuadro núm. 3, se presentan los resultados obtenidos en la movilización del fósforo cambiante, expresado en términos de ug de fosfatos en la solución edáfica, para el suelo incubado durante 5 semanas, sin adición de apatito y los datos presentados son un promedio de 2 repeticiones. Se puede observar que, en la primera semana, para todos los tratamientos, se obtuvo el nivel máximo, el cual baja en las semanas siguientes, lo que sugiere o inmovilización microbiana o absorción como fósforo cambiante (1, 12).

La sacarosa fue el tratamiento que presentó los mejores niveles de fósforo en la solución edáfica hasta la 5.^a semana. El lignito que la misma tendencia de la sacarosa, pero, en niveles inferiores, y la borra de café presentó absorción e inmovilización ya en la primera semana, bajando a nivel cero en la solución edáfica a partir de la segunda semana, igual a lo que ocurrió con el testigo.

C

ocurre igual, pero, lógicamente, el nivel fósforo es mucho mayor en la solución edáfica. En la primera semana el lignito presentó el nivel máximo pero fue sobrepasado la sacarosa como por la borra de café.

En los suelos incubados con borra de café y lignito, conforme nos muestra el cuadro núm. 5, hubo elevación del pH, de manera similar a la que fue observada por otros investigadores respecto a otras fuentes de carbono sugiriéndose la formación de humatos alcalinos (10). De la misma manera, fue observada una correlación inversa entre nivel de fósforo en la solución edáfica y pH, pues, a cada aumento del nivel de fósforo corresponde una disminución del pH, conforme habían señalado otros investigadores (4, 11, 16).

Aunque se obtuvieron resultados positivos con la incubación del suelo incorporándole fuentes de carbono y apatito, los resultados concernientes a la absorción del fósforo por las plantas no siempre resultaron favorables. En este experimento fue utilizado el método de micro-Neubauer, desarrollado por CATANI (7), método que demostró ser adecuado para estudio de suelos tropicales (6). El examen del cuadro núm. 6, indica que solamente los tratamientos suelo + borra de café + apatito y suelo + apatito, fueron superiores estadísticamente al suelo + testigo.

Una explicación de estos resultados es que, siendo la materia orgánica muy pobre en fósforo y otros nutrientes, su adición aislada estimularía una competición entre microorganismos y planta, disminuyendo el desarrollo de los vegetales. Excluyendo los dos tratamientos con sacarosa, los cuales presentaron problemas de fitotoxicidad, y por tanto, no pueden ser considerados, los peores tratamientos son los que han recibido materia orgánica sola, a saber, los tratamientos suelo + borra de café y suelo + lignito.

Resultado no explicable, fue el tratamiento suelo + apatito + lignito, al haber sido inferior al suelo testigo. Este punto debe recibir atención y deberá ser tema de nuevas investigaciones.

RESUMEN

Dentro de un programa de estudios sobre la microbiología de los fosfatos en suelos tropicales, se estudia en el presente trabajo, la influencia de la microflora y de las fuentes de carbono, en la solubilización del apatito de Araxá, Estado de Minas Gerais, Brasil.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se deducen las siguientes conclusiones:

1. De la adición de sacarosa y lignito en el suelo, por causa de la activación de la microflora del suelo, resultó un aumento del nivel de fósforo en la solución edáfica, sugiriendo una movilización del fósforo cambiante. La adición de borra de café al suelo no aumentó ese nivel.

2. En suelos donde hubo la adición de apatito, la borra de café, el lignito y la sacarosa aumentaron mucho el nivel de fósforo en la solución edáfica, indicando la solubilización del apatito como resultado de la activación de la microflora solubilizadora

3. En todos los tratamientos, ese aumento fue importante en la primera semana, disminuyendo en las siguientes, probablemente debido a la inmovilización microbiana y la fijación química del fósforo. En la 5.^a semana, era nitida la tendencia de retorno del nivel del fósforo en la solución edáfica a sus niveles originales.

4. En lo concerniente a la utilización del fósforo por las plantas, se obtuvieron resultados estadísticamente significativos, tanto en el peso se-

co como en el nivel de fósforo total en las plantas. Por orden decreciente los mejores tratamientos fueron:

Suelo + apatito + borra de café

Suelo + apatito

Suelo

Suelo + apatito + lignito

Suelo + borra de café

Suelo + apatito + sacarosa

Suelo + sacarosa

Suelo + lignito

La sacarosa presentó problemas de fitotoxicidad.

SUMMARY

The research presented is a part of a general program on studies of microbiology of phosphates in tropical soils. Specifically, the research concerns the influence of soil microflora and carbon sources upon the solubility of rock phosphate (apatite) from Araxá in the State of Minas Gerais, Brazil.

The following conclusions are made on the basis of the results:

1. The addition of sucrose, and lignite to the soil, stimulated the activity of soil microflora and resulted in an increase in the level of phosphate in soil solution, suggesting mobilization of the exchangeable phosphate.

2. In soils to which apatite, coffee residue, lignite and sucrose were added, the level of soluble phosphate increased, indicating the solubility of apatite caused by the activity of phosphate solubilizing microorganisms.

3. In all of the treatments, this increase was much greater in the first week, diminishing in the following weeks. This was probably due to the microbe immobilization and chemical fixation of the phosphate. By the 5th week it was clear that level of phosphate in the soil solution returned to the original level.

4. In respect to the utilization of phosphate by plants, the results were statistically significant, in the dry weight as well as the total phosphate in the plants. In descending order the best treatments were:

Soil + apatite + coffee residue

Soil + apatite

Soil

Soil + apatite + lignite

Soil + coffee residue

Soil + apatite + sucrose*

Soil + sucrose

Soil + lignite

* The sucrose was fitotoxic.

BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M., 1965.—Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons Inc. N. Y.
2. BRADLEY, D. B. & D. H. SIELING, 1953.—Effect of organic anions and sugars on phosphate precipitation by iron and aluminium as influence by pH. *Soil Sci.* 76: 175.
3. BRASIL, M. O. C., F. A. F. MELLO y T. COURY, 1965.—Estudos sobre a solubilidade de fosfatos em ácido cítrico a 2%. *Anais da ESALQ/USP*, 22: 104-109.
4. CARVALHO, P. C. T., A. F. EIRA y D. PELLEGRINO, 1969.—Solubilização quantitativa de fosfatos insolúveis, por algumas espécies dos géneros *Aspergillus* e *Penicillium* *Anais da ESALQ/USP*, 26: 173-185.
5. CASIDA, L. E. Jr., 1959.—Phosphatase-activity of some common soil fungi. *Soil Sci.* 87: 305-310.
6. CATANI, R. A. y O. C. BATAGLIA, 1968.—Formas de ocorrência do fósforo no solo latosólico-roxo. *Anais da ESALQ/USP*, 25.
7. CATANI, R. A. y H. BERGAMIN F.º, 1961.—Sobre uma modificação no método de Neubauer. *Anais da ESALQ*, 18: 287-300.
8. DALTON, L. D., G. C. RUSSEL y D. H. SIELING, 1952.—Effect of organic matter on phosphate availability. *Soil. Sci.* 73: 173-181.
9. EIRA, A. F. y P. C. T. CARVALHO, 1970.—Levantamento de microrganismos solubilizadores de fosfatos. *Rickia*, 5: 111-124 .
10. EIRA, E. F. y P. C. T. CARVALHO, 1970.—A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e sua influência nas variações do pH. *Rev. Agric. (SP)*, 45: 15-21.
11. EIRA, A. F. y P. C. T. CARVALHO, 1971.—A fonte de carbono como factor de solubilização de fosfatos naturais pela microflora do solo. *Anais do III Congr. Brasil. Microbiologia*, 3: 185-186.
12. DOMMERMES, Y. y F. MANGENOT, 1970.—Écologie microbienne du sol. Masson et Cie, Paris.
13. JACINTHO, A. O., R. A. CATANI y A. PIZZINATO, 1969.—A determinação do teor total de cobre, ferro, alumínio, manganês e fósforo do solo. *Anais da ESALQ/USP*, 26: 157-172.
14. LEHR, J. R. y G. H. McCLELLAN, 1972.—A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct applications. *Bulletin y-43 Tennessee Valley Authority, Al. USA*.
15. RAMOS, A., V. CALLAO y P. C. T. CARVALHO, 1968.—La solubilización de fosfatos por hongos del suelo. *Microb. Española*, 21: 23-37.
16. TARDIEUX-ROCHE, A. 1966.—Contribution a l'étude des interactions entre phosphates naturels et microflore du sol *Ann. Agron.* 17: 403-471.