

**FERTILIDAD DE LOS TEPETATES. II.  
SITUACION DEL FOSFORO Y DEL POTASIO EN TEPETATES  
DE MEXICO Y TLAXCALA (MEXICO)**

**The Fertility of the Tepetates. II.  
Phosphorus and Potassium in Tepetates of Mexico and Tlaxcala (Mexico)**

**Jorge D. Etchevers B.<sup>1</sup>, Claude Zebrowski <sup>2</sup>, Claudia Hidalgo M.<sup>1</sup> y Paul Quantin <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

<sup>2</sup> ORSTOM, Mex., México.

<sup>3</sup> ORSTOM, Bondy, Francia.

**Palabras clave:** Suelos volcánicos endurecidos, Suministro nutrimental, Dinámica nutrimental, Fósforo, Potasio.

**Key words:** Indurated volcanic soils, Nutrient supply, Nutrients dynamics, Phosphorus, Potassium.

**RESUMEN**

La mayoría de los suelos son incapaces de suministrar todos los nutrimentos necesarios para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas o las cantidades demandadas por éstas. Por ello, para asegurar el manejo apropiado de la nutrición de los cultivos, es necesario evaluar la disponibilidad actual y la capacidad de suministro nutrimental a futuro que posee un suelo, así como los cambios que experimentan los nutrimentos que le son adicionados como fertilizante. Dos elementos esenciales son de particular interés en el caso de los tepetates: fósforo y potasio. El primero por encontrarse en cantidades insuficientes en estos materiales y el segundo por presentar niveles muy superiores a los normales. Se consideró que por ser el

nitrógeno un elemento universalmente deficiente en los tepetates no había razón para estudiar su situación. Se seleccionaron 12 tepetates que habían sido cultivados por periodos que iban de 1 a 16 años, representativos de aquéllos existentes en los estados de México y Tlaxcala (asociados a las series estratigráficas T2 y T3), y los materiales relacionados con estos tepetates, ubicados en sitios adyacentes, que nunca habían sido cultivados, los cuales se usaron como referencia. En ellos se estudió, en laboratorio, las diferentes fracciones relacionadas con los sistemas fósforo y potasio en el suelo, la disponibilidad de ambos y la dinámica de estos elementos cuando se adicionan al suelo en forma soluble. El contenido de fósforo total, así como la fracción disponible, fueron extremadamente bajos en los tepetates sin cultivar o cultivados por pocos años. Pero el fósforo disponible aumentó con los años de cultivo como consecuencia de las aplicaciones anuales de fertilizante fosfatado que hacen los agricultores. Las tasas de las reacciones de adsorción rápida y lenta de fósforo en los tepetates, muestran que estos materiales son de baja reactividad y que gran parte del fertilizante que no es utilizado por las plantas en el año de aplicación queda en forma disponible para los

cultivos siguientes. En consecuencia no es difícil ni oneroso mejorar la disponibilidad de este elemento para las plantas. Los niveles de potasio intercambiable, así como los de potasio soluble fueron elevados. La capacidad tampón medida en estos tepetates indica que gran parte del potasio intercambiable puede ser extraída como potasio soluble. Esto explica la gran disponibilidad de este elemento.

### SUMMARY

Most of the cultivated soils are unable to supply all the essential elements required for plants optimal growth or the quantity of these nutrients required to reach such a growth. Therefore, the evaluation of present and future nutrient supply conditions by the soil, as well as the evaluation of the changes that undergo fertilizer nutrients applied to the soil are important to proper management of plant nutrition. Two essential elements are of particular interest in the tepetates: phosphorus and potassium. The availability for plant growth of the former is extremely low and the concentrations of the latter are higher than the reported for cropping soils. The nitrogen was considered to be an element universally deficient in tepetates and therefore was not studied in the present work. Twelve tepetate soils cultivated for periods ranging from 1 to 16 years, representative of the tepetates associated to the stratigraphic series T2 and T3 found in the states of Mexico and Tlaxcala were sampled. In addition, samples from adjacent tepetates never been cultivated also were collected as references. The fractions conforming the phosphorus and potassium systems in the soil, as well as the dynamic of these elements when added in a soluble form to the soil were studied in laboratory experiments. Total and available phosphorus contents in non cultivated tepetates or in tepetates cultivated for a short period of time was extremely low. However, the level of available phosphorus increased as the number of

years under cultivation of a tepetate increased. This increment was attributed to the additions of phosphorus fertilizer made year after year by farmers. The rates at which the rapid and slow reactions of phosphorus adsorption proceed in the tepetates show that these materials are not very reactive. In consequence, most of the phosphorus which is not taken up by plants the year of addition remains available for future crops. The exchangeable and soluble forms of potassium in the tepetates were rather high. The potassium buffer capacity measured in this materials shows that a large proportion of the exchangeable potassium can be extracted as soluble form. This explains the high availability of potassium in tepetate soils.

### INTRODUCCION

Los estudios preliminares de capacidad de suministro de nutrimentos de los tepetates, conducidos por Etchevers *et al.* (1991), muestran que estos materiales poseen una baja disponibilidad generalizada de nitrógeno y de fósforo y ocasionalmente de hierro (en el caso de los tepetates con abundante carbonato de calcio), sin embargo, el aporte de potasio y el resto de los elementos esenciales es adecuado, cuando sometidos a un proceso de extracción acelerada mediante el establecimiento de una alta densidad de planta.

Los bajos niveles de nitrógeno (y consecuentemente los de carbono) son explicables porque los tepetates no han sido, al menos en el tiempo presente, profusamente colonizados por plantas, con excepción hecha de aquéllos incorporados a la producción en los años pasados. Para incorporar los tepetates a la producción agrícola, y para su conservación, se requiere aumentar drásticamente los niveles de nitrógeno y de carbono.

Los bajos niveles de fósforo disponible pueden atribuirse a tenores inadecuados de fósforo total, a reacciones químicas que lo hacen inaprovechable para las plantas o a ambas causas. Las

formas en que se encuentra el fósforo en los tepetates y su dinámica no han sido estudiadas con anterioridad. La corrección del déficit de fósforo disponible para las plantas se hace actualmente extrapolando la información disponible para otros suelos de la zona. Aplicaciones anuales de 40 a 80 kg de  $P_2O_5$  por hectárea son comunes. Como la naturaleza de las reacciones del fertilizante fosfatado soluble adicionado a este material son desconocidas y las extracciones por los cultivos son pequeñas, es posible que las recomendaciones de fertilización actuales sean superiores a las cantidades de fósforo que se requiere agregar. La aplicación de niveles de fósforo superiores a la demanda podría traducirse en acumulaciones de este elemento en el suelo, con efectos económicos negativos sobre el productor y sobre la ecología. Cruz y Etchevers (1990) reportaron que una alta proporción de los suelos cultivados de Tlaxcala poseían niveles de fósforo disponible muy superiores a las necesidades de los cultivos que en ellos se establecían, debido a los bajos potenciales de producción, es decir, a la baja demanda nutrimental.

Los niveles adecuados de potasio disponible para el crecimiento de las plantas, se supone que provienen de la descomposición de materiales ricos en este elemento. En efecto, estudios recientes realizados en la fracción gruesa y en láminas delgadas, con una microsonda de electrones, muestran la presencia de minerales potásicos y de concentraciones totales de este elemento compatibles con esa situación (Quantin, 1991. Comunicación personal). Sin embargo, es preciso conocer el tamaño de los "pooles" en que se encuentra el potasio para tener una idea más precisa del tiempo que esta condición de aparente superávit perdurará, así como la tasa con que la disponibilidad puede decaer.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar ciertos aspectos de la dinámica del fósforo y del potasio en algunos tepetates cultivados (1 a 16 años) de los estados de México y Tlaxcala, particularmente de la fracción de estos elementos disponible para el crecimiento de las plantas.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización del presente estudio se muestrearon 12 sitios de tepetates habilitados para la producción agrícola y cultivados continuamente por lapsos que iban de 1 a 16 años.

Las zonas de muestreo se ubicaron en Hueyotlipan y San Pablo Ixayo, en los estados de Tlaxcala y México, respectivamente. En la primera zona se recolectaron muestras de materiales correspondientes a las formaciones t2 y t3 (4 y 5 muestras, respectivamente). En San Pablo sólo se muestrearon tepetates del tipo t3 (13 muestras). La diferencia entre las zonas de Hueyotlipan y San Pablo, con tepetates de tipo t3, es la pluviometría; la primera es más húmeda que la segunda (650 y 500 mm de lluvia por año, aproximadamente). En cada zona se ubicaron predios que hubiesen sido cultivados por diferentes periodos (de 1 a 16 años). Se obtuvieron muestras del área cultivada (tepetate cultivado) y del material que se trazó como el original, pero que nunca había sido cultivado (tepetate sin cultivar). Como referencia se colectaron suelos (Suelos) cuyo historial de cultivo se remonta a más de 30 años.

En cada sitio seleccionado se obtuvieron varias submuestras de la profundidad correspondiente a la capa arable, generalmente 0 a 20 cm y se mezclaron para constituir una muestra compuesta. En contraste, las muestras de los tepetates sin cultivar, se obtuvieron de manera puntual. Vale la pena señalar que lo que se ha denominado tepetate cultivado en este trabajo no necesariamente es un material derivado en un cien por ciento del tepetate original, sino una mezcla de éste con proporciones variables de suelo residual.

Las muestras fueron secadas al aire y luego molidas con un mazo de madera hasta pasar la malla de 1 mm. Una parte proporcional fue remolida a malla 200 para hacer los análisis de elementos totales. La caracterización química se hizo por los procedimientos rutinarios empleados

en el Laboratorio de Formaciones Superficiales de ORSTOM, en Bondy, Francia.

Para los estudios de la dinámica nutrimental del fósforo y del potasio se trató una muestra de 100 g de material con 80 ppm de P y 100 ppm de K, empleando fosfato dihidrógeno de potasio como vehículo. Las mezclas fueron incubadas a 27 °C y a una humedad cercana a la capacidad de campo por dos meses. Durante este periodo se obtuvieron muestras en diversas oportunidades, dependiendo del estudio, para determinar los contenidos de fósforo extractable, potasio intercambiable y potasio soluble. Los procedimientos empleados fueron aquéllos sugeridos por Rodríguez (1990) para estos efectos.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar el tamaño de los diferentes "pooles" de fósforo y potasio y para establecer la dinámica de cambio que experimentan las fracciones extractables de estos nutrimentos cuando se adiciona una fuente soluble que los contiene.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los diversos análisis que se practicaron a las muestras de tepetates y suelos de referencia, así como algunos parámetros químicos calculados para comprender mejor la dinámica del fósforo y del potasio en estos materiales.

El valor medio de pH en agua de los tepetates tipo t2 es más alcalino (pH 7.7) que el de los formados a partir de t3 (pH 7.0) y el de los t3 de Hueyotlipan ligeramente más ácido (pH 6.8) que los de San Pablo (pH 7.3). Este comportamiento era esperado porque los t2 poseen carbonato de calcio libre en cantidades detectables por la prueba con ácido clorhídrico en tanto que los t3 sólo ocasionalmente reaccionan a este reactivo. En la zona de Hueyotlipan el efecto del material parental (t2 ó t3) sobre el pH es más fuerte que el

de la pluviometría, pero los tepetates t3 de la zona de San Pablo, con menor pluvio-metría que los de Hueyotlipan, son ligeramente más alcalinos, probablemente por la menor pérdida de bases.

Los tepetates cultivados presentan, en general, valores de pH en agua menores que los no cultivados, pero las diferencias son pequeñas y pueden atribuirse al uso de fertilizantes acidificantes y a la exportación de bases intercambiables.

Las concentraciones de fósforo total de los tepetates y suelos asociados son inferiores a las que normalmente se encuentran en los suelos cultivados (0.045 a 0.11%, según Tisdale *et al.*, 1985). En general los t2 analizados presentaron un porcentaje medio de fósforo (0.011% P) que es la mitad de aquél observado en los t3 (0.022% P). Los tepetates cultivados mostraron concentraciones de este elemento superiores a los tepetates sin cultivar. Esto último es explicable en razón de las aplicaciones periódicas de fertilizantes fosfatados a que son sometidos los terrenos de cultivo por los agricultores. Los bajos porcentajes de fósforo explican la escasez de fósforo disponible observada en los tepetates de la región (Etchevers *et al.*, 1991) y la respuesta a la aplicación de fertilizante que reportan los campesinos.

El potasio soluble en una mezcla de ácidos concentrados de los tepetates fue bastante uniforme (0.18 a 0.22% promedio), sin observarse diferencias apreciables entre las zonas. Estos valores son sorprendentemente bajos y representan sólo una fracción del potasio total. Tisdale *et al.* (1985) señalan que la concentración media de potasio total en los suelos es de aproximadamente 1.2%, con un rango de 0.5 a 2.5%. En general, los suelos cultivados presentaron valores de esta fracción de potasio inferiores a los tepetates sin cultivar y los de los suelos cultivados fueron aún más bajos (0.16%). Estos datos señalan que el sistema potásico de estos suelos es relativamente frágil y que debe ser observado con mayor detenimiento para evitar un empobrecimiento irreversible.

Cuadro 1. Algunos parámetros químicos relacionados con la dinámica del fósforo y del potasio en tepetates de México y Tlaxcala.

Sitio	Tipo	Años de cultivos	pH agua	P total %	P Olsen ppm	bP medios Kp 1 año	K extr. %	K solub. ppm	K inter. ppm	
<b>HUEYOTLIPAN</b>										
EZ15	t3	1	5.80	0.021	1.6	0.55	0.758	0.21	116	406
EZ8	t3	2	7.00	0.018	4.4	0.60	0.666	0.20	140	526
EZ8K	t3	0	6.95	0.015	3.2	0.63	0.736	0.20	179	600
EZ14	t3	3	6.80	0.023	4.7	0.60	0.684	0.20	119	372
EZ14K	t3	0	6.85	0.019	2.3	0.61	0.649	0.20	137	588
EZ12	t3	4	6.50	0.022	4.9	0.55	0.729	0.18	120	404
EZ12K	t3	0	7.50	0.023	2.3	0.55	0.899	0.21	217	708
EZ3	t3	5	6.80	0.023	4.8	0.68	0.689	0.22	137	476
EZ3K	t3	0	7.10	0.022	3.2	dnm	0.613	0.22	192	652
EZ7	t3	10	6.65	0.023	13.3	0.61	0.888	0.20	222	
EZ7K	t3	0	7.90	0.014	2.4	dnm	0.545	0.20	146	572
EZ1	t3	15	6.45	0.023	11.2	0.56	0.795	0.19	158	472
EZ1K	t3	0	6.60	0.021	4.5	0.54	0.856	0.21	158	446
EZ5	Suelo	>30	6.30	0.034	52.9	0.61	0.764	0.20	302	666
EZ6	Suelo	>30	6.60	0.032	21.4	0.56	0.751	0.12	66	170
<b>SAN PABLO IXAYOC</b>										
EZ9	t3	4	7.50	0.037	51.5	0.55	0.782	0.29	723	1760
EZ9K	t3	0	7.20	0.020	1.6	0.66	0.602	0.19	163	524
EZ10	t3	9	7.45	0.020	4.3	0.63	0.549	0.15	106	422
EZ10K	t3	0	7.05	0.013	3.2	0.62	0.526	0.19	130	558
EZ22	Suelo	16	6.75	0.018	5.2	0.60	0.718	0.21	51	226
EZ11	Suelo	>60	6.15	0.034	16.8	0.53	0.438	0.15	60	190
<b>HUEYOTLIPAN</b>										
EZ4	t2	1	8.00	0.011	3.2	0.72	0.789	0.20	202	586
EZ4K	t2	0	8.00	0.009	3.1	0.77	0.698	0.21	218	776
EZ13	t2	4	7.30	0.012	5.2	0.61	0.644	0.20	222	786
EZ13K	t2	0	7.40	0.012	2.3	0.67	0.761	0.25	197	758

La concentración promedio de fósforo Olsen inicial de los tepetates sin cultivar varía entre 2.4 y 3.0 ppm. Estos valores indican que la cantidad de fósforo disponible en el material original es baja. Ello se explica, en parte, por qué el fósforo total es bastante inferior a los niveles considerados como normales en suelos cultivados. Los tepetates cultivados, en cambio, muestran concentraciones de fósforo disponible un poco más

elevados (4.2 a 6.4 ppm P), lo cual refleja las adiciones de fertilizante que periódicamente se hacen en estos suelos. La acumulación de fósforo es mayor a medida que aumentan los años que un tepetate ha estado cultivado. Los tepetates cultivados sólo durante un año presentan concentraciones de fósforo extractable Olsen menores a 3 ppm, en cambio en aquellos suelos cultivados por más de 10 años este índice varía de

5 a 11 ppm. Como comparación se tienen los niveles de fósforo extractable que se pueden alcanzar después de más de 30 años de cultivo en los suelos asociados (17 a 37 ppm P Olsen), los cuales se consideran superiores a las necesidades actuales de los cultivos. Algunos tepetates presentan niveles de este nutriente preocupantemente elevados, debido a aplicaciones de fertilizante fosfatado en dosis como las reportadas por Delgadillo *et al.* (1989), que de continuarse pudieran llegar a provocar desórdenes nutrimentales.

Los valores de bP (un índice de las reacciones rápidas de adsorción de fósforo) nos señalan que los tepetates derivados de t3 mantienen, después de 24 horas, aproximadamente un 60% del fósforo aplicado en el "pool" lábil y que este valor es aún mayor en el caso de los tepetates derivados de t2 (71%). En general, los tepetates t2 y t3 que han sido cultivados presentan valores de bP ligeramente inferiores a los no cultivados, en tanto que el de los suelos es aún más bajo (56%), señalando una reactividad ligeramente superior, que pudiese atribuirse al periódico aporte de cenizas volcánicas que han recibido los suelos cultivados en los últimos siglos. Al comparar los bP de los tepetates con los medidos en suelos de la zona se puede decir que estos valores son relativamente altos (Cruz, 1990; Galvis, 1990) y que el fenómeno de adsorción rápida en los tepetates no representa un mayor problema en las prácticas de fertilización fosfatadas.

El fenómeno de la difusión intrapartícula en los tepetates, medido por el coeficiente de la ecuación potencial que se ajusta a la función de decaimiento del "pool" lábil del suelo, es de pequeña monta. Los valores de este coeficiente varían entre 0.06 y 0.08 en los tepetates de Hueyotlipan y son más elevados en los de San Pablo. Esta diferencia debe ser analizada con mayor detalle para buscar una explicación. Los resultados anteriores permiten concluir que el fósforo aplicado tiene en estos suelos un efecto residual relativamente prolongado, ya que su tasa de adsorción lenta es relativamente baja.

Las concentraciones de potasio soluble en agua en los tepetates son, en general, elevadas (aproximadamente 0.50 meq/100 g de material), siendo los de la zona de Hueyotlipan ligeramente inferiores (0.47 meq/100 g de material) a los de San Pablo (0.56 meq/100 g de material), situación que se atribuye a la mayor pluviometría de la primera. La concentración de potasio soluble en los tepetates cultivados fue inferior a la observada en los tepetates no cultivados (0.36 versus 0.46 meq/100 g), lo cual fue atribuido a la exportación de este elemento por las cosechas y a la escasa o nula aportación de potasio como fertilizante en la explotación de los tepetates.

La situación del potasio intercambiable en estos materiales es la siguiente: en la zona más húmeda de Hueyotlipan la forma intercambiable presenta un valor medio de 1.63 meq/100 g de material, en tanto que en San Pablo, con menor humedad es de sólo 1.20 meq/100 g. Estos valores son superiores a los reconocidos como límites críticos para un gran número de cultivos (0.15 a 0.30 meq/100 g), de lo cual se infiere que en el corto plazo este nutriente no presentará un problema de abastecimiento para los cultivos. Sin embargo, los suelos de referencia, cultivados por más de 30 años, tienen concentraciones de potasio intercambiable sustancialmente menores que los tepetates (0.91 meq/100 g), cantidad que de todas formas asegura un suministro más que suficiente por unos cuantos años. Como es lógico, los tepetates cultivados contienen menos potasio intercambiable que los no cultivados.

En resumen, los estudios de laboratorio confirman las observaciones realizadas en estudios biológicos, referente a la escasez de fósforo y la abundancia del potasio en los tepetates, la primera debida a la escasa presencia de minerales fosfatados naturales y la segunda a un elevado grado de intemperismo de los minerales potásicos nativos. La adición de fertilizantes fosfatados en los tepetates cultivados ha determinado un aumento gradual del fósforo disponible, condición que ha sido permitida por la baja reactividad de estos materiales y un elevado efecto residual de los correctores.

### LITERATURA CITADA

**CRUZ H., L.** 1990. Establecimiento de la dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

**CRUZ H., L. y J. D. ETCHEVERS B.** 1991. Estado del P en suelos de Tlaxcala, pp. 15-16. *In:* Primer Simposio Nacional de Degradación de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, D.F., México.

**DELGADILLO P., M. E., M. E. MIRANDA M. y B. R. RUIZ H.** 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.

**ETCHEVERS B., J. D., L. CRUZ H., J. MARES A. y C. ZEBROWSKI.** 1991. Fertilidad de los tepetates. I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, pp. 71-73. *In:* Resúmenes Ampliados, Primer Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados-ORSTOM, Montecillo, México.

**GALVIS S., A.** 1990. Validación de las normas de fertilización de N y P estudiadas con un modelo simplificado para maíz, con las dosis adecuadas en la experimentación de campo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

**RODRIGUEZ S., J.** 1990. La fertilización de los cultivos: un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

**TISDALE S. L., W. L. NELSON y J. D. BEATON.** 1985. Soil fertility and fertilizers. Fourth edition. Macmillan Publishing Co., New York, USA.