

**USO DE ISOTERMAS DE ADSORCION DE FOSFORO PARA ESTIMAR  
LOS REQUERIMIENTOS DE FERTILIZANTE FOSFATADO EN EL  
CULTIVO DE LA PAPA (*Solanum tuberosum L.*)  
EN UN SUELO CALCAREO\***

Juan Manuel Cepeda Dovala<sup>1</sup>  
Eduardo Alberto Narro Farías<sup>2</sup>

**RESUMEN**

El presente estudio se realizó durante el ciclo agrícola 1983, en los terrenos del Rancho Aguatoche, localizado en el Municipio de Saltillo, Coahuila.

El objetivo fundamental fue tratar de incrementar el rendimiento del cultivo de papa, a través del aumento de la cantidad de fósforo disponible en el suelo por medio de azufre, para reducir el pH del suelo.

Se utilizó como mejorador químico flor de azufre con los niveles siguientes: 0, 500 y 1 000 kg/ha; se utilizó superfosfato triple como fuente de fósforo y los niveles de éste fueron: 0, 150, 300, 450, 600 y 750 kg/ha, respectivamente.

Antes de establecer el experimento se determinaron, en el laboratorio, las isotermaas de adsorción, con el fin de estimar los requerimientos de fertilizante fosfatado; para esto se utilizaron diversos niveles de azufre. Los tratamientos de azufre y fósforo que se utilizaron en las isotermaas de adsorción, fueron equivalentes a las cantidades utilizadas en el campo. Los resul-

<sup>1</sup> Ing. y 2 Ph.D. Maestros Investigadores del Depto. de Suelos, Div. de Ingeniería, UAAAN

\* Trabajo de tesis presentado para obtener el grado de M.C. de 1

tados de laboratorio mostraron que el tratamiento de azufre correspondiente a 1 000 kg/ha, es el que presenta mayor incidencia sobre los niveles de fósforo utilizados; se encontró, además, que este tratamiento de azufre es el que baja más el pH del suelo.

Con el propósito de comprobar los resultados, se realizó el experimento de campo; los tratamientos fueron aplicados en banda un día antes de la siembra.

Para medir la influencia del mejorador y del fertilizante fosfatado, se eligió al cultivo de la papa; se utilizaron como semilla tubérculos enteros de la variedad Alpha.

Los tratamientos de azufre estudiados, no tuvieron un efecto significativo sobre la producción del tubérculo; esto se debió, probablemente, a la lenta oxidación del azufre provocada por las bajas temperaturas, la gran acumulación de carbonatos y la escasa población microbiana. Por tal motivo, la variación en la producción se debió a los niveles de fósforo y el mejor tratamiento correspondió a 750 kg/ha de fósforo. Al analizar el suelo, después de concluido el experimento, los resultados muestran que el mejorador químico (azufre) genera algunos cambios en el pH del suelo, los cuales no fueron suficientes para incrementar los rendimientos.

Desde el punto de vista económico, y bajo las condiciones en que se llevó a cabo el experimento, no es costeable utilizar azufre como mejorador químico para tratar de acidificar el suelo, puesto que no tuvo ingerencia en la producción del cultivo.

## INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los alimentos más importantes tanto de Europa como de América, y se ha cultivado extensivamente en los últimos 100 años.

El área que se cultiva con papa en el mundo, es aproximadamente de 22 millones de hectáreas, con una producción media de 13.3 ton/ha.

En México, hasta el año de 1980 en el ciclo primavera-verano, se tenía una superficie sembrada de 81 485 ha, con un rendimiento promedio de 13.284 ton/ha.

En nuestro país se hacen grandes siembras comerciales en el Estado de Coahuila, los Valles Altos de Toluca, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, y en la Sierra de Chihuahua.

La región de Navidad, que incluye parte de los Estados de Coahuila y Nuevo León, destina una superficie aproximada de 4 000 hectáreas al cultivo de papa, el cual ha adquirido una gran importancia socio-económica. El rendimiento medio de este cultivo en la región, es alrededor de 20 ton/ha. Esta producción se considera baja, de acuerdo a las investigaciones realizadas por Burton (1948), que afirma que se pueden obtener hasta 90 ton/ha.

El cultivo de papa requiere de un suministro abundante de nutrientes, para asegurar un crecimiento rápido y continuo, y un desarrollo adecuado de tubérculos. Sin embargo, la aridez del clima que impera en esta región, ha contribuido, en gran parte, a la formación de suelos de carácter alcalino, y a la acumulación de  $\text{CaCO}_3$ . Estos 2 factores se consideran limitantes en los rendimientos del cultivo de papa, ya que influyen directamente en la fijación del fósforo añadido al suelo en forma de fertilizante, al cual hacen menos asimilable para las plantas. En base a estas consideraciones, y a la necesidad de poder ofrecer a los productores de papa un método adecuado para incrementar los rendimientos, se plantean los siguientes objetivos.

1. Incrementar el rendimiento del cultivo de papa en un suelo calcáreo, utilizando azufre como mejorador.
2. Determinar cuál es el nivel más apropiado de azufre y fertilizante fosfatado, para incrementar la concentración de fósforo disponible en el suelo, y medir esta influencia por medio de la producción del cultivo.

#### Hipótesis de la investigación

1. Dadas las características químicas de los suelos, la adición de azufre puede contribuir en los cambios químicos del suelo, de los cuales uno de los más importantes es el pH.
2. La adición de azufre incrementa la solubilización del fertilizante fosfatado en los suelos de esta región. Esto se puede determinar utilizando las isotermas de adsorción de fósforo para diferentes niveles de azufre utilizado.

#### REVISION DE LITERATURA

Hawkes, citado por Cásseres (1966) menciona que la papa cultivada tiene su origen en los Andes Sudamericanos, probablemente en el Altiplano cerca del lago Titicaca.

*Parsons et al.* (1983) señalan que la papa posee una gran capacidad de adaptación, pues tiene una gran difusión en el mundo. Bajo condiciones apropiadas, este cultivo tiene un contenido mayor de nutrientes que los cereales y le sigue en importancia a la soya, la cual ocupa el primer lugar en cuanto a rendimiento de proteínas por hectárea; pero, en cuanto a kilos de producción por hectárea, la papa proporciona mayor rendimiento que la soya.

*Knott* (1957) indica que la mayor absorción de nitrógeno, ácido fosfórico, y potasio, ocurre durante el tercer mes del crecimiento de la planta de papa. Por esto deben colocarse cantidades suficientes de elementos nutritivos, relativamente cerca de las raíces de las plantas.

*Parsons et al.* (1983) señalaron que una cosecha que tiene un rendimiento alrededor de 40 toneladas de papa por hectárea, extrae del suelo las siguientes cantidades aproximadas de elementos esenciales: 139 kg de nitrógeno, 21 kg de fósforo, 165 kg de potasio, 8 kg de calcio, 15 kg de azufre y 15 kg de magnesio, y cantidades mínimas de elementos menores.

*Narro y Méndez* (1982) definen a los mejoradores de suelo como productos de diferente origen y composición que, al ser aplicados al suelo, producen cambios en éste y repercuten en una mayor eficiencia en el desempeño de las funciones que tiene el suelo en beneficio de las plantas.

*Tisdale* (1963) menciona que el azufre es uno de los nutrientes más importantes para la planta y que, además, se puede utilizar como mejorador de suelos, ya que actúa como acidificador, y logra mantener la producción agrícola en un nivel costeable.

*Thompson y Troeh* (1980) señalan que el azufre suele usarse como enmienda del suelo para reducir su alcalinidad, cuando este contiene  $\text{CaCO}_3$  libre, además de un exceso de sodio. Sin embargo, una desventaja que presenta la adición de azufre al suelo, reside en el tiempo que necesita para oxidarse.

*Jackson* (1964) menciona que el fósforo, lo mismo que el nitrógeno y el azufre, forman aniones complejos con el oxígeno, pero la solubilidad de los fosfatos es baja, lo cual reduce prácticamente su disponibilidad y constituye una desventaja.

*Buckman y Brady* (1977) señalan que el fósforo está presente en todas las células, con tendencia a concentrarse en las semillas y zonas de crecimiento de las plantas. Al fósforo sólo le precede como nutriente el nitrógeno;

la mayor parte de los abonos contienen ambos elementos, y en algunos ambientes naturales, la provisión de fósforo es aún más crítica que la del nitrógeno.

Cajuste (1977) menciona que la fuente original de fósforo en el suelo proviene generalmente del mineral llamado apatito  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , que se presenta en forma de pequeños cristales dispersos en la mayoría de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Lyons (1944) señala que en suelos alcalinos de Nebraska, el aprovechamiento del fósforo está en función de la concentración de carbonato de calcio presente en el suelo y de las labores de labranza. Además, menciona que en suelos alcalinos el fósforo no es fácilmente tomado por la planta, así exista una cantidad suficiente de fósforo soluble en agua.

Larsen (1967) menciona que el fósforo forma varios iones diferentes, los cuales provienen de la disociación del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . La mayor parte del fósforo absorbido por las plantas pertenece a la forma orto-fosfato monovalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , el cual predomina en suelos cuyo pH es ligeramente ácido.

### **Investigaciones realizadas sobre la obtención de isoterma de adsorción**

Neira (1974) consideró que la adsorción de fósforo sobre la superficie de los coloides del suelo (materia orgánica, arcilla e hidróxidos), ha sido evaluada utilizando las isotermas de adsorción, que describe la adsorción de gases sobre las superficies sólidas.

Fox y Kamprath (1970) señalaron la conveniencia de utilizar el método de isotermas de adsorción de fósforo, para predecir los requerimientos de fertilizantes fosfatados en suelos de propiedades físicas y químicas contrastantes, en condiciones de invernadero, utilizando diversos cultivos.

Webber y Mattingly (1970) consideran que para un gran número de suelos, la concentración de fósforo en la solución se correlaciona con el crecimiento inicial, pero no con la toma total del fósforo; de este último proceso, depende más el factor cantidad "Q" (forma aprovechable de fósforo en el suelo).

### **MATERIALES Y METODOS**

El presente trabajo se realizó durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 1983, y se estudiaron 2 factores de la producción: el azufre como mejorador químico, y el fósforo como nutriente.

El sitio experimental se encuentra en la región del Cañón de los Angeles, Municipio de Saltillo, Coahuila, en el Rancho El Aguatoche, el cual se localiza al noreste del Estado de Coahuila; sus coordenadas son 25°05' latitud norte y 100°58' longitud oeste, y tiene una altitud de 1 900 msnm.

El clima que impera en esta región es el más húmedo de los semiáridos, templado con verano cálido, muy extremoso; la mayor cantidad de lluvia se presenta durante los meses de julio y agosto. La precipitación media anual es de 375 mm.

Los meses más fríos son enero y diciembre, y las heladas se presentan desde noviembre hasta febrero. El mes más caliente del año es julio, con una temperatura media de 22°C, y una máxima de 33°C.

Los suelos de la región en estudio son del tipo xerosol-cálcico, muy secos; se caracterizan por tener una capa superficial de color claro y muy pobres en materia orgánica. Su utilización agrícola está supeditada a la disponibilidad de agua de riego.

Las determinaciones físicas y químicas que se le hicieron a las muestras de suelo y los métodos empleados en el laboratorio, se presentan en el Cuadro 1.

### Tratamientos y Diseño Experimental

Para determinar las isotermas de adsorción de fósforo, se siguió el procedimiento descrito por Fox y Kamprath (1970), el cual consiste en poner en contacto muestras de suelo con diferentes concentraciones de fósforo, las cuales son equivalentes a las utilizadas en el campo.

La investigación realizada consistió en el estudio de 2 factores de la producción: el azufre como mejorador químico, del cual se utilizaron 3 niveles: 0, 0.5 y 1 ton/ha; y el fósforo como nutriente, del cual se utilizaron 6 niveles: 0, 150, 300, 450, 600 y 750 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Se usó el diseño experimental de parcelas divididas en bloques al azar para la distribución de tratamientos en el campo, con 4 repeticiones. Al combinar los 2 factores en estudio (3 niveles de azufre y 6 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), resultaron 18 tratamientos, los cuales se muestran en el Cuadro 2.

La parcela experimental fue de 6 surcos de 5 m de longitud, separados 92 cm; como parcela útil se cosecharon los 2 surcos centrales en toda su longitud. La superficie total experimental fue aproximadamente 2 000 m<sup>2</sup>.

**Cuadro 1. Caracterización físico-química del suelo donde se llevó a cabo el experimento. Rancho El Aguatoche, 1983.**

Característica	Método empleado	Valores obtenidos	
		Profundidad (cm)	0 - 30      30 - 60
Materia orgánica (%)	Walkley/Black	2.1	0.77
Nitrógeno total (%)	Kjeldahl	0.348	0.063
Fósforo aprovechable (kg/ha)	Olsen	36.6	3.22
Potasio intercamb. (kg/ha)	Cobaltinitrito de Na	890.0	259.5
Carbonatos totales (%)	NaOH 1N	79.75	69.1
Reacción del suelo (pH)	Potenciómetro	8.1	8.15
Conductividad eléctrica (mmhos /cm a 25°C)	Puente de Wheatstone	3.05	2.77
Arena (%)	Hidrómetro de Bouyoucos	35.45	47.95
Limo (%)	Hidrómetro de Bouyoucos	60.35	47.05
Arcilla (%)	Hidrómetro de Bouyoucos	4.2	5.0
Textura	Triángulo de texturas	m. limoso	m. arenoso
Densidad aparente (g/cm³)	Parafina	1.28	1.83
Densidad de sólidos (g/cm³)	Picnómetro	2.13	2.61

**Extracto de salinidad  
Análisis de salinidad**

Ca (meq/l)	Volumétrico EDTA 0.01N	40.40	34.35
Mg (meq/l)	Volumétrico EDTA 0.01N	56.84	58.24
K (meq/l)	Absorción atómica	0.89	1.56
Na (meq/l)	Absorción atómica	0.52	0.10
Cl (meq/l)	Volumétrico AgNO <sub>3</sub> 0.02N	1.6	4.0
HCO <sub>3</sub> (meq/l)	Volumétrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.01N	1.4	1.35
SO <sub>4</sub> (meq/l)	Gravimétrico	27.44	37.58

El día 10 de mayo de 1983, se aplicaron los tratamientos al suelo de la forma siguiente: al fondo del surco se aplicó el azufre manualmente y en banda; inmediatamente después se aplicó a todo el experimento, manualmente y en banda, una mezcla de urea y sulfato de potasio, que corresponden a las dosis de 150 kg/ha de nitrógeno, y 150 kg/ha de K<sub>2</sub>O, respectivamente (dosis utilizada por el agricultor). En seguida se aplicaron los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y se cubrieron con unos 5 cm de tierra, aproximadamente; para lo cual se utilizaron azadones.

**Cuadro 2. Descripción de los tratamientos estudiados en el experimento de papa. Rancho El Aguatoche, ciclo primavera-verano, 1983.**

Tratamientos	S (kg/ha) (1)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha) (2)
*1	0	0
2	0	150
3	0	300
4	0	450
5	0	600
6	0	750
7	500	0
8	500	150
9	500	300
10	500	450
11	500	600
12	500	750
13	1000	0
14	1000	150
15	1000	300
16	1000	450
17	1000	600
18	1000	750

\* Tratamiento testigo

(1) El azufre, como flor de azufre, fue aplicado totalmente en la siembra

(2) El fósforo, como superfosfato triple de calcio, se aplicó totalmente en la siembra

La siembra se llevó a cabo un día después de haber aplicado los tratamientos; los tubérculos se colocaron en forma manual, separados a una distancia de 20 cm; por medio de un arado de doble vertedera se tapó la semilla, la cual fue de la variedad Alpha.

Para dar los riegos se utilizó un sistema por aspersión Sail Roll. Durante el ciclo del cultivo, la papa fue regada cada 15 días; el primer riego se proporcionó 40 días después de la siembra, y el último se aplicó 15 días antes de la cosecha. El día 8 de octubre de 1983 se cosechó el experimento, mediante una cosechadora de 2 surcos. Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis estadístico.

La altura de plantas fue evaluada en el campo, y para ello se tomaron al azar, 4 plantas de los 4 surcos centrales, para su medición, considerando las 4 repeticiones. Las mediciones se hicieron a los 50, 66 y 71 días después de la siembra.

Después de concluido el experimento, se muestreó el suelo a una profundidad de 30 cm, con el propósito de evaluar el efecto de los tratamientos aplicados en las condiciones químicas del suelo. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Física de Suelos para su análisis.

Los rendimientos experimentales fueron analizados matemáticamente y se les practicó el análisis de varianza (ANVA); se utilizó el diseño de parcelas divididas en bloques al azar, con el propósito de determinar la significancia o falta de ella; también se calculó la diferencia entre medias de las muestras al 5%, y para ello se utilizó la prueba de Tukey (DHS, diferencia significativa honesta).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La siembra se realizó el 11 de mayo de 1983, con semilla certificada de la variedad Alpha, cuyo ciclo es de 120 días aproximadamente.

La germinación de los tubérculos se inició irregularmente, aproximadamente a los 21 días después de la siembra, y a los 28 días se observó una germinación de un 95% en todo el experimento. El inicio de la floración se detectó el 12 de julio, y se completó el día 28 del mismo mes.

Los análisis del suelo, antes de establecer el experimento, indicaron que se trata de un suelo medianamente rico en materia orgánica, lo que origina un alto contenido de nitrógeno total; sin embargo, las cantidades de fósforo reportadas indican que el suelo es muy pobre en lo referente a este elemento y el contenido de potasio es muy elevado, por lo que no existen deficiencias de este nutriente; el pH del suelo es 8.1 y se clasifica como medianamente alcalino.

El suelo en estudio presenta una coloración blanca, debido a la alta concentración de  $\text{CaCO}_3$ , y son de textura migajón-limoso.

### Obtención de isotermas de adsorción

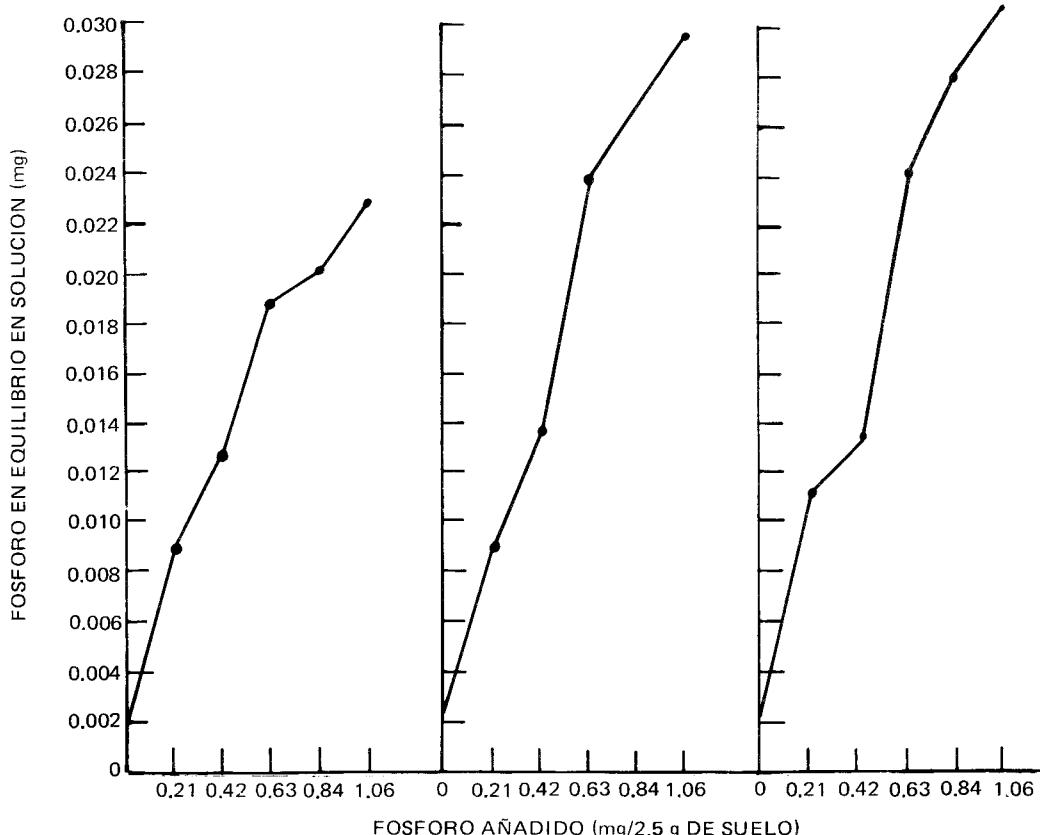
En el Cuadro 3, se muestra la descripción de los tratamientos estudiados, para obtener las isotermas de adsorción de fósforo en el suelo antes de

**Cuadro 3. Descripción de los tratamientos estudiados para obtener las isotermas de adsorción de fósforo en el suelo antes de establecer el experimento. Rancho El Aguatoche, 1983.**

No.	Azufre	Tratamientos (mg) Fósforo	pH	Solución (kg/ha)	Solución (mg)	Adsorbido (kg/ha)	Adsorbido (mg)
1	0	0	8.1	1.57	0.002	63	0.201
2	0	0.21	7.95	6.3	0.0088	143.7	0.407
3	0	0.42	8.0	9.0	0.0126	291	0.611
4	0	0.63	8.0	13.5	0.0189	436	0.82
5	0	0.84	8.9	14.4	0.020	585.6	1.034
6	0	1.06	7.9	17.1	0.023	732.9	0.201
7	0.325	0	7.85	2.02	0.0025	81.05	0.406
8	0.325	0.21	7.8	6.3	0.0088	143.7	0.813
9	0.325	0.42	7.75	9.9	0.0138	290.1	0.606
10	0.325	0.63	7.8	17.1	0.0239	432.9	0.201
11	0.325	0.84	7.8	18.9	0.0264	581.1	0.406
12	0.325	1.06	7.8	21.1	0.0298	728.9	1.03
13	0.65	0	7.8	2.02	0.0025	81.05	0.201
14	0.65	0.21	7.7	8.1	0.0113	141.9	0.813
15	0.65	0.42	7.7	9.45	0.0132	290.5	0.606
16	0.65	0.63	7.75	17.1	0.0239	432.9	0.406
17	0.65	0.84	7.8	20.0	0.028	580	0.201
18	0.65	1.06	7.7	22.0	0.031	728	0.606

Nota: Las cantidades de fósforo y azufre utilizadas para obtener las isotermas de adsorción, son equivalentes a las cantidades utilizadas en el campo.

establecer el experimento. Para los niveles más altos de azufre, el pH medio fue de 7.7, lo cual originó que existiese una liberación mayor del fósforo añadido en la solución del suelo. Las concentraciones de fósforo en la solución, aumentaron a medida que disminuía el pH, como se indica en la Figura 1, donde se muestra la relación entre el fósforo añadido y el fósforo en equilibrio en solución, en función del azufre aplicado.



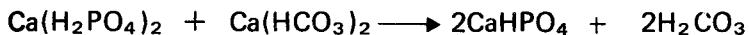
**Figura 1.** Relación entre el fósforo añadido y el fósforo en equilibrio en solución, en función del azufre aplicado. Rancho El Aguatoche, 1983.

#### Cambios químicos provocados en el suelo

La caracterización de algunas de las propiedades químicas del suelo después de concluido el experimento, muestran, en general, incrementos en la materia orgánica, nitrógeno total y potasio intercambiable. Sin embargo, en lo que respecta al fósforo aprovechable, se encontró, después de la cosecha, que fue mayor en casi todos los tratamientos aplicados, excepto en

aquellos donde no se aplicó este nutriente. El pH alcalino del lugar en estudio, además de las concentraciones importantes de  $\text{CO}_3$  y  $\text{HCO}_3$  de calcio y magnesio, presentes en la fase sólida y en la solución del suelo, originan el proceso llamado adsorción química o por precipitación; es decir, que las sustancias solubles pasan a formar parte de la fase sólida, en forma de sales poco solubles.

Cuando se aplica el fósforo al suelo en forma de monofosfato cálcico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , reacciona con el  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  presente en la solución del suelo de la siguiente manera:



El ión  $\text{HPO}_4^{2-}$  es el que predomina en la solución del suelo, a un pH que varía de 7.5 a 9; sin embargo, esta forma de fósforo es poco requerida y asimilable por las plantas.

### Producción de tubérculos

La producción de tubérculos varió de 4.769 ton/ha, para el tratamiento (1 000 kg/ha de S – 0.0 kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), a 12.054 ton/ha para el tratamiento (500 kg/ha de S – 750 kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), tal como se muestra en el Cuadro 4.

El análisis de varianza practicado a los datos de producción, reporta diferencia altamente significativa para los tratamientos de fósforo; no fue así para los tratamientos de azufre, la interacción y las repeticiones o bloques. Esto indica que la adición de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , es el factor que induce los cambios en la producción de tubérculos en este tipo de suelos calcáreos, y que el terreno donde quedaron ubicados los bloques presentan características homogéneas. Lo anterior se puede observar en el Cuadro 5.

### CONCLUSIONES

1. El método de isotermas de adsorción para estimar los requerimientos de fertilizante fosfatado, permite tener una idea de qué cantidad de fertilizante es necesario aplicar a un suelo para obtener una buena producción de los cultivos. La representación de fósforo adsorbido frente a la concentración del mismo en la solución en equilibrio, muestra una isoterma en la que la cantidad adsorbida disminuye al aumentar la saturación total con las adiciones de fosfato empleadas.

Las mayores concentraciones de fósforo en solución, se incrementaron a medida que se aumentaba la cantidad de fósforo añadida a las

**Cuadro 4.** Rendimientos totales y medios en ton/ha de cada parcela para los 18 tratamientos en estudio en el cultivo de la papa. Rancho El Aguatoche, 1983.

No.	Tratamientos S P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Repeticiones			Totales	Medias
		I	II	III		
1	0	0	4.337	5.019	4.113	6.540
2	0	150	6.769	6.081	6.253	10.068
3	0	300	8.060	9.867	8.978	11.531
4	0	450	11.932	9.064	5.679	9.379
5	0	600	10.785	11.215	8.002	10.871
6	0	750	12.649	9.379	10.209	14.399
7	500	0	6.293	3.642	4.015	5.564
8	500	150	5.908	6.453	7.974	7.171
9	500	300	3.671	7.830	9.723	6.654
10	500	450	4.761	11.731	8.863	10.555
11	500	600	7.543	12.793	5.335	11.416
12	500	750	14.829	10.441	10.039	12.907
13	1000	0	2.323	4.532	7.830	4.391
14	1000	150	6.923	4.187	4.589	7.171
15	1000	300	7.563	7.945	6.482	9.924
16	1000	450	9.867	6.912	7.142	9.236
17	1000	600	9.398	9.150	7.457	11.014
18	1000	750	11.205	4.818	7.974	12.391
Bloques totales		144.816	141.059	130.657	171.182	587.714
						8.163*

\* Producción media en ton/ha de todo el experimento

**Cuadro 5. Análisis de varianza para parcelas divididas en bloques al azar, practicado a la producción total de tubérculos (kg/ha). Rancho El Aguatoche, 1983.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F calculada	Valor de F de tablas 5% / 10%	Coeficiente de variación (%)
Repeticiones	3	49.55	16.52	4.06 NS	4.76	9.78
Parcelas grandes	2	19.71	9.85	2.43 NS	5.14	10.92
Error (a)	6	24.38	4.06	0.00		24.68
Parcelas chicas	5	211.19	42.24	7.96 **	2.42	3.44
Interacción (ab)	10	22.28	2.29	0.43		28.22
Error (b)	45	238.92	5.31	0.00		
Total	71	566.63	0.00	0.00		

NS: No significativo

\*\* Significativo al .05 de probabilidad

muestras de suelo. Este incremento de concentración fue influido por la presencia del mejorador químico, el cual provocó cambios importantes en el pH del suelo.

2. Considerando la isoterma que muestra la relación de fósforo adsorbido y el fósforo en solución, en función de las aplicaciones de azufre, la máxima concentración de fósforo en solución corresponde al tratamiento de 1 000 kg de azufre y 750 kg de fósforo respectivamente.
3. Los resultados obtenidos en el experimento de campo, muestran que el azufre no tuvo significancia con relación a la producción del cultivo. Esto es lógico, desde el punto de vista de que la oxidación del azufre es muy lenta, debido a las condiciones climáticas y a la baja población microbiana existente en el sitio de estudio.
4. Con respecto a la primera hipótesis de la investigación, en cierta forma el azufre como mejorador químico contribuyó en los cambios del pH del suelo, en un período total de incubación de 150 días. Si se quiere obtener mejores resultados con respecto a los cambios en el pH del suelo, probablemente sea necesario incorporar el azufre antes de la siembra, para que pueda existir una oxidación adecuada.
5. Con respecto a la segunda hipótesis, los cambios provocados en el pH del suelo no fueron suficientes para incrementar la solubilización del fósforo presente en el suelo; por tal motivo, es necesario aplicar grandes concentraciones de fertilizante fosfatado para cubrir las deficiencias de este nutriente.
6. Probablemente, otro de los factores limitantes en la conducción de este experimento, fue la presencia de cristales de sulfato de calcio, ya que su solubilidad es muy baja y, al estar precipitado, inhibe la solubilidad del azufre.
7. Económicamente no son recomendables las aplicaciones de azufre para tratar de incrementar la producción de tubérculos en este tipo de suelos, a menos que se hagan adiciones de este mejorador con suficiente anticipación, o bien incorporar materia orgánica al suelo para que exista una mayor actividad microbiana, y se acelere el proceso de oxidación del azufre.

## BIBLIOGRAFIA

- Buckman, O.H. y C.N. Brady. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. 1a. ed. Barcelona, España. Montaner y Simón, S.A.
- Burton, W.G. 1948. The potato, a survey of its history and the factors influencing its yield, nutritive value and storage. London, Chapman and Hall.
- Cajuste, L.J. 1977. Química de suelos con un enfoque agrícola. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados.
- Cásseres E. 1966. Producción de hortalizas. Lima, Perú. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.
- Fox, R.L. and E.J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society American Proceeding. Vol. 34:902-906.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción del inglés por J. Beltrán Martínez. Barcelona, España. Editorial Omega.
- Knott, J.E. 1957. Handbook for vegetable growers. New York Wiley. 238 p.
- Larsen, S. 1967. Soil phosphorus. Advances in agronomy. 19:151-210.
- Lyons, L.C. 1944. Comercial fertilizers for the irrigated sections of western Nebraska. Nebraska. Agr. Exp. Stat. Bull. 365 p.
- Narro, F.E. y V. Méndez. 1982. Efecto de mejoradores de suelo y dosis de fertilización fosfatada en el desarrollo del cultivo de papa en un suelo de pH alcalino. XV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- Neira, F.G. 1974. Propiedades químicas de los suelos. Bogotá, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección Agrológica. Vol. X, No. 11.
- Parsons, D.B. et al. 1983. Papas. Manuales de educación agropecuaria. Área Producción Vegetal. México. Editorial Trillas.
- Thompson, L.M. y F.R. Troeh. 1980. Los suelos y su fertilidad. Versión española por D. Juan Puig de Fábregas Tomás. Barcelona, España. Editorial Reverté.

Tisdale, S.L. 1963. Azufre el factor limitante. Publicado por la Revista Agricultural Ammonia News en su número de Enero-Febrero. Celaya, México. Stauffer de México, S.A.

Webber, M.D. y C.E. Mattingly. 1970. Inorganic soil phosphorus. I. Changes in monocalcium phosphate potentials on cropping. Journal Soil Science. 2:11-120.