

FERTILIZACION DE LA PAPA (Solanum tuberosum L)  
EN SUELOS DE ANTIOQUIA

\*Rodrigo Muñoz Araque

En antioquia se cultivan anualmente con papa entre 15 y 17 mil hectáreas, con un rendimiento promedio por hectárea que oscila entre 12 y 20 toneladas. En los suelos donde se siembra esta planta se aplican, por parte de los agricultores, abonos orgánicos, fertilizantes a base de N, P y K y Cales. La clase de fertilizante y las dosis utilizadas son el resultado de más de 30 años de investigaciones realizadas por entidades oficiales, y de la experiencia de los agricultores, muy acuciosos en esta región colombiana.

Nitrógeno y abonos orgánicos

En Antioquia, los suelos cultivados con papa son en su mayoría altos en el contenido de materia orgánica (Figura 1). Este contenido se debe, posiblemente, a la baja población microbial y a su poca actividad, atribuida ésta a la acidez (pH) y al Al-intercambiable; a la baja temperatura de la zona; a la deficiencia de P, Mg y Ca y a la abundancia de minerales secundarios amorfos de tipo alofánico (1, 2, 6, 21, 26, 41). En estas condiciones ecológicas desfavorables para una mineralización intensa de la materia orgánica, se presenta un balance favorable para la acumulación de ésta, más que para su degradación. Por esta razón, los cultivos responden a la aplicación de Nitrógeno y de abonos orgánicos bien descompuestos ó "Compost", en forma favorable (1, 21, 26, 41) (Figuras 2, 3, 4 y 5). Para estas dos fuentes de dosis, que permiten altos rendimientos de la papa, están alrededor de 50 y 100 kg de N/ha y de 2 a 5 ton/ha de abonos orgánicos (28, 32, 34 y 35).

La deficiencia del P en las plantas de papa restringe su crecimiento apical y de los demás órganos de la planta. En estas condiciones, los pecíolos y los folíolos de las hojas son pequeños y éstos son curvados hacia la nervadura central; el follaje es de color verde intenso y las hojas más viejas se tornan de coloración pardo oscura a rojiza. La planta de papa con deficiencia de P es erecta con tallos flexibles y sus tubérculos presentan lesiones externas (Rusty Brow) e internamente los tejidos son blandos (4, 39).

\*Contribución de la Sección de Suelos de la División de Disciplinas Agrícolas. Subgerencia de Investigación y Transferencia Agropecuaria del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.

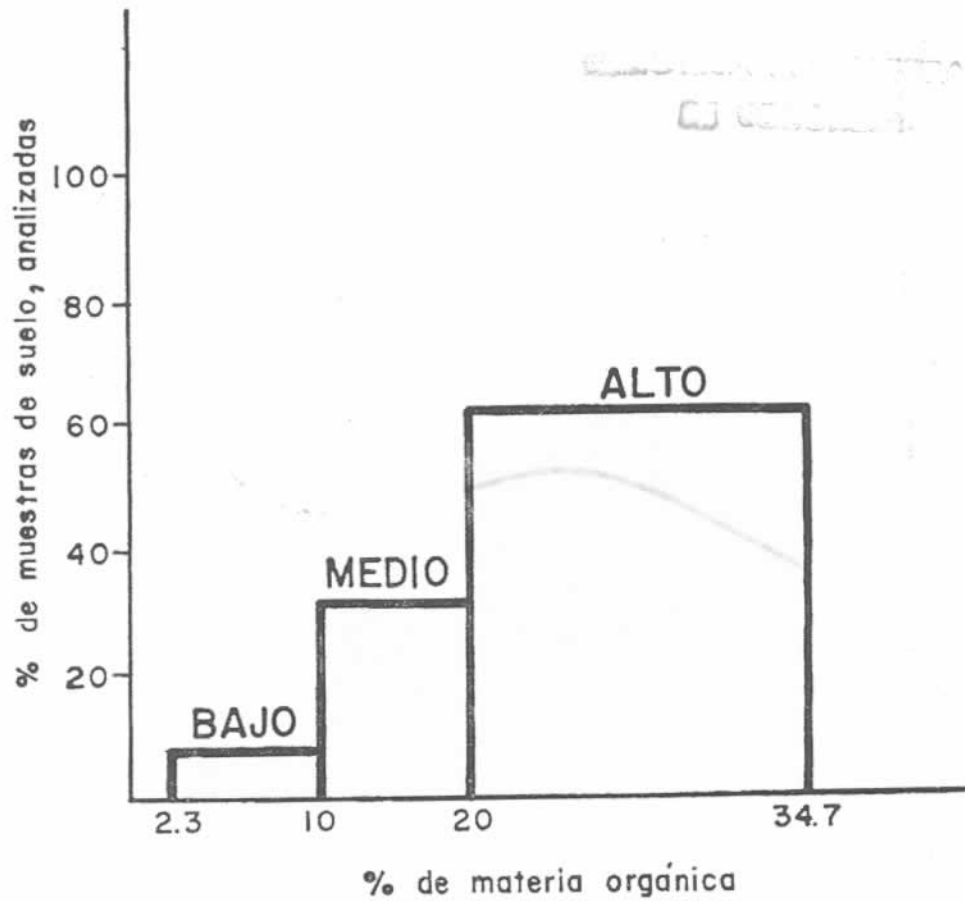


FIGURA 1: Distribución porcentual del contenido de materia orgánica en suelos cultivados con papa, en Antioquia.

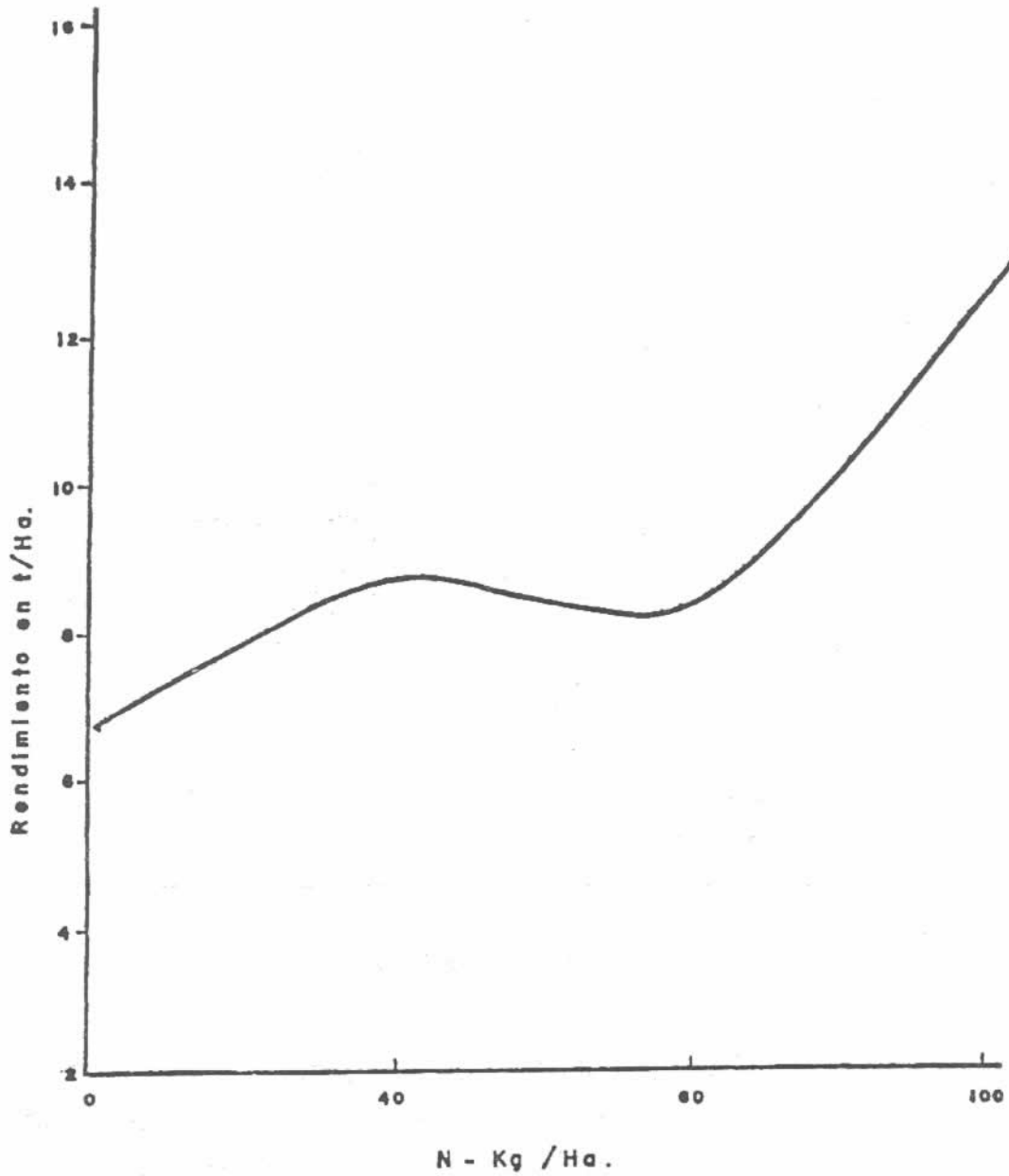


FIGURA 2. Respuesta promedio de la papa a la fertilización con N, en las localidades de Marinilla, La Unión, La Caja, Sonsón, San Pedro y Carmen de Vival (Antioquia). El contenido de materia orgánica varío entre 13,3 y 34,7 % con un promedio de 27,5 %.

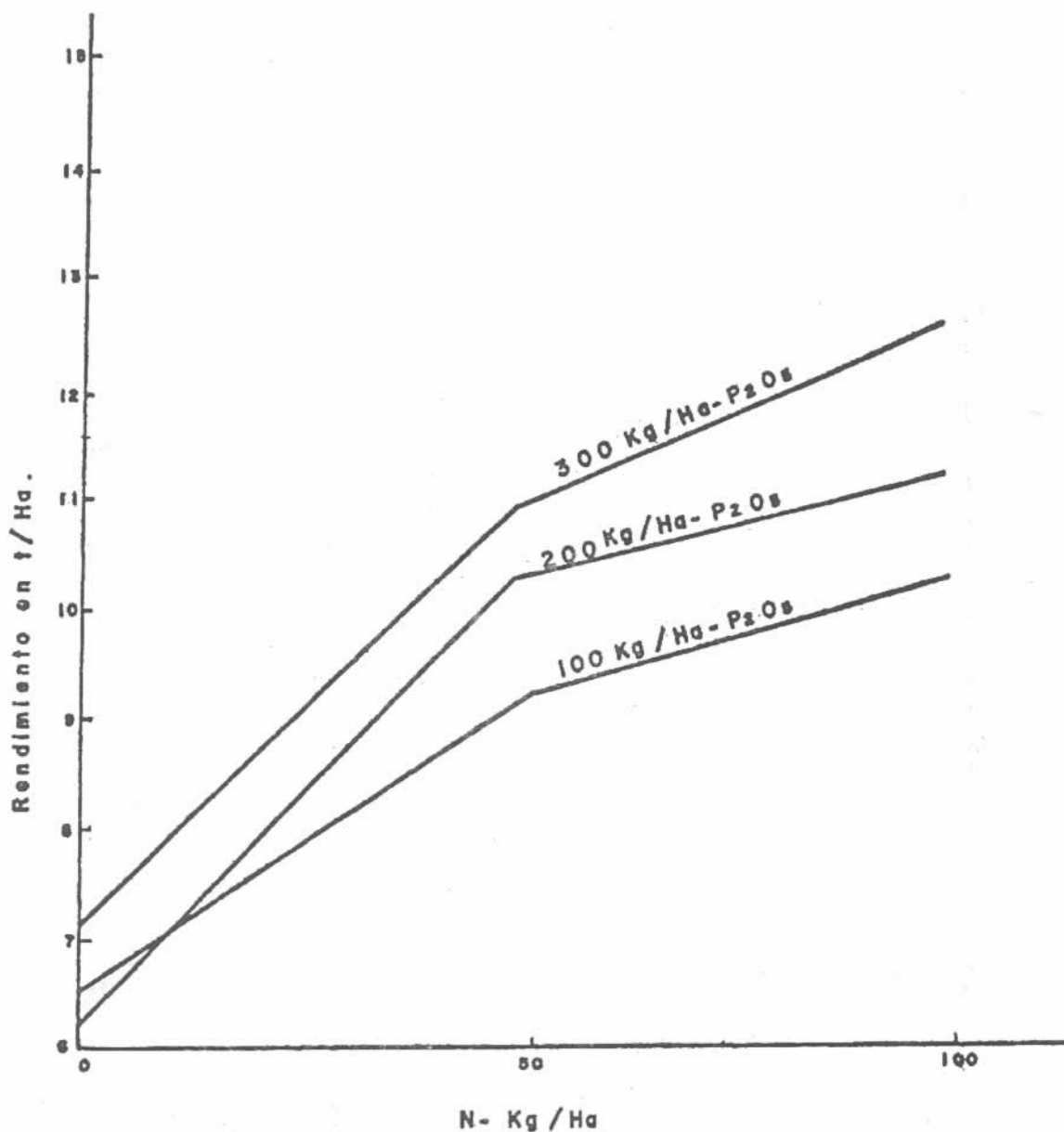


FIGURA 3 - Respuesta de la papa a la fertilización con N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en una rotación papa-avena, en suelos Andept de La Selva (Rionegro). Datos promedios de 10 cosechas. El contenido de materia orgánica al finalizar el ensayo era de 21 a 23 % y el de P de 7 a 22 ppm (Bray II).

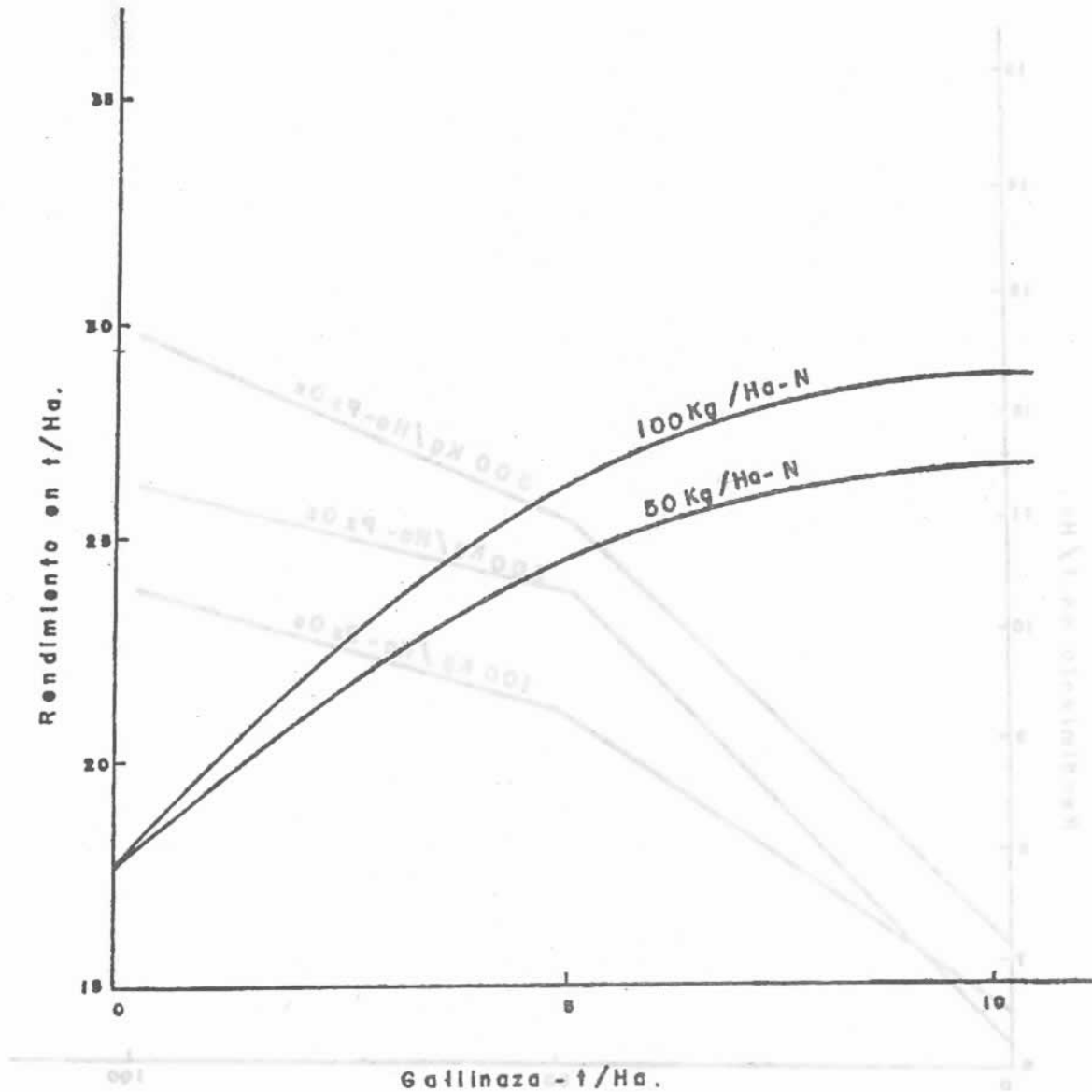
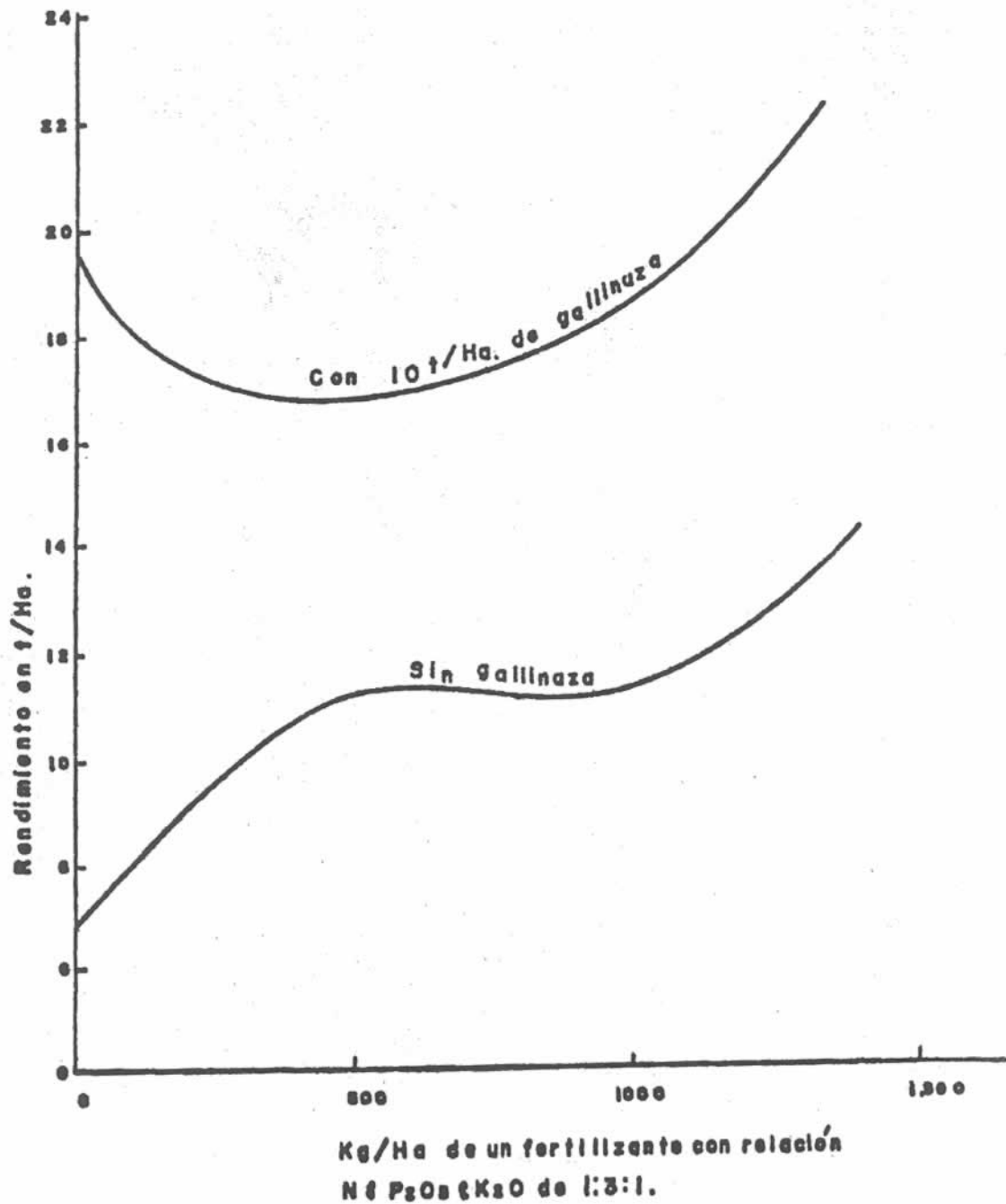


FIGURA 4 Respuesta de la papa a la fertilización con N y materia orgánica, en una rotación papa-avena, en suelos Andepr de la Selva (Rionegro). Datos promedios de 5 cosechas. Al finalizar el ensayo, el contenido de materia orgánica era de 29,7 % para el tratamiento testigo y de 29,1% para el nivel más alto de materia orgánica.



**FIGURA 5.** Respuesta de la papa a la fertilización en localidades de Rionegro, Sonsón, Envigado y Carmen de Vivala (Antioquia). Los contenidos de materia orgánica (%), P en ppm (Bray II) y K intercambiable (meq/100gr), variaron entre 18,7 y 30,4 (M.O) 8,5 y 48,0 (P-ppm, Bray II) y 0,20 a 0,32 (K-meq/100 grs), respectivamente.

TABLA 1. El fósforo y la distribución de sus distintas fracciones en Andosoles de Colombia.

Localidades	Fracciones de fósforo en ppm			Fracciones de fósforo en ppm				
	Total	Orgánico	Inorgánico	P-Fe	P-Al	P-Ca	P-Ocluído	P-Fácilmente reemplazables.
Altiplano de Pasto (Nariño)	974	685	289	52	29	8	200	-
Ipiales (Nariño)	1155	933	222	58	45	30	86	-
Túquerres (Nariño)	777	53	724	64	188	56	389	17
Rionegro (Antioquia)	1300	865	435	16	291	51	71	6
La Selva (Antioquia)	1475	1263	212	83	8	26	94	1

Fracciones de fósforo expresados en porcentaje del total

Oriente Antioqueño 21 perfiles	-	36.3	63.7	6.2	2.8	9.6	46.2	-
-----------------------------------	---	------	------	-----	-----	-----	------	---

ppm = partes por millón. P-Fe = fósforo unido al hierro. P-Al = fósforo unido al aluminio.

P-Ca = fósforo unido al calcio.

Otra fracción abundante de P en los Andepts colombianos (Tabla 1) es la de los fosfatos ocluidos que se presenta entre el 25 y 100 por ciento del P-total. Esta es una fracción que no aporta P a la nutrición de las plantas a menos que el suelo sufra condiciones de fuerte reducción (22).

### Fijación de Fosfatos en Andosoles

Los Andepts son suelos que tienen una alta capacidad de fijación de fosfatos solubles (10, 14, 15, 20, 24, 25, 32, 33, 34, 37, 38, 41). Este proceso se ha atribuido a la presencia de cargas electropositivas en la materia orgánica; en óxidos hidratados de Fe y Al; en minerales arcillosos y en compuestos aluminio-silicatados amorfos como la alofana entre otros. Estos materiales dan origen a la adsorción de los iones fosfatados  $[(H_2PO_4^-) \text{ y } (HPO_4^{2-})]$  presente en la solución del suelo (41). Los fosfatos pueden también reaccionar con cationes  $Fe^{++}$ ,  $Al^{+++}$  y  $Ca^{++}$  para formar fosfatos de calcio, hierro y aluminio que se precipitan ó transforman en fosfatos complejos de baja solubilidad (22). De acuerdo con Zunino (41), el fosfato adsorbido físicamente a la alofana se transforma paulatinamente a formas asociadas al humus, a través de puentes de Al. La alofana estaría desprendiéndose continuamente de su carga activa, y tal vez saturada de fosfato, más externa. Este proceso produciría la exposición de nuevas superficies, de alta capacidad de retención de fosfato, lo que daría origen a la reactivación del proceso físico-químico de adsorción. Según Zunino (41) esto explicaría el carácter no saturante del proceso de fijación de P en suelos alofánicos. Existen numerosas investigaciones en Colombia que denotan la importancia de este proceso en suelos Andosoles. En este sentido León (20) aplicó 800 ppm de P en un Andept de "La Selva" (Rionegro) los que se fijaron completamente. Según este autor, los principales compuestos responsables de la fijación del P fueron la alofana, el Al-intercambiable, el Al-ligado a la materia orgánica y los sesquióxidos amorfos de Fe y Al (20). Resultados similares a los de León (20) obtuvieron Ospina (29), Munévar (25), Sánchez (Figura 6) (38), Gutiérrez y Rondín (14), Rodríguez (31, 32, 33, 34, 37), Gualdrón y Herrón (15) entre otros. Todos estos investigadores encontraron fijaciones de más del 90 por ciento del P aplicado, cuando adicionaron entre 800 y 1600 ppm de P. En estos suelos, sin aplicaciones de P, se presentó el siguiente orden decreciente en el contenido de diferentes fracciones de P: P-orgánico > P-inorgánico (P-ocluido - P-Fe > P-Ca > P-Al > P-Fr). Cuando se aplica este elemento generalmente el proceso de precipitación, que forma fosfatos de baja solubilidad, es más intenso y significativo que el de adsorción. Las formas más frecuentes en las cuales se transforma el P aplicado son: P-orgánico, P-ocluido, P-Fe y P-Ca (15, 35); en algunos estudios como en el de Gualdrón y Herrón (15), el P-Al resultó ser una fracción importante.

### Efecto Residual de la Aplicación de Fosfatos en Andosoles

Debido a la alta fijación de fosfatos en los Andepts, la acumulación de P disponible es escasa cuando se realizan fertilizaciones sucesivas en el mismo lote con este elemento. Rodríguez (33) estudió el efecto del P en una rotación papa-avena que duró 10 años consecutivos. En las parcelas

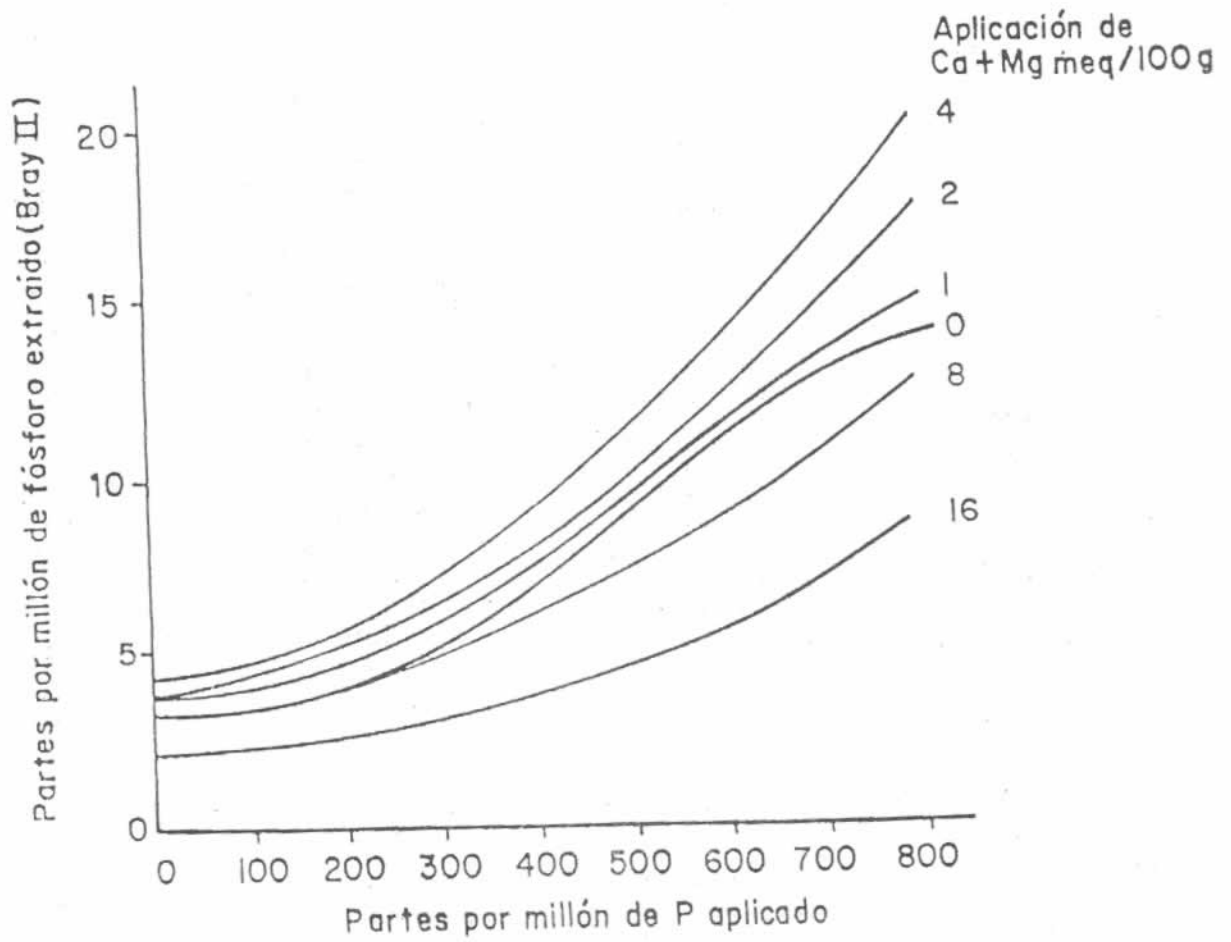


FIGURA 6. Influencia de varios niveles de Ca+Mg sobre la fijación de P en un Andept de la "Selva" (Rionegro) (Sánchez, 1.974).

que al finalizar el ensayo habían recibido 0, 900, 1800 y 2700 kg de  $P_{205}$ /ha contenían, en ese orden, 4.4; 7.0; 12.4 y 13.9 ppm de P (Bray II), presentándose en todas las parcelas una fijación de P en el suelo y una remoción ejercida por los cultivos equivalentes al 95% ó más. En esta rotación a más P aplicado más producción de papa, alcanzándose el máximo rendimiento con 300 kg de  $P_{205}$ /ha en cada una de las nueve siembras. Al finalizar el experimento quedaron en el suelo suficientes residuos de P para obtener buenas cosechas de avena en rotación, cuando se aplicaron más de 200 kg de  $P_{205}$ /ha a la papa en cada siembra. Rodríguez (34) en otra rotación papa-pastos a ocho años encontró un ligero aumento en el P-disponible por efecto de la mayor aplicación de P. Las parcelas al finalizar el ensayo habían recibido 200, 600, 1200 y 1800 kg de  $P_{205}$ /ha. Aquellas parcelas sin fertilizar, pero con aplicaciones de 200 y 1800 kg de  $P_{205}$ /ha contenían 3.6 y 3.7 pp de P (Bray II), lo cual indica una extracción de los cultivos y una fijación en el suelo de 99 por ciento. En esta rotación, la mayor producción de papa se obtuvo con las dosis máxima de 450 kg de  $P_{205}$ /ha (Figura 7). La papa dejó residuos de P suficientes para buenas cosechas de pastos cuando los suelos habían recibido 600 kg de  $P_{205}$ /ha ó más. Rodríguez y León (32), en un Andept de "La Selva" sin cultivar, establecieron un experimento con maíz a ocho siembras consecutivas. En la primera siembra para obtener altos rendimientos se necesitaron 400 kg de  $P_{205}$ /ha y en las siembras subsiguientes 100 a 200 kg de  $P_{205}$ /ha. Al finalizar el experimento se hizo una nueva siembra de maíz a la que no se le aplicó fósforo para observar en este cultivo el efecto residual. La mayor producción, (4.0 ton/ha), se obtuvo en la parcela que había recibido un total de 1600 kg de  $P_{205}$ /ha, en comparación con la de 800 kg de  $P_{205}$ /ha que rindió 3.28 ton/ha y el testigo de P que solo produjo 0.78 ton/ha. En estas parcelas el contenido de P fue 6.1 3.6 y 1.9 ppm (Bryan II) y la fijación de fosfatos y remoción por el maíz de más de 99.3 por ciento.

#### Efecto de los Abonos Orgánicos en la Disponibilidad del P

La aplicación de abonos orgánicos y enmiendas influyen en la disponibilidad del P en los Andepts de Anticquia, de acuerdo con experimentos realizados por Rodríguez (32, 33, 34, 36, 37), Rodríguez y León (32), Sánchez (38), Munévar y Wollum (26), Cadavid (8) entre otros. La tendencia encontrada por estos investigadores es la de que los niveles más bajos utilizados de  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$  y escorias de alto horno, hasta 5 - 7 ton/ha, disminuyen la fijación del P aplicado y se mejora ligeramente su disponibilidad; mientras que dosis más altas de estas enmiendas, generalmente originan efectos contrarios a los descritos (Figura 6). Además, cuando se aplican dosis altas de cal, casi siempre se disminuye el rendimiento de la papa (Figura 7). Ospina (29) explica este proceso considerando que un encalamiento excesivo, necesario en estos suelos para elevar el PH a valores superiores a 6.0, es contraproducente porque se puede inducir la hidrólisis del Al-complejado e interestratificado con la materia orgánica, lo cual provocaría la precipitación del P aplicado por el hidróxido de Al liberado. Por su parte, Rodríguez y Lotero (31) consideran que dicha fijación puede ocurrir a través del esquema arcilla-Ca-fosfato y, de acuerdo con Fassbender (9), en estos suelos Dystrandept, el calcio es incapaz de bloquear las reacciones de los fosfatos con la alofana y de los complejos formados entre el Al y la materia orgánica.

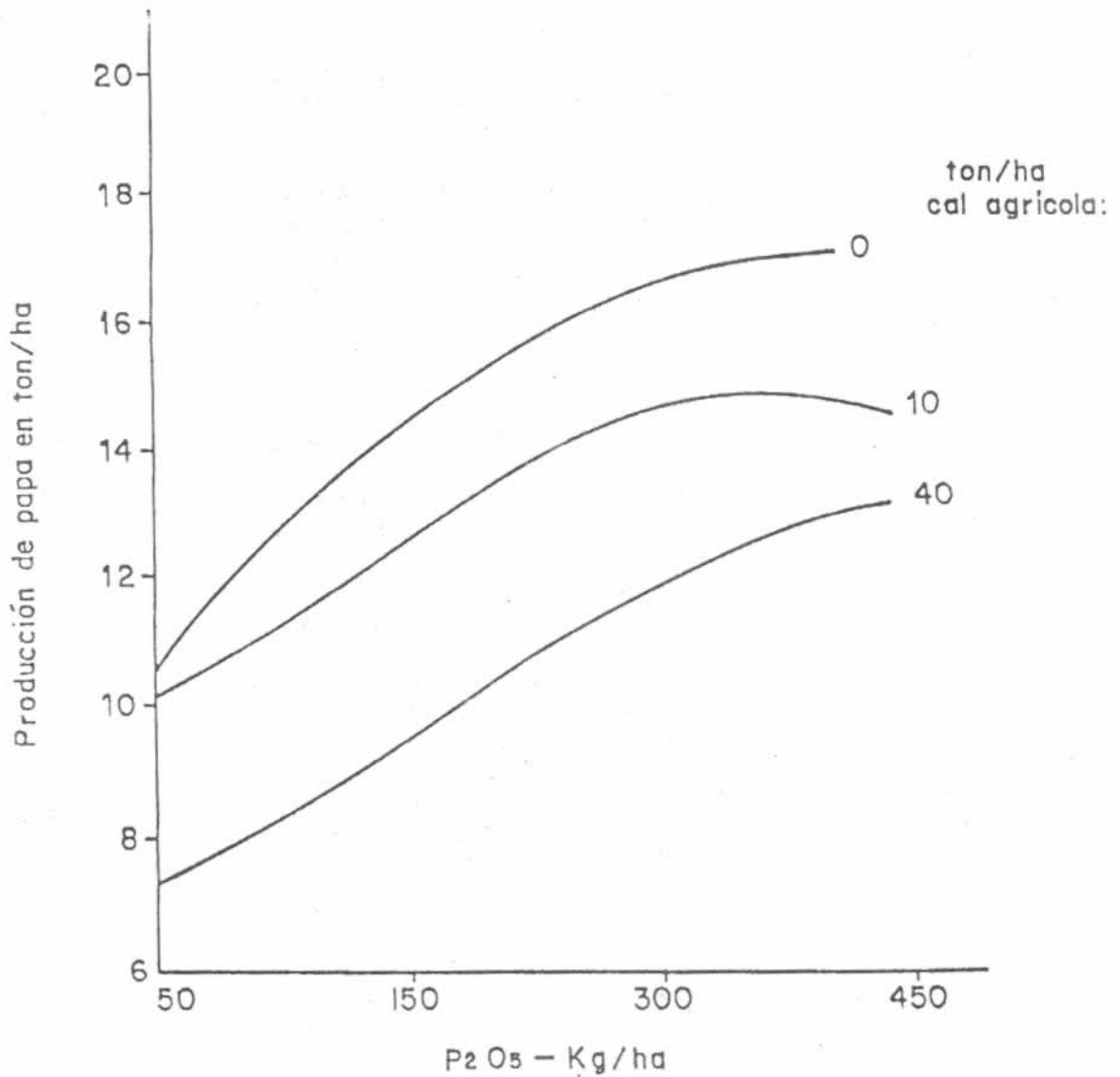


FIGURA 7. Respuesta de la papa a la aplicación de P y Cal, en una rotación papa-pastos, en un Andept de la "Selva" (Rionegro)(Rodriguez, 1.973).

En experimentos de campo realizados en Andepts del Oriente y Altiplano Norte en el Departamento de Antioquia, se ha logrado establecer que los estiércoles de vacunos (bovinaza), gallinas (gallinaza) y cerdos (marranaza), mantienen e incluso mejoran la fertilidad de los suelos, cuando estos se someten a cultivos de papa u otros. En la Tabla 2 se resume parte de la información existente y la cual se refiere a la aplicación en la papa de cinco y 10 ton/ha de gallinaza en cada siembra, en una rotación papa-avena a cinco años (33) ó en otra rotación similar que duró 10 años pero en la que se utilizó 4,0 ton/ha de abono de establo (33) ó en pasto kikuyo, en la zona del Altiplano Norte, donde se hizo una aplicación de marranaza diluída en agua en proporción de 1:10 para una dosis total de aplicación de 141 a 177 kg de P/ha entre el año 1981 y 1982 (8).

Los resultados (Tabla 2) indican que aquellas parcelas que recibieron 36 ton/ha de abono de establo aumentaron, al finalizar el ensayo, su contenido P disponible en 5.7 ppm (Bray II) y las que recibieron 40 ton/ha de gallinaza dieron entre 76.9 y 78.3 partes por millón (Brayn II) más de P que las no abonadas con este material (25). La marranaza diluida provocó un aumento del P-aprovechable en 15.76 ppm y 63.53 ppm (Brayn II) para 1981 y 1982 (3).

Varios investigadores han tratado de explicar el efecto de la adición de abonos orgánicos en las propiedades y procesos microbiológicos de los suelos Andosoles. De acuerdo con Zunino (41), Andreux (1), Munévar y Wollum (26) y Blasco (7), la materia orgánica original del suelo en estos Andosoles tiene una baja tasa de mineralización; además, forma compuestos complejos muy estables con la alofana y el Al. Ospina (29) para manejar adecuadamente estos suelos, recomienda varias alternativas complementarias como son enclamientos moderados periódicamente; la aplicación de silicatos y polifosfatos; la aplicación de abonos orgánicos de rápida descomposición y la realización de aradas superficiales infrecuentes. Por su parte Blasco (7) menciona para un buen manejo de estos suelos, el empleo de sustancias orgánicas que incrementen la población y la actividad biológica y como consecuencia la correspondiente mineralización del P-orgánico. Todas estas prácticas podrían activar la población microbiana original del suelo y aumentar la degradación de la materia orgánica nativa.

#### Métodos para Extracción de P-Disponible y Respuesta de la Papa a la Fertilización con P en Andosoles de Antioquia

En Antioquia se han utilizado varias soluciones para extraer del suelo el P-aprovechable (31, 32, 33, 34, 37). Estas soluciones son: Bingham (agua destilada); Brayn I ( $\text{NH}_4\text{F}$  0.03 y Hcl 0.025 N); Bray II ( $\text{NH}_4\text{F}$  0.03N + Hcl 0.1 N); Carolina del Norte (Hcl 0.05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025 N); Olsen (0.5 N de  $\text{Na}_2\text{HCO}_3$  a un pH 8.5) y Troug ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.002 N taponado a pH 3.0 con  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ó  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). De estas soluciones, las de Bray II y Troug son las que mejor correlación ha mostrado entre el P extraídos y la respuesta al P en varios cultivos, incluida la papa. Experimentos sobre fertilización de papa, en suelos con menos de 40 ppm de P (Bray II) dan una respuesta al P como la indicada en la Figura 8 (27, 28, 30, 33, 34) y cuando se aplica P y gallinaza, la respuesta es como la de la Figura 9 (33). Estos datos y otros no referenciados en este artículo, indican rendimientos simila-

TABLA 2. Influencia de la fertilización química y orgánica en las propiedades químicas en Andosoles de Antioquia.

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	Cantidad total(ton/ha) de estiércoles aplicados			Cantidad de fósforo extraído (ppm) por varios métodos				
	Aplicados, kg/ha	Cal	Gallinaza	Abono de Establo	Bray I	Bray II	Troug	Olsen
0	5	0	0	0	3.3	4.4	4.7	10.3
2700	0	0	0	0	8.5	18.7	12.4	37.9
2700	5	0	0	0	4.0	13.9	12.9	29.2
2700	5	0	36	0	4.7	17.3	18.6	35.2
300	0	0	0	0		27.1		
300	0	40	0	0		104.0		
1200	0	0	0	0		57.2		
1200	0	40	0	0		135.5		
P-aplicados Kg/ha como ma- rranaza diluida	año-considerado			Contenido de P, en tres años considerados				
0	1980					1.64		
141	1981					17.40		
177	1982					65.17		

res en la papa cuando se aplican 300 - 450 kg de  $P_2O_5$ /ha en comparación con 75-200 kg de  $P_2O_5$ /ha y hasta 5.0 ton/ha de gallinaza de piso de ponedoras.

### Métodos de Aplicación de Fósforo en Papa

La inhibición es un fenómeno que actúa en las semillas de papa, para equilibrar la diferencia de potenciales, cuando estas se sumergen en agua. Aprovechando este mecanismo sencillo, al sumergir papa bien germinada en una suspensión de superfosfato triple al tres por ciento en agua por 24 horas y sembrando las semillas inmediatamente después de sacarlas al aire, se obtuvieron rendimientos más altos de 16 ton/ha de papa con la sola aplicación de 100 a 200 kg de  $P_2O_5$ /ha (18). El método tradicional de aplicación de P en corona ó en surco, separando el fertilizante cinco centímetros de la semilla al momento de la siembra, es el más eficiente como sistema de fertilización edáfica del P (33, 34, 35). El fraccionamiento de fertilizantes completos, que incluyen 300 a 450 kg de  $P_2O_5$ /ha, no ha resultado en un aumento significativo de la producción cuando se comparan aplicaciones divididas del fertilizante, en partes iguales, a la siembra y al momento del primer aporque (30 a 45 días de siembra) con aplicaciones totales a la siembra.

### Potasio

El contenido de K-intercambiable, en los suelos productores de papa, varía entre 0.05 y 1.4 meq/100 g de suelo. Estas tierras, debido a sus buenas propiedades físicas como estructuras en migajón, texturas medias y porosidad total alta, permiten una alta tasa de lixiviación de  $K^+$  de los horizontes superficiales hacia el sub-suelo. En estos suelos, los experimentos indican respuesta positiva y significativa de la papa a las aplicaciones de Potasio (Figura 10 y Tabla 3), en suelos con contenidos menores de 0,6 meq de K/100 g de suelo. Cuando se aplican abonos orgánicos, gallinaza, se aumenta el K-intercambiable en el suelo (Tabla 4), reduciéndose la dosis de K a aplicar. El encalamiento excesivo, en cambio, tiene a disminuir el K en el suelo y el rendimiento de la papa (Tabla 4).

TABLA 3. - Respuesta de la papa a la aplicación de K en suelos de Antioquia.

Tratamiento, kg/ha			Rendimiento ton/ha						
			Localidades						
N	$P_2O_5$	$K_2O$	Zancudito	Espinal	Pantanillo	Espinal	Lana	Palmira	Pro- medio
100	300	0	19.0	16.4	22.1	32.2	33.1	25.6	24.7
100	300	50	20.8	20.1	16.9	42.4	36.4	28.2	27.4
Meq de K/100 g			0.17	0.42	0.62	0.09	0.20	0.15	

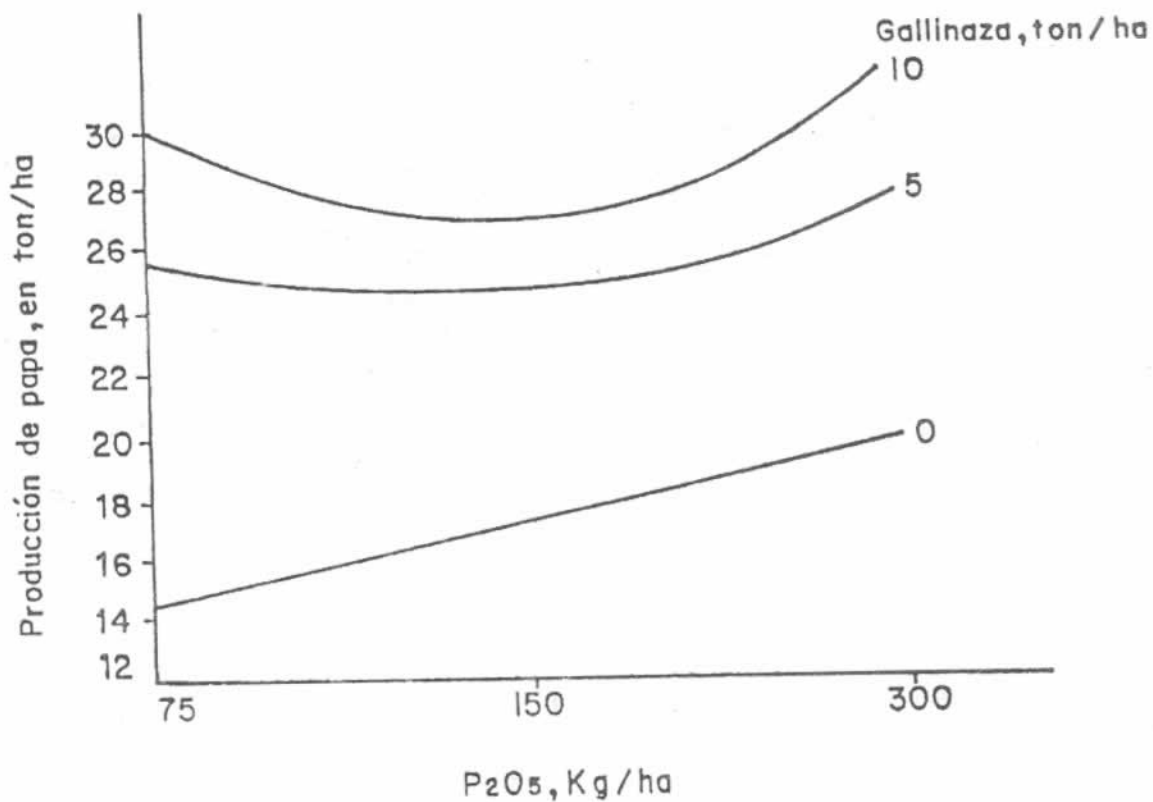


FIGURA 9. Respuesta de la papa a la aplicación combinada de P y gallinaza en una rotación papa-avena, en un Andept de la "Selva" (Rionegro) (Rodríguez, 1.972.)

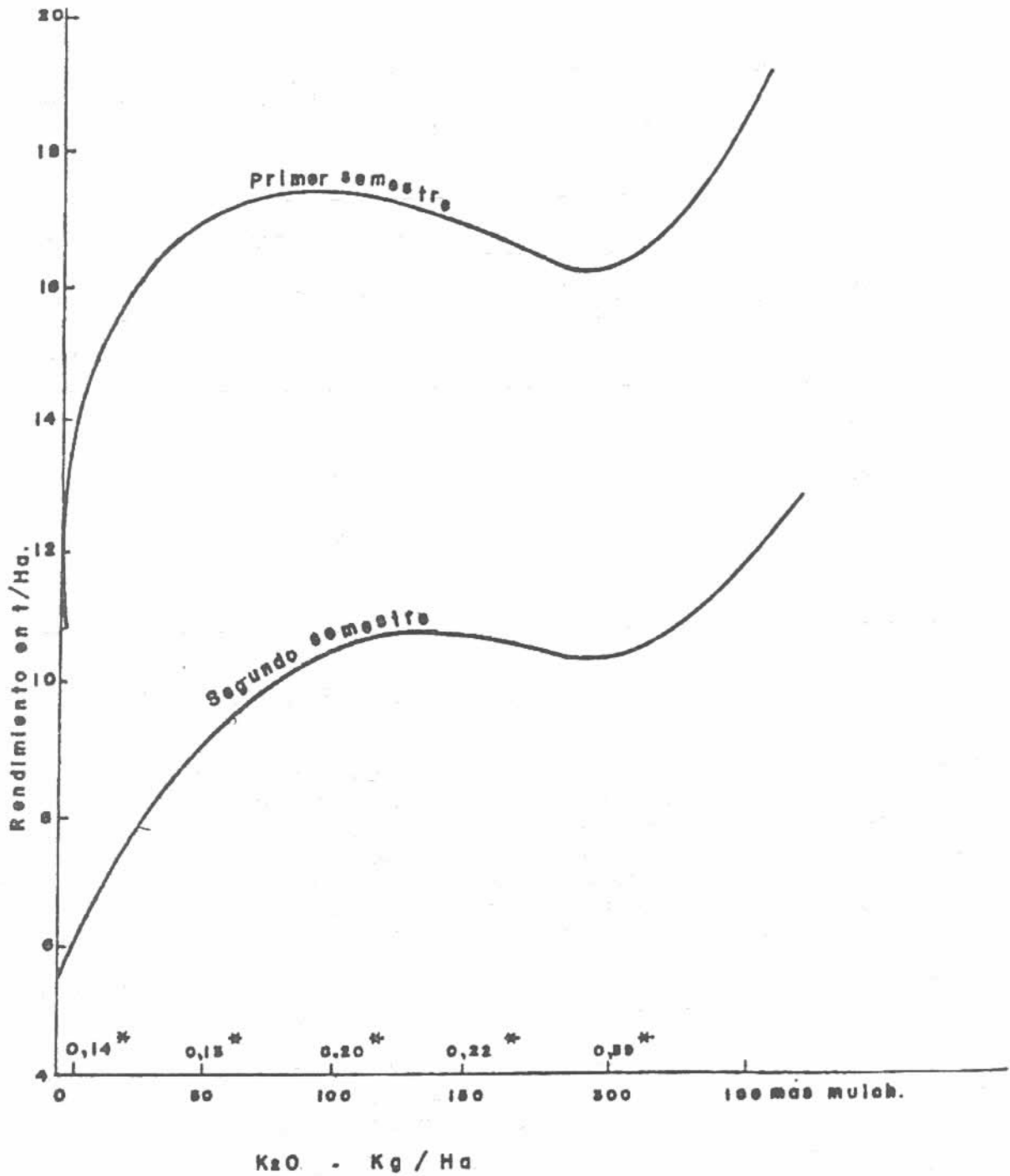


FIGURA 10 Respuesta de la papa a las aplicaciones de Ky de un mulch, en un suelo Andept de La Selva (Rionegro).  
Datos promedios de 6 cosechas.  
\* Contenido de K, en meg / 100 gramos de suelos, al finalizar el ensayo.

TABLA 4.- Influencia de la fertilización con  $K^+$ , en un suelo Andept de la Selva (Rionegro), en la producción de papa. Rendimiento en t/ha, promedio de 10 cosechas.

Tratamiento (Kg/ha)					Rendimiento en t/ha	K-en el suelo al finalizar el expe- rimento meq/100 gramos
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cal (t/ha)	Gallinaza (t/ha)		
100	300	0	5	0	7.7	0.10
100	300	100	5	0	13.0	0.14
100	300	100	5	4	16.8	0.21
100	300	100	0	0	12.3	0.19

#### SISTEMA DE APLICACION DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos se deben aplicar en forma localizada en el fondo del surco, en corona o en bandas laterales al lado y debajo de la semilla. La semilla se debe separar del fertilizante por una delgada capa de suelo. La mejor época de aplicación es al momento de la siembra. El reabonamiento o el fraccionamiento, especialmente con Nitrógeno, ofrece el peligro de que se pierda su efecto por falta de humedad adecuada en el suelo en el momento de hacerlo (28, 32, 34, 35).

La materia orgánica se aconseja aplicarla conjuntamente con los fertilizantes completos, al momento de la siembra, en la forma antes descrita.

La Cal, cuando se recomienda, se puede aplicar únicamente en los surcos, al fondo incorporada con el suelo. En esta forma se economiza aproximadamente un 50 a 75 por ciento de la Cal recomendada para aplicación al voleo. Con esta forma de aplicación de la Cal no es necesario anticipar el encalamiento un mes a la siembra (28, 32, 34, 35).

#### RESUMEN

La fertilización y las recomendaciones, con base en los resultados obtenidos, se incluyen en la Tabla 5.

TABLA 5. - Recomendaciones para la fertilización de la papa en Antioquia.

Contenido de materia orgánica (M.O.) en el suelo, en porcentaje (%)	Dosis de N recomendada en Kg/ha	Fuentes de N	
Bajo - menor de 10%	75 a 150	Urea	
Medio 10 a 20%	50 a 75	Urea	
Alto Mayor 20%	Hasta 50	Urea	

NOTA: Se debe hacer aplicaciones de materia orgánica (Gallinaza) en dosis de 2 a 5 ton/ha.

Contenido de Fósforo (P) en el suelo extraído por el método de Bray II (ppm)	Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> recomendada en kg/ha	Fuente	
Bajo- Menos de 40 ppm	300 a 450	Superfosfato Triple	
Medios 40 a 60 ppm	150 - 300	Superfosfato Triple	
Alto Más de 60 ppm	75 - 150	Superfosfato Triple	

Contenido de Potasio (K) en el suelo, en meq/100 gramos de suelo	Dosis de K <sub>2</sub> O recomendada en kg/ha	Fuente	
Bajo -- Menos de 0.40 meq/100 g	75 a 100	Cloruro o sulfato de Potasio	
Medio 0.40 a 0.60 meq/100 g	50 - 75	Cloruro de Potasio	
Alto Más de 0.60 meq/100 g	25 - 50	Cloruro o sulfato de Potasio	

Contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)	Dosis recomendada en kg/ha	Fuente	Forma de Aplicación
Bajo Menos 3 meq/100 g (Ca) y 1.5 meq/100 g (Mg)	500 - 1000 1000 - 2000	Cal dolomít.	Al surco Al voleo cubriendo el suelo.
Alto Más de 3 meq/100 g (Ca) y 1.5 meq/100 g (Mg)	No se recomienda cal, si el pH > 5 y Al-intercambiable es menor 1.0 meq/100 g.		

BIBLIOGRAFIA

1. ANDREUX, F. 1963. Evaluación de la materia orgánica en Andosoles. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia). 13:35-56.
2. BENAVIDEZ, G. 1972b. Efecto del enclamiento en la mineralización del Nitrógeno en algunos Andosoles. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia) 4:69-81.
3. BENAVIDEZ, G. 1973. Determinación de fósforo orgánico en suelos derivados de cenizas volcánicas. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia). 5:34-42.
4. BEAR, F.E.; BROWN, B.E.; SKINNER, J. 1951. Hunger signs in crops. A symposium, 4a. ed. The Amer. Soc. and Nat. Fert. Assoc. Washington. p. 111-126.
5. BORNEMISZA, E. 1966. El fósforo orgánico en suelos tropicales. Rev. Turrialba. (Costa Rica). 16: 33-38.
6. BLASCO L., M. 1972. Mineralización del Nitrógeno en suelos tropicales y volcánicos. Actividad microbial y Mineralización del Nitrógeno. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia) 4: 83-92.
7. BLASCO L., M. 1974. El fósforo orgánico y su metabolismo en el suelo. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia) 4: 19-43.
8. CADAVID M., C. 1982. Mejoramiento de la fertilidad del suelo en base a la utilización de residuos de porquerizas. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia) 13: 82-93.
9. FASSBENDER, H. W. 1969C. Efecto del enclado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un Andosol de Costa Rica. Rev. Fitotecnia Latinoamericana. (Costa Rica) 6:115-126.
10. FASSBENDER, H., H.; TSCHINKEL, H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de Cupressus lusitanica y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. Rev. Turrialba. (Costa Rica). 24: 141-149.
11. FERNANDEZ S., N. 1964. Estudio general de los suelos del Oriente Antioqueño. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". (Colombia). 4: 1-93.
12. GONZALEZ M., G. 1972. Fraccionamiento del fósforo en suelos volcánicos del Altiplano de Ipiales, Nariño (Colombia) II Panel sobre suelos volcánicos de América. Resúmenes de investigaciones en suelos. Universidad de Nariño. p. 20-23.
13. GUERRERO R., R. 1974. Formas de fósforo y sus relaciones con la fertilidad de los suelos. Rev. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 4: 349-387.

14. GUTIERREZ P. E.; RENDON E., A. 1974. Liberación del fósforo en tres suelos colombianos. Tesis Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
15. GUALDRON A., R.; HERRON F., A. 1979. Fraccionamiento, fijación y liberación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas del Oriente Antioqueño. Bol. Ciencias de la Tierra. (medellín) 4: 59-63.
16. HERMELIN, M. 1973. Depósitos y actividad volcánica cuaternaria en el Norte de la Cordillera Central. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia). 5 43-60.
17. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa Nacional de Suelos, Bogotá, (Colombia). 1978. Absorción de nutrimentos por la papa en suelos de la Sabana de Bogotá (Informe de Progreso). 97-104.
18. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa de Suelos, Bello (Colombia). 1982. Métodos de aplicación de P en Papa. (Informe de Progreso). 18-22.
19. LEON S., A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Rev. Agricultura Tropical. (Colombia) 20: 442-445.
20. LEON S., A. 1967. Chemistry of some tropical soils of Colombia. Ph. D. Dissert. Univ. of California, Riverside. p. 191.
21. LORA S., R. 1973. Estimación del nitrógenodisponible para las plantas en algunos suelos de Colombia. Rev. Suelos Ecuatoriales. (Colombia) 4: 303-316.
22. LOTERO C., J. 1966. Formas de fósforo en el suelo, fijación y aprovechabilidad. Rev. Agricultura Tropical (Colombia) 22: 275-284.
23. LUNA, C. s.f. Anotaciones pedológicas sobre algunos Andosoles de Antioquia. Instituto Colombiano "Agustín Codazzi" (Colombia) (Departamento Agrológico).
24. MONSALVE S., A.; LOTERO C., J. 1972. Efecto residual del P en un suelo negro de Antioquia. Rev. ICA. (Colombia) 7:159-171.
25. MUNEVAR, F. 1978. Efecto del encalado en la fijación de fósforo por diez Andosoles colombianos Rev. ICA (Colombia), 13: 59-68.
26. MUNEVAR, F. WOLLUM A., G. 1983. Factores físicos, químicos y biológicos que influyen en la mineralización de la materia orgánica en Andosoles. Rev. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 13: 57-72.
27. MUÑOZ, A., R. 1983. Efecto de la fertilización y el encalado en la producción de cultivos en relevo papa, maíz y frijol en un

- Dystrand Dept de "La Selva". Estación Experimental "Tulio Ospina". Bello (Antioquia). p 1 - 20.
28. MUÑOZ A., R.; ALVARADO, E.; OSORIO, G. 1984. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a N, P, K, gallinaza y cal dolomítica, en el Altiplano Norte de Antioquia. Estación Experimental Tulio Ospina. Bello (Antioquia). p 1-20.
  29. OSPINA L, O. 1967. Aluminum - organic matter complexis of the horizon of some acid soils Ph. D. Dissert. Univ. of California Riverside p. 140.
  30. RODRIGUEZ J., M. Baird, G.B.; CORREA, J. 1960. Fertilización de papa en Antioquia. Oficina de Investigaciones Especiales, Bogotá (Boletín Técnico No. 5).
  31. RODRIGUEZ J., M.; LOTERO C., J. 1967. Respuesta de la Romana y Alfalfa a fuentes y dosis de fósforo y cal en un suelo orgánico de Antioquia. Rev. ICA (Colombia) . 2: 135-152.
  32. RODRIGUEZ J., M.; LEON S., A. 1972. Fertilización de maíz en suelos negros derivados de cenizas volcánicas de la Penillanura Central de Antioquia. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Resúmenes de investigaciones de suelos. Universidad de Nariño p. 26.
  33. RODRIGUEZ J., M. 1972. Fertilización de una rotación papa-avena en suelos de la Penillanura Central de Antioquia. Rev. ICA (Colombia). 7: 305-328.
  34. RODRIGUEZ J., M. 1973. Fertilización de la rotación papapastos en suelos volcánicos de Antioquia. Rev. ICA (Colombia) 7: 229-243.
  35. RODRIGUEZ J., M. 1973. Fertilización de papa en Antioquia. Pruebas Regionales. Rev. Facultad de Agronomía (Medellín) 28: 18-26.
  36. RODRIGUEZ J., M. 1975. Encalamiento de suelos volcánicos de la Penillanura Central de Antioquia. Rev. ICA (Colombia) 9: 61-76.
  37. RODRIGUEZ J., M. 1976. Estudio de encalamiento en los suelos Andepts. I-aplicación de calcio, magnesio y fósforo en suelos Andepts de Antioquia. Estación Experimental "Tulio Ospina" Bello (Antioquia). p. 1 - 35.
  38. SANCHEZ L, F. 1974. Influencia de enmiendas sobre la fijación de fósforo en rres suelos ácidos colombianos. Tesis de maestría. Escuela de Graduados. Universidad Nacional de Colombia e Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá.
  39. TISDALE S., L.; NELSON W., L. 1966. Soil fertility and fertilizers. 2a. ed. The Macmillan, New York.