

## EFFECTO RESIDUAL Y ACUMULATIVO DEL FOSFORO SOBRE EL RENDIMIENTO DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN CUATRO ANDISOLES DEL ECUADOR

Omar Valverde<sup>1</sup>, Franklin Valverde<sup>2</sup>, Rafael Parra<sup>2</sup>, Marcelo Calvache<sup>3</sup>

### I. INTRODUCCION

El cultivo de papa es uno de los más importantes en la Sierra ecuatoriana; por lo tanto, es una fuente de ingresos considerable para las comunidades rurales y representa un componente fundamental en la economía nacional (Pumisacho y Sherwood, 2002).

De acuerdo al SICA (2006) en la década pasada (1990 - 1999), el país tuvo una producción promedio anual aproximada de 419 mil toneladas métricas, con una tasa de crecimiento de 8.6%, es uno de los principales cultivos tradicionales, su producción esta dedicada en su mayor parte al consumo interno de la población, menos del 5% es para la exportación. La papa está presente en la dieta diaria de los ecuatorianos, especialmente en las familias de bajos ingresos económicos de la Sierra, los que destinan hasta el 10% de sus recursos a la compra del tubérculo.

Los suelos predominantes en la zonas paperas del Ecuador son de origen volcánico, clasificados en el Orden de los Andisoles (Pumisacho y Sherwood, 2002 y Soil Survey Staff, 2003). Se considera que en algunos Andisoles la reacción de fijación de P es muy fuerte y absorben apreciables cantidades de P a través del tiempo. En los Andisoles la fijación de P ocurre en la superficie de la alófana, imogolita y complejos humus-Al, el Al se encuentra quelatado en la superficie de las moléculas de humus pero tiene alta afinidad con el P inmovilizándolo fuertemente (Espinosa, 1993).

El entender la dinámica del fósforo en estos suelos es una de las prioridades para establecer recomendaciones de fertilización acordes con las características de estos suelos y los requerimientos del cultivo de papa.

El objetivo **General** de la investigación fue determinar el efecto de la fertilización fosforada en el rendimiento de papa y en la dinámica del P en los Andisoles; y los objetivos **Específicos** fueron: (1) Evaluar la respuesta del cultivo de papa a la aplicación de niveles crecientes de fósforo, en suelos deficientes en este elemento; (2) Cuantificar el efecto residual y acumulativo del fósforo sobre el rendimiento de papa; (3) Cuantificar la extracción de nutrientes por el cultivo de papa en las diferentes zonas en estudio; (4) Calcular la eficiencia del fertilizante fosfórico; y (5) Realizar el análisis económico de los tratamientos.

### II. METODOLOGIA

La duración de esta investigación es de tres años consecutivos con el cultivo de papa. Los resultados que se presentan en este documento corresponden al segundo año de estudio. Los

---

<sup>1</sup> Universidad Central. Egdo. de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Casilla 24. Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, E.E. Santa Catalina. Casilla 01-17-340. Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Central, Facultad de Ciencias Agrícolas, Director de Tesis, Casilla 24. Quito, Ecuador.

experimentos estuvieron ubicados en zonas paperas de las provincias de Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Ubicación y algunas características de los suelos en estudio, 2006.

Ubicación	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3	Localidad 4
Provincia	Bolívar	Bolívar	Chimborazo	Cotopaxi
Cantón	Chimbo	Guaranda	Guano	Latacunga
Parroquia	La Magdalena	Guanujo	Sta. Fe de Galán	Belisario Quevedo
Localidad	Cochabamba	Quinua Corral	Hda. Santa Ana	Chaupi Contadero
Latitud	1° 40' 21" S	1° 29' 53" S	1° 30' 12" S	0° 58' 53" S
Longitud	79° 06' 18" O	78° 57' 54" O	78° 35' 25" O	78° 32' 29" O
Altitud	2850 m.s.n.m.	3470 m.s.n.m.	3630 m.s.n.m.	3280 m.s.n.m.
Topografía	Plano	Ondulado	Ondulado	Ondulado
Textura	Franco	Franco	Franco arenoso	Franco arenoso
P (ppm)	8 B	20 M	25 A	10 M
M.O. (%)	13,72 A	10,30 A	4,11 M	7,50 A

A= Alto, M= Medio, B= Bajo

Los factores en estudio fueron:

- 1) Dosis de fósforo (kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):** D1 = 150, D2 = 300 y D3 = 450
- 2) Efecto de la aplicación sucesiva de fósforo en dos ciclos consecutivos**  
 E1 = efecto residual del fósforo aplicado en el año 2004  
 E2 = efecto acumulativo del fósforo aplicado en los años 2004 y 2005
- 3) Testigo:** T0 = 0 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

**Cuadro 2.** Tratamientos evaluados en el segundo ciclo de papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2005.

Tratamiento No.	Nomenclatura	Frecuencia de aplicación de Fósforo	
		Primer ciclo	Segundo ciclo
		kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/ciclo	
1	E1D1	150	0
2	E2D1	150	150
3	E1D2	300	0
4	E2D2	300	300
5	E1D3	450	0
6	E2D3	450	450
7	T0	0	0

En el Cuadro 2 se reportan los tratamientos para el segundo ciclo de investigación. El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. El tamaño de parcela de 33 m<sup>2</sup> (6 m x 5.5 m), cinco surcos de 6 m de largo, la distancia entre surcos 1.10 m y entre plantas 0.30 m; parcela neta de 17.82 m<sup>2</sup> (3.30 m x 5.40 m).

La recomendación general de fertilización fue de 150-60 y 40 kg/ha de N-K<sub>2</sub>O y S, respectivamente; el fósforo se aplicó de acuerdo a los niveles establecidos (Cuadro 2). El

nitrógeno se fraccionó para dos aplicaciones: siembra y deshierba (45 días después de la siembra); fósforo, potasio y azufre una sola aplicación a la siembra. En las cuatro localidades se sembró la variedad de papa INIAP-Fripapa.

### III. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 1. Porcentaje de Emergencia (%)

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia en el cultivo de papa, no detectó diferencias significativas para los factores en estudio y su interacción, en ninguna de las cuatro localidades. El análisis combinado entre localidades tampoco presentó diferencias significativas. Por lo tanto, la fertilización fosforada no tuvo ningún efecto sobre el porcentaje de emergencia de papa.

Los coeficientes de variación fueron de: 1.32%, 1.86%, 3.25% y 2.98%; y el porcentaje de emergencia de papa fue de 97.95, 95.62, 95.62 y 94.33, para las localidades Cochabamba, Quinoa Corral, Santa Ana y Chaupi Contadero, respectivamente.

#### 2. Altura de Plantas a la Floración (cm)

El análisis de varianza para la variable altura de plantas (Cuadro 3), detectó diferencias significativas al 1%, para Tratamientos (Dosis x Niveles + Testigo sin P), Efectos (Acumulativo y Residual) y la Comparación Factorial (con P) vs Testigo (Sin P), en las cuatro localidades; así como, diferencias estadísticas al 5% para dosis de fósforo. La interacción Efectos x Dosis presentó diferencias significativas al 5% solo en la localidad de Cochabamba.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para altura de plantas de papa (*Solanum tuberosum*) a la floración, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Fuente de Variación	G.L.	Cuadrados medios			
		Cochabamba	Quinoa C.	Santa Ana	Chaupi C.
Total	20				
Repeticiones	2	66.17 <sup>ns</sup>	38.45 <sup>ns</sup>	25.63 <sup>ns</sup>	18.70 <sup>ns</sup>
Tratamientos	6	138.46 **	1007.42**	475.44 **	473.03 **
Efectos E	1	274.17 **	2491.00**	2145.13 **	1686.84 **
Dosis (D)	2	59.09 *	129.47 *	71.17 *	61.43 *
ExD	2	62.44 *	53.48 <sup>ns</sup>	21.50 <sup>ns</sup>	0.68 <sup>ns</sup>
Factorial vs testigo	1	313.50 **	3187.61**	522.16 **	1027.14 **
Error Experimental	12	13.99	21.38	11.73	15.48
CV: (%)		6.59	7.64	7.23	8.39
Promedios (cm)		56.71	60.51	47.38	46.88

\*\* = significativo al 1%

\* = Significativo al 5%

ns = No significativo

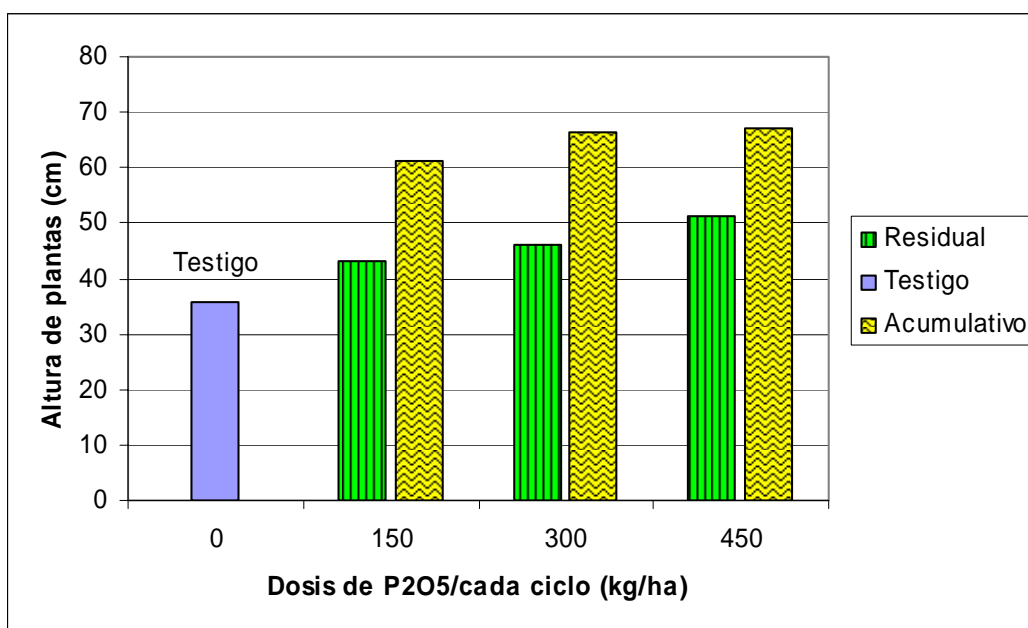
La prueba de Tukey al 5% (Cuadro 4), ubicó en el primer rango los tratamientos E2D2 (efecto acumulativo con 300 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y E2D3 (efecto acumulativo con 450 kg/ha de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), y en el último rango se ubicó el tratamiento T0 (sin fertilización fosforada); este comportamiento fue observado en las cuatro localidades.

La tendencia observada en las cuatro localidades, sobre el crecimiento de las plantas de papa, demuestran la alta capacidad de fijación de fósforo por estos suelos; así, los tratamientos con fósforo acumulativo se encuentran en el primer rango; mientras en el segundo rango se ubican los tratamientos con fósforo residual y el testigo (sin P).

**Cuadro 4.** Promedios y Tukey al 5% para tratamientos de la variable altura de plantas de papa a la floración, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Tratamientos		Altura de plantas a la floración (cm)			
Código	Descripción	Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
E1D1	Efecto residual, 150 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	53.17 bcd	45.50 c	36.67 b	36.67 bc
E2D1	Efecto acumulativo, 150 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	57.50 abcd	75.83 a	55.83 a	55.42 a
E1D2	Efecto residual, 300 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	50.33 cd	55.50 bc	35.83 b	42.00 b
E2D2	Efecto acumulativo, 300 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	65.58 a	76.58 a	62.00 a	61.25 a
E1D3	Efecto residual, 450 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	59.67 abc	60.33 b	43.00 b	41.50 b
E2D3	Efecto acumulativo, 450 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	63.50 ab	79.50 a	63.17 a	61.58 a
T0	Sin fósforo	47.25 d	30.33 d	35.17 b	29.75 c



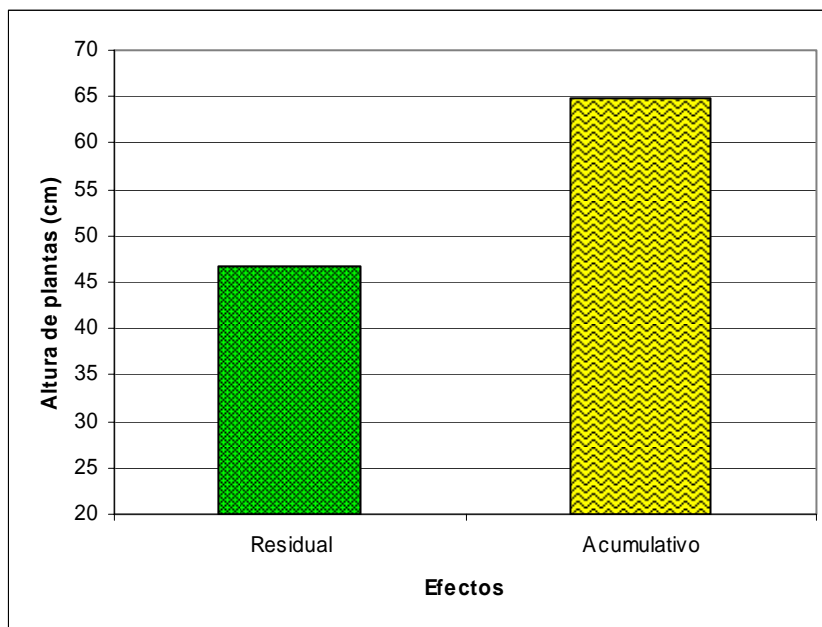
**Gráfico 1.** Efecto de los tratamientos sobre la altura de plantas de papa a la floración; promedio de las cuatro localidades, 2006.

Se nota claramente en las cuatro Localidades (Cuadro 4), que para la variable altura de plantas a la floración, hay una tendencia definida, en la cual se ubican en los primeros rangos los tratamientos que tienen el efecto acumulativo de fósforo, y luego los que tienen el efecto residual; siguiendo la tendencia de las dosis de mayor a menor, y ubicándose en el último rango el Testigo sin fertilización fosforada. Esto se debe a la importancia que tiene el fósforo en el crecimiento de las plantas, según Rodríguez, (1982) y Barrera, (1995) una de las principales funciones del P es la síntesis de azúcares, grasas, proteínas y la división celular, y es esencial durante el periodo inicial de desarrollo de la planta, por lo que uno de los síntomas de su deficiencia es el lento crecimiento y desarrollo de la planta, esto conduce a tener plantas pequeñas ahusadas y algo rígidas y de poco peso. Esta misma tendencia para tratamientos, se observa en el Gráfico 1, al reportar los promedios de las cuatro localidades para altura de plantas.

**Cuadro 5.** Promedios y DMS al 5% para Efectos de la variable altura de plantas de papa a la floración, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Efectos	Descripción	Altura de plantas (cm)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
E1	Efecto residual	54.39 b	53.78 b	38.50 b	40.06 b
E2	Efecto acumulativo	62.19 a	77.31 a	60.33 a	59.42 a

Para las cuatro localidades, los Efectos acumulativo y residual tienen incidencia sobre la altura de plantas (Cuadro 5), siendo el efecto acumulativo el que se presenta siempre en el primer rango y el efecto residual se ubica en el segundo rango.



**Gráfico 2.** Efecto residual y acumulativo del P sobre la altura de plantas de papa a la floración; promedio de cuatro localidades, 2006.

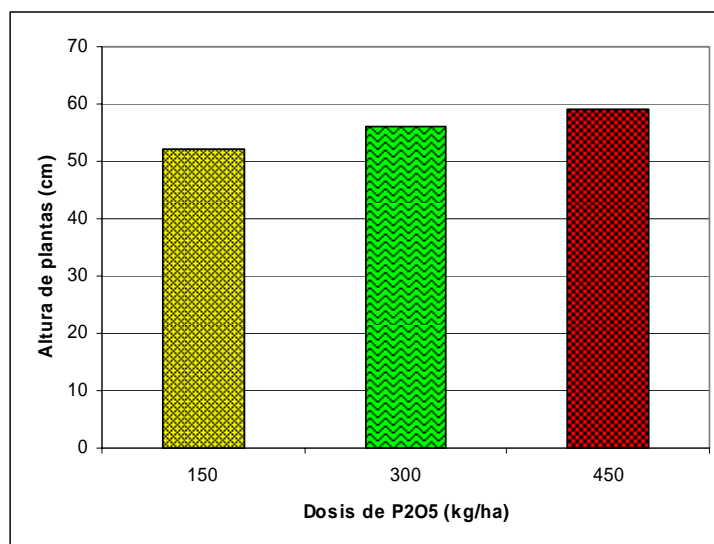
El Gráfico 2, muestra la diferencia en altura de plantas entre el efecto residual y el acumulativo del fósforo al promediar las cuatro localidades. Esto se debe a que en el efecto

acumulativo las plantas tienen un adecuado suministro de fósforo, resultado de la aplicación de fósforo al suelo y del residuo del ciclo anterior; mientras que en el efecto residual las plantas solo tienen lo que quedó del ciclo pasado, lo cual es muy poco para completar su desarrollo potencial; considerando, que estos suelos por su origen volcánico, fijan mucho fósforo, a pesar de que las dosis aplicadas anteriormente hayan sido altas. Como lo dice (Espinosa, 2004), aún con aplicaciones de P muy altas no se logra satisfacer la capacidad de fijación de algunos Andisoles de la Sierra Alta del Ecuador y el efecto residual es bajo.

**Cuadro 6.** Promedios y Tukey al 5% para dosis de P de la variable altura de plantas de papa a la floración, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Dosis	Descripción	Altura de plantas (cm)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
D1	150 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	55.33 b	60.67 b	46.25 b	46.04 a
D2	300 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	57.96 ab	66.04 ab	48.92 ab	51.63 a
D3	450 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	61.58 a	69.92 a	53.08 a	51.54 a

En las localidades de Cochabamba, Quinua Corral y Santa Ana (Cuadro 6), se presenta el efecto de las dosis de fósforo sobre la variable altura de plantas, siendo las plantas más altas con la aplicación al suelo de la dosis de 450 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha; en la localidad de Chupi Contadero, todas las dosis están ubicadas en un mismo rango; lo que se debe a que se toman en cuenta también las dosis del efecto residual; de esta manera, se enmascara la diferencia que hay en el crecimiento de las plantas por efecto de las diferentes dosis aplicadas en el segundo año.



**Gráfico 3.** Efecto de las diferentes dosis de fósforo sobre la altura de plantas a la floración del cultivo de papa; promedio de las cuatro localidades, 2006.

Cuando se realiza el análisis de altura de plantas, promedio de las cuatro localidades; se nota que a pesar de no existir diferencias muy marcadas (Gráfico 3), las diferencias en altura de plantas son significativas estadísticamente lo que demuestra el efecto de las diferentes dosis de fósforo en el crecimiento de las plantas. La tendencia que se observa en este gráfico es

lineal; es decir, conforme se incrementan los niveles de fósforo, se producen incrementos en la altura de las plantas de papa.

**Cuadro 7.** DMS al 5% para el factorial vs testigo de la variable altura de plantas de papa a la floración, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Tratamientos	Descripción	Altura de plantas (cm)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
Factorial	Con fósforo	58.29 a	65.54 a	49.42 a	49.74 a
Testigo	Sin fósforo	47.25 b	30.33 b	35.17 b	29.75 b

La prueba de DMS al 5% (Cuadro 7), detectó dos rangos de significación para el factorial vs testigo, en las cuatro localidades, en el primer rango se encontró al Factorial (con fertilización fosforada) y en el segundo rango el testigo (sin fertilización fosforada).

En promedio de todas las localidades los tratamientos fertilizados con P (factorial) presentaron las plantas más altas; mientras que en el testigo (sin P) el desarrollo de la planta fue limitado, esto debido a la importancia del P en el crecimiento de la planta.

### 3. Rendimiento (TM/ha)

El análisis de varianza para localidades (Cuadro 8), determinó significación estadística para Tratamientos, Efectos, Dosis y la comparación Factorial vs Testigo y no detectó diferencias significativas para la interacción Efectos x Dosis.

**Cuadro 8.** Análisis de varianza para rendimiento de papa (*Solanum tuberosum*), en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
Total	20				
Repeticiones	2	7.16 <sup>ns</sup>	9.77 <sup>ns</sup>	6.24 <sup>ns</sup>	60.08 <sup>ns</sup>
Tratamientos	6	79.62 *	242.23 **	410.36 **	254.23 **
Efectos E	1	160.27 *	653.63 **	1733.04**	833.82 **
Dosis (D)	2	72.50 *	51.30 **	58.86 **	55.21 <sup>ns</sup>
ExD	2	22.05 <sup>ns</sup>	3.39 <sup>ns</sup>	21.06 <sup>ns</sup>	9.33 <sup>ns</sup>
Factorial vs testigo	1	128.35 *	690.36**	569.26 **	562.53 **
Error Experimental	12	17.93	6.52	6.48	19.23
CV: (%)		20.31	14.89	13.39	18.96
Promedio (TM/ha)		20.85	17.15	19.01	23.13

\*\* = significativo al 1%

\* = Significativo al 5%

ns = No significativo

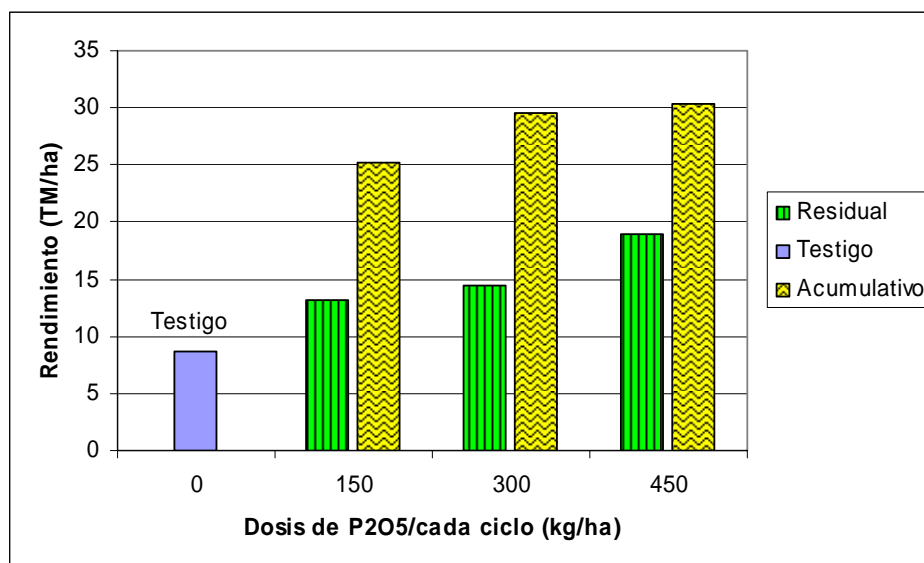
En las cuatro localidades (Cuadro 9), se nota claramente que los tratamientos con efecto acumulativo E2D3 (Efecto acumulativo, dosis de 450 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) y E2D2 (Efecto acumulativo, dosis de 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), son los que obtienen los rendimientos mas altos, siguiendo el orden de las Dosis de mayor a menor; esto por que las plantas disponen de un



suministro de P adecuado, proveniente de la fertilización fosforada del presente ciclo de cultivo y del residuo del ciclo pasado, lo que permite la producción elevada de tubérculos. Se puede observar también que el rendimiento esta directamente relacionado con la cantidad de P aplicado al suelo, ya que como señala (Barrera, 1995) el P es esencial durante la tuberización, la deficiencia de este reduce drásticamente el rendimiento del cultivo de papa. Los tratamientos con efecto residual presentaron rendimientos muy bajos debido a que no tuvieron la cantidad de P suficiente para que puedan expresar todo su potencial de rendimiento, a pesar de esto se ve que hay una diferencia en el efecto residual de acuerdo a las Dosis, mientras mas altas fueron estas fue mayor la residualidad y mayor su rendimiento. Por supuesto, el testigo sin fertilización fosforada, fue el que tuvo el menor rendimiento, demostrando que los Andisoles son deficientes en P, por lo menos para el cultivo de papa.

**Cuadro 9.** Promedios y Tukey al 5% para tratamientos de la variable rendimiento de papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Código	Tratamientos Descripción	Rendimiento (TM/ha)			
		Cochabamba	Quinua C.	Sta. Ana	Chaupi C.
E1D1	Efecto residual, dosis 150 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	17.28 ab	9.99 cd	9.13 c	16.38 bc
E2D1	Efecto acumulativo, dosis 150 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	22.30 ab	22.98 ab	28.02 a	27.61 ab
E1D2	Efecto residual, dosis 300 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	14.82 b	13.25 c	8.36 c	21.30 bc
E2D2	Efecto acumulativo, dosis 300 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	25.00 ab	26.10 a	32.04 a	34.71 a
E1D3	Efecto residual, dosis 450 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	24.52 ab	17.17 bc	16.48 b	17.64 bc
E2D3	Efecto acumulativo, dosis 450 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	27.22 a	27.48 a	32.78 a	33.84 a
T0	Sin fósforo	14.79	3.11 d	6.26 c	10.46 c



**Gráfico 4.** Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de papa; promedio de las cuatro localidades, 2006.



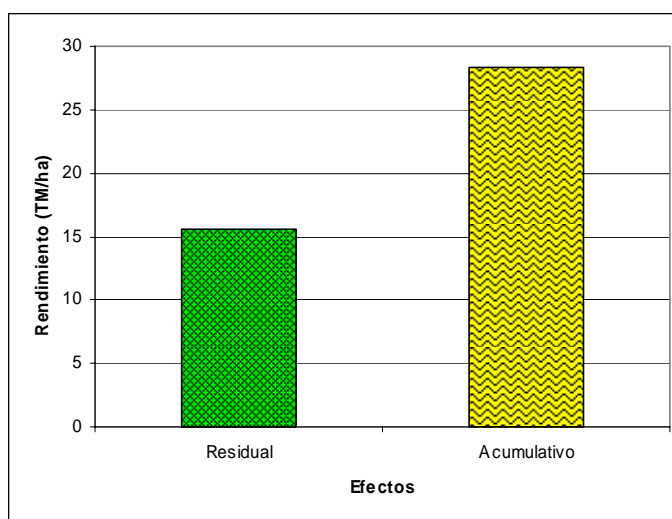
En el Gráfico 4, los promedios para tratamientos de las cuatro localidades de la variable rendimiento, presentan claramente el efecto acumulativo del P, con los rendimientos mas altos para las dosis de 300 y 450 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha; de igual manera, existe un efecto residual de la aplicación de P en el ciclo pasado y que esta residualidad es proporcional a los diferentes niveles de P aplicado en el ciclo anterior; y por último, el testigo con un rendimiento de tubérculo de papa mínimo, el cual es sustentado por el P nativo que le proporciona el suelo, el mismo que es insuficiente para cubrir los requerimientos nutrimentales del cultivo de papa. Según estudios realizados por INIAP, (1991) en Andisoles de la Sierra ecuatoriana sobre el efecto residual del P; para obtener un adecuado rendimiento de tubérculos es necesario aplicar P en cada ciclo del cultivo.

**Cuadro 10.** Promedios y DMS al 5% para Efectos de la variable rendimiento de papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Efectos	Descripción	Rendimiento (TM/ha)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
E1	Efecto residual	18.87 b	13.47 b	11.32 b	18.44 b
E2	Efecto acumulativo	24.84 a	25.52 a	30.95 a	32.05 a

La prueba del DMS al 5% (Cuadro 10), en las cuatro localidades detectó dos rangos de significación estadística para los efectos, ubicándose en el primer rango el E2 (efecto acumulativo), y en el segundo rango el E1 (efecto residual), con el menor promedio de rendimiento de papa.

Cuando se reporta el rendimiento promedio de papa de las cuatro localidades para efectos (Gráfico 5), se observa que éste es elevado para el efecto acumulativo y bajo en el efecto residual, esto se debe a que la residualidad del P en estos suelos es muy baja, debido a su origen volcánico y a la alta capacidad de fijación de fósforo por su composición química y mineralógica, que conduce a la fijación, inmovilización y precipitación del fósforo en el suelo, según lo menciona (Padilla, 2002).



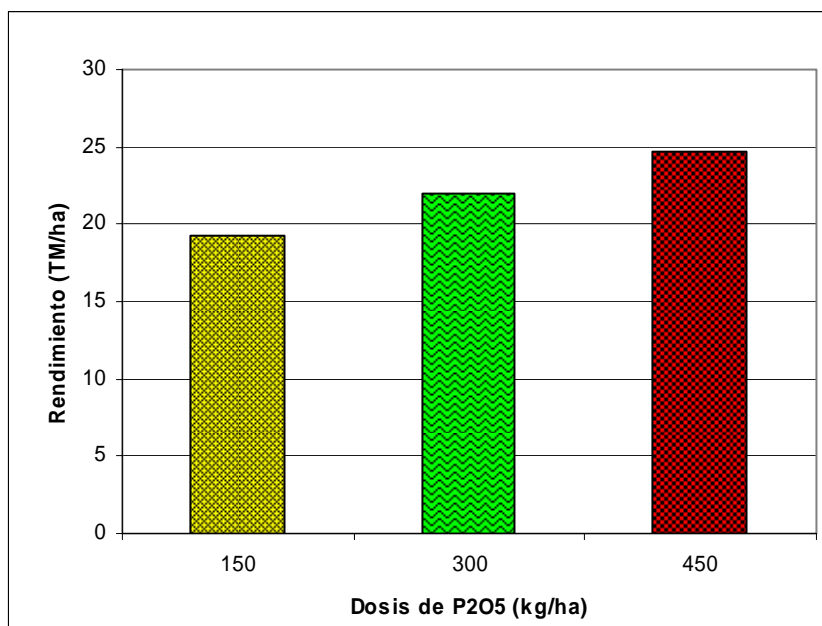
**Gráfico 5.** Efecto residual y acumulativo del fósforo sobre el rendimiento de papa; promedio de cuatro localidades, 2006.

**Cuadro 11.** Promedios y Tukey al 5% para dosis de P de la variable rendimiento de papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Dosis	Descripción	Rendimiento (TM/ha)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
D1	150 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	19.79 a	16.49 b	18.58 b	22.00 a
D2	300 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	19.91 a	19.68 ab	20.20 b	28.01 a
D3	450 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	25.87 a	22.33 a	24.63 a	25.74 a

El rendimiento se ha comportado de manera diferente para cada localidad con respecto a las dosis. En Cochabamba todas las dosis están ubicadas en un mismo rango de significación; en Quinua Corral y Santa Ana, apenas es la dosis de 450 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> la que supera a las otras dosis, y en Chaupi Contadero no hay significación estadística; esto se debe a que se promedian las dosis del efecto residual con las del acumulativo; minimizando la diferencia en el rendimiento de papa entre las diferentes dosis.

Además, existen otros factores que intervienen en la repuesta de los cultivos a la fertilización fosfórica como son: condiciones climáticas, características físicas, químicas y biológicas del suelo, el cultivo y manejo. Todos estos factores influyen en la disponibilidad del fósforo en el suelo y en la capacidad de absorción de P por el cultivo.



**Gráfico 6.** Efecto de las dosis de fósforo sobre el rendimiento de papa; promedios de las cuatro localidades, 2006.

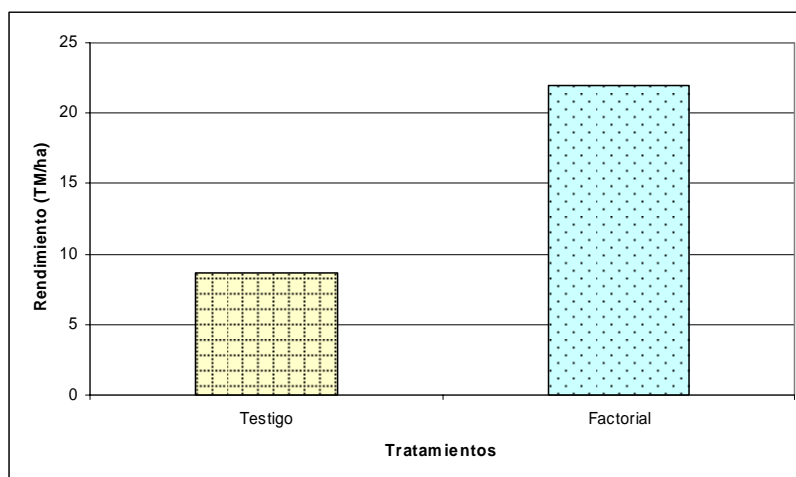
En el Gráfico 6, se presenta los rendimientos promedios de papa de las cuatro localidades para dosis de fósforo; en general se aprecia incremento en el rendimiento por acción de las dosis crecientes de fósforo aplicadas al suelo.

**Cuadro 12.** Promedios y DMS para la comparación factorial vs testigo en rendimiento de papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Tratamientos	Descripción	Rendimiento (TM/ha)			
		Cochabamba	Quinua C	Santa Ana	Chaupi C.
Factorial	Con fósforo	21.86 a	19.50 a	21.14 a	25.25 a
Testigo	Sin fósforo	14.79 b	3.11 b	6.26 b	10.46 b

La prueba del DMS al 5% (Cuadro 12), en las cuatro localidades, determinó dos rangos de significación para el Factorial vs testigo, en el primer rango se ubicó el factorial (con fertilización fosforada) y en el segundo rango el testigo (sin fertilización fosforada).

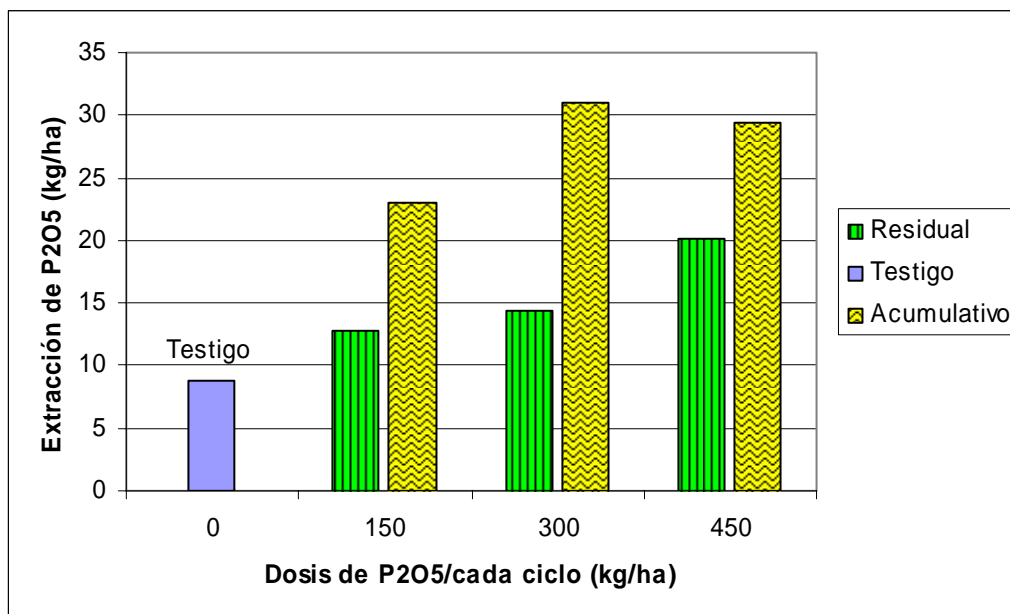
En el Gráfico 7, se reportan los rendimientos promedios de las cuatro localidades, para la comparación entre el factorial (con P) y el testigo (sin P); se nota claramente la diferencia que existe entre los tratamientos fertilizados con P frente al testigo sin fertilización fosforada; en los primeros se presentan rendimientos altos con relación al testigo el cual es realmente bajo, lo que comprueba que en el suelo no existe P suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo de papa, en ninguna de las cuatro localidades, a pesar de que los resultados del análisis inicial de P en el suelo, determinaron rangos de concentración de P, alto, medio y bajo para las diferentes localidades (Cuadro 1).



**Gráfico 7.** Comparación entre el testigo y el factorial, de la variable rendimiento de papa; promedio de las cuatro localidades, 2006.

#### 4. Extracción de fósforo por el Cultivo de Papa

El análisis de varianza para extracción de fósforo por el cultivo de papa, en las cuatro localidades detectó diferencias significativas para tratamientos, efectos, dosis y la comparación Factorial con el testigo y ninguna significación para la interacción efectos x dosis de fósforo.



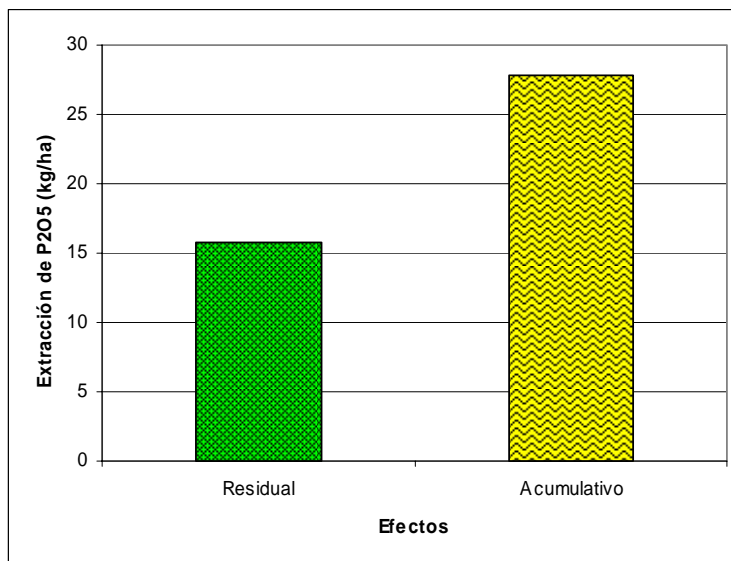
**Gráfico 8.** Efecto de los tratamientos sobre la extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por el cultivo de papa; promedios de las cuatro localidades, 2006.

En el Gráfico 8, la extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promedio de las cuatro localidades, al igual que en el rendimiento se nota al efecto acumulativo con los promedios de extracción mas altos; solo que a diferencia del rendimiento, aquí observamos que a partir de la dosis de 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> la extracción disminuye un poco, esto se puede deber a que dosis muy altas de P en el suelo, producen desbalances con otros nutrientes; esto reduce en una pequeña proporción la absorción de estos y por ende de P; los tratamientos con efecto residual tienen promedios bajos de extracción, pero superiores al testigo, lo que demuestra que existe residualidad del P del ciclo pasado y esta aumenta en función del incremento en los niveles de P aplicados anteriormente.

**Cuadro 13.** Promedios y DMS al 5% para efectos en extracción de fósforo en papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Efectos	Descripción	Extracción de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
E1	Efecto residual	18.29 b	11.06 b	13.42 b	20.28 b
E2	Efecto acumulativo	22.28 a	19.31 a	32.02 a	37.75 a

El las localidades de Cochabamba, Quinua Corral, Santa Ana y Chaupi Contadero la prueba de DMS al 5%, determinó dos rangos de significación (Cuadro 13), en el primer rango se encontró a E2 (efecto acumulativo) y en el segundo rango E1 (efecto residual).



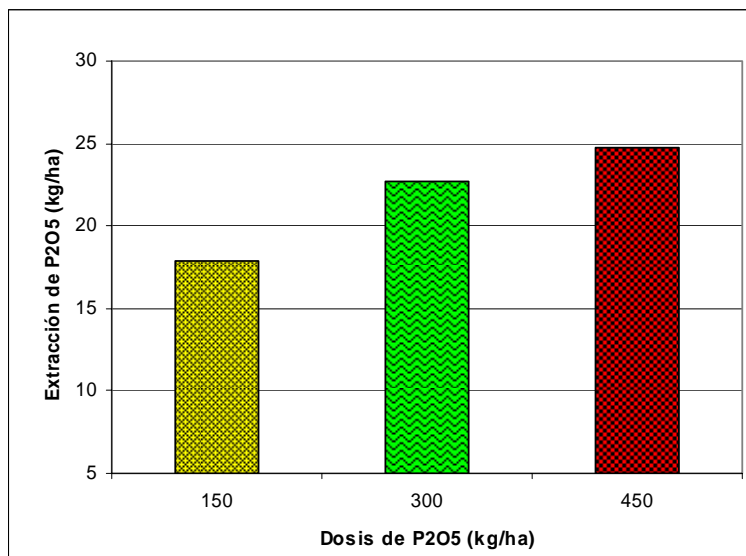
**Gráfico 9.** Efecto residual y acumulativo del P sobre la extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por el cultivo de papa; promedio de cuatro localidades, 2006.

En el Gráfico 9, se aprecia la diferencia en extracción de fósforo entre el efecto residual y acumulativo; el acumulativo extrajo mucho más fósforo, ya que al tener a su disposición todos los nutrientes en cantidades adecuadas y con un correcto manejo cultural y fitosanitario, absorbe todos los nutrientes que necesita para desarrollar su potencial genético y producir plantas grandes, frondosas, con buen rendimiento de tubérculos; mientras que los tratamientos con efecto residual, a pesar de tener todos los nutrientes, el P no es suficiente y absorbe solo lo que tiene a su disposición y las plantas no pueden desarrollar todo su potencial genético. Estos resultados demuestran que en suelos deficientes en fósforo, la aplicación de este elemento al suelo incrementa la absorción de fósforo y de los demás nutrientes esenciales para las plantas.

**Cuadro 14.** Promedios y Tukey al 5% para dosis de fósforo de la variable extracción de fósforo en papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Dosis	Descripción	Extracción de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			
		Cochabamba	Quinua C.	Santa Ana	Chaupi C.
D1	150 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	17.37 b	11.13 b	19.93 b	23.08 b
D2	300 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	19.56 ab	15.81 a	21.86 ab	33.77 a
D3	450 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	23.91 a	18.62 a	26.37 a	30.20 a

Tukey al 5% detectó dos rangos de significación para las dosis (Cuadro 14), en las cuatro localidades, en el primer rango de significación están las dosis D3 (450 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) y D2 (300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) y en el segundo rango de significación la dosis D1 (150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha).



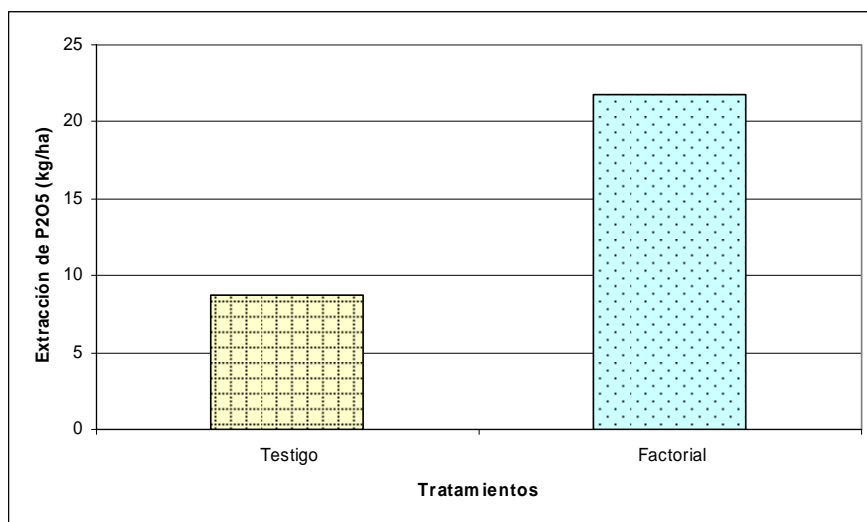
**Gráfico 10.** Efecto de las dosis de fósforo sobre la extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por el cultivo de papa; promedio de las cuatro localidades, 2006.

Es obvio, que mientras mayor cantidad de P hay disponible en el suelo, el cultivo absorberá mas P de este, mientras no sobrepase los valores tolerables por dicho cultivo, como lo indica el manual de fertilidad del INPOFOS, (1997), uno de los factores que afecta la disponibilidad del P para que lo puedan absorber los cultivos es el contenido de este en el suelo; para una producción óptima de los cultivos es importante mantener altos niveles de P en el suelo. Es lo que se observó en el presente estudio, en todas las localidades, los tratamientos con dosis de P altas absorbieron mucho mas P que los tratamientos con dosis de P bajas. Esto se observa claramente en el Gráfico 10.

**Cuadro 15.** Promedios y DMS al 5% para el factorial y testigo de la variable extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en papa, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Tratamientos	Descripción	Extracción de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			
		Cochabamba	Quinua Corral	Santa Ana	Chaupi
Factorial	Con fósforo	20.28 a	15.19 a	22.72 a	29.02 a
Testigo	Sin fósforo	13.17 b	3.10 b	8.73 b	9.84 b

En las cuatro localidades, DMS al 5% para la comparación Factorial vs testigo (Cuadro 15), encontró dos rangos de significación; en el primer rango se ubicó el Factorial (Fertilización fosforada) y en el segundo rango el Testigo (Sin fertilización fosforada).



**Gráfico 11.** Comparación entre el testigo (sin P) vs el factorial (con P), sobre la variable extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en papa; promedio de las cuatro localidades, 2006.

Al factorial pertenecen todos los tratamientos que han sido fertilizados en el primero y segundo ciclo; mientras que el testigo es sin fertilización fosforada; es por eso, que el factorial tiene P disponible del aplicado en el ciclo anterior y el actual, por lo tanto su absorción es mayor que en el testigo (Gráfico 11), que solo dispone del abastecimiento natural de fósforo del suelo, que como se ha visto anteriormente es muy poco y por ende la cantidad de P absorbido es baja.

### 5. Eficiencia del fósforo aplicado al suelo

Para el cálculo de la eficiencia de los tratamientos acumulativos se tomo como cantidad de P absorbido por el testigo (sin P) a la cantidad absorbida por el tratamiento residual de cada una de las dosis, con el fin de eliminar el error en el cálculo que se produciría por el P aplicado en el primer ciclo; y para los tratamientos residuales se utilizó el tratamiento testigo (sin P).

En el Cuadro 16, se observa que en todas las localidades la eficiencia de los fertilizantes fosforados en Andisoles es muy baja. Así mismo, la eficiencia en los tratamientos acumulativos es mayor que en los tratamientos residuales, y que en ambos casos esta disminuye conforme aumenta la dosis de P aplicada. La eficiencia en los tratamientos residuales es mas baja que la de los tratamientos acumulativos por que en el primer caso, el P fue aplicado en el primer ciclo dando mayor tiempo para que actúen las reacciones de fijación; además, hay que tomar en cuenta el P que absorbió el cultivo en el primer ciclo, lo que genera valores de eficiencia bajos.

Las mayores eficiencias del fertilizante fosforado (Cuadro 16), se obtuvo en las localidades de Santa Ana y Chaupi Contadero con 11.19% y 8.31%, respectivamente, cuando se aplicó la dosis de 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; mientras que en Cochabamba y Quinua Corral las eficiencias fueron menores. En las cuatro localidades las mayores eficiencias se obtuvieron con la dosis de 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.



**Cuadro 16.** Eficiencia del P aplicado en el estudio de niveles de P y su efecto residual y acumulativo, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2006.

Código	Tratamientos		Eficiencia del P aplicado (%)			
	Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)		Cochabamba	Quinua Corral	Santa Ana	Chaupi C.
1er ciclo	2do ciclo					
E1D1	150	0	1,05	3,22	1,87	4,67
E2D1	150	150	3,50	4,27	11,19	8,31
E1D2	300	0	0,52	2,69	0,09	4,32
E2D2	300	300	3,22	3,10	8,56	7,32
E1D3	450	0	2,71	2,45	2,44	2,52
E2D3	450	450	-0,64	2,01	2,96	4,00

## 6. Análisis Económico

En el Cuadro 17, se observa que las relaciones Beneficio/costo (B/C), en todas las localidades son mayores para el efecto acumulativo y con las dosis altas de fósforo 300 y 450 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, con relaciones B/C superiores a 2.4 siendo rentables para los agricultores; considerando que en el cultivo de papa se espera una relación B/C de por lo menos 1.8.

Además, existe un efecto residual de las dosis de 150, 300 y 450 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha aplicadas el primer ciclo (Cuadro 17) y que esta residualidad se expresa en la relación B/C, la misma que se incrementa en todas las localidades, con relación al testigo. En las cuatro localidades con 450 kg/ha de fósforo residual la relación B/C supera el 1.8 considerado como base en papa

En las localidades de Quinua Corral y Santa Ana, el testigo tiene relaciones B/C de 0.3 y 0.7, respectivamente (Cuadro 17), lo que quiere decir que estos suelos son deficientes en P y si no se fertiliza con P, por cada dólar que se invierta en el cultivo de papa se perderá 0.7 y 0.3 dólares.

**Cuadro 17.** Análisis Económico para tratamientos evaluados en el cultivo de papa, en cuatro localidades de la Sierra Ecuatoriana, 2006.

Código	Tratamientos		Relación (Beneficio / Costo)			
	Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)		Cochabamba	Quinua Corral	Santa Ana	Chaupi C.
1er ciclo	2do ciclo					
T0	0	0	1.6	0.3	0.7	1.1
E1D1	150	0	1.9	1.1	1.0	1.8
E2D1	150	150	2.3	2.3	2.8	2.8
E1D2	300	0	1.6	1.4	0.9	2.3
E2D2	300	300	2.4	2.5	3.1	3.3
E1D3	450	0	2.6	1.8	1.8	1.9
E2D3	450	450	2.5	2.5	3.0	3.1

#### IV. CONCLUSIONES

- La aplicación de dosis altas de fósforo (300 y 450 kg de  $P_2O_5$ /ha) no influyeron en el porcentaje de emergencia de papa, en las cuatro localidades.
- El crecimiento de las plantas de papa fue favorecido por la aplicación de niveles crecientes de fósforo. Las alturas máximas de las plantas de papa se obtuvo con la dosis de 450 kg de  $P_2O_5$ /ha, en todas las localidades. El efecto acumulativo presentó el mayor crecimiento de las plantas, seguido del residual y el testigo (sin fósforo) tuvo las menores alturas de planta, en todas las localidades.
- El rendimiento de papa tuvo una buena respuesta a la aplicación de dosis crecientes de P con respecto al testigo (sin P), en todas las localidades. Entre los efectos residual y acumulativo existió diferencias marcadas en el rendimiento de papa. La interacción Efectos x Dosis de fósforo, no presentó diferencias significativas en ninguna de las localidades.
- En suelos deficientes en fósforo como los Andisoles, el fósforo es un elemento indispensable para obtener altos rendimientos de papa.
- Existe un efecto residual y acumulativo de la aplicación de dosis crecientes de P sobre el contenido de este elemento en el suelo, aunque esta residualidad en ningún caso es suficiente como para no fertilizar al siguiente ciclo, aun cuando la dosis anterior haya sido alta.
- La mayor eficiencia del fertilizante fosforado se obtuvo con la dosis de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha; así, 3.50%, 4.27%, 11.19% y 8.31%, para las localidades de Cochabamba, Quinoa Corral, Santa Ana y Chaupi Contadero, respectivamente.
- La dosis óptima económica de P para el cultivo de papa es de 300 kg de  $P_2O_5$  /ha; con la dosis de 450 kg de  $P_2O_5$  /ha, la relación beneficio costo se mantiene o su incremento es mínimo.

#### V. RECOMENDACIONES

- Para obtener buenos rendimientos en el cultivo de papa en Andisoles, aplicar P en cada ciclo de cultivo; aun cuando se haya fertilizado con P en ciclos pasados, o rotar con cultivos menos exigentes en P como por ejemplo pastos.
- En el cultivo de papa en suelos de origen volcánico (Andisoles) aplicar 300 kg de  $P_2O_5$ , pero siempre teniendo en cuenta el análisis de suelo, el cultivo y la fertilización realizada en el ciclo anterior.

## VI. BIBLIOGRAFIA

1. Barrera, L. 1995. Suelos y Fertilización del Cultivo de Papa. Memoria del Seminario: Fertilización de Cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Medellín. pp 33-34.
2. Calvache, M. 1990. Evaluación de la Eficiencia de Fertilización de Fósforo y Zinc en el cultivo de maíz. Nucleociencia N:1. Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. pp 5-10.
3. Espinosa, J. 1993. Fósforo: propiedades, dinámica, correlación y calibración. Memorias del seminario de correlación y calibración de análisis de suelos, Nicaragua, UNA, INPOFOS. pp 41-48.
4. Espinosa, J. 2004. Fijación de Fósforo en Suelos Derivados de Ceniza Volcánica. Informaciones Agronómicas. No. 55. Octubre. INPOFOS. A.S. Quito (Ec). pp 5-8.
5. INIAP, 1991. Departamento de Suelos y Fertilizantes, Estación Exp. Sta. Catalina. Informe técnico 1990. Quito, Ecuador.
6. INPOFOS, 1997. Capítulo 4, Fósforo. Manual internacional de fertilidad de suelos. EEUU. pp 4-8,4-9.
7. Padilla, W. 2002. Fijación del Fósforo en Suelos con Varios Poderes de Adsorción. El Fósforo en el Suelo y su Importancia. CD- 1ra Edición. Quito, Ecuador. pp 92-93.
8. Pumisacho, M. y SHERWOOD, S. (eds). 2002. El Cultivo de la Papa en Ecuador. INIAP y CIP, Quito, Ecuador. pp 21-28, 51.
9. Rodríguez, F. 1982. Capítulo 6, Fertilizantes Fosforados. Libro Fertilizantes- Nutrición Vegetal. AGT Editor, S.A. México. pp. 69-75.
10. SICA. 2006. El Cultivo de la Papa en Ecuador. (<http://www.sica.gov.ec/cadenas/papa/docs/importancia.html>). 2006/02/26.
11. SOIL SURVEY STAFF. (2003). Keys to Soil Taxonomy. Ed. USDA. Washington, USA. pp 22-23, 83-85.