



MANEJO DEL SUELO Y LA FERTILIZACION EN EL CULTIVO DE PAPA: EXPERIENCIAS DEL DMSA

**Franklin Valverde¹
Soraya Alvarado¹**

¹ Investigadores, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP-EESC. Apdo. 17-01-340. Telefax (593) 2 2690 694. Quito-Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo del suelo y la obtención de altas producciones se constituyen en retos de la agricultura del presente siglo. El suelo es el medio en el cual las plantas crecen, por lo que conocer y manejar adecuadamente la fertilidad del mismo permitirá entender y optimizar uno de los pilares básicos para la producción de cultivos.

La fertilidad del suelo, definida como la capacidad que tiene un suelo para abastecer de nutrientes a los cultivos, es parte de un sistema dinámico, en el que los nutrientes se añaden o remueven de manera continua mediante diversas vías, son retenidos con cierta firmeza en el suelo por enlaces químicos y físicos; y aquellos en forma iónica y disueltos en la fase suelo-agua están libremente disponibles. Como resultado de estos procesos, el balance nutricional del suelo no es estable; y la fertilidad del mismo depende de las tasas relativas de adición y remoción de sustancias nutritivas, de la facilidad o dificultad con que los nutrientes se absorben por la raíz, de la tendencia a permanecer o ser lavados del suelo por la lluvia o el movimiento de aguas subterráneas, y de la concentración de nutrientes en solución. Es fundamental, entonces, contar con un método de diagnóstico de la fertilidad del suelo, que permita elaborar un programa adecuado de fertilización, para llegar a una producción eficiente de los cultivos con un criterio de manejo racional y sostenible de los suelos.

En este documento se discuten aspectos relacionados con el manejo del suelo y la fertilización en el cultivo de papa en base a estudios realizados en el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP, en colaboración con el Programa Nacional de Raíces y Tubérculos-Papa, Proyecto Fortipapa-INIAP; así como con el Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS).

2. IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DEL FACTOR SUELO DENTRO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPA

Generalidades

El suelo está constituido por tres tipos de fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida que representa la matriz del suelo ocupa generalmente hasta el 50% del volumen total de un suelo y está constituida de partículas de naturaleza orgánica (materia orgánica) e inorgánica (minerales) de diferentes formas, tamaños y arreglos. Esta fase tiene una cantidad variable de poros ocupados por la fase líquida (agua) y gaseosa (aire). Un suelo cultivado promedio contiene aproximadamente 45% de minerales, 5% de materia orgánica, 15 a 35% de agua y el resto (15 a 35%) está ocupado por aire (Fassbender, 1984; Narro, 1994).

La capacidad que tiene un suelo para liberar nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos depende directamente de la proporción y las propiedades de cada una

de las tres fases constituyentes del mismo que a su vez tienen un efecto directo sobre el componente biológico presente en un suelo. La fase sólida del suelo proviene principalmente de la meteorización de las rocas y la descomposición de material vegetal y animal; y es considerada el reservorio de los nutrientes esenciales, relativamente estable en cuanto a composición y organización en función del tiempo. Las otras dos fases están en constante movimiento debido a la evapotranspiración y a la reposición periódica del agua por medio de la lluvia o del riego, y a la difusión de gases.

2.1. Tipos de suelos destinados al cultivo de papa en Ecuador

La mayoría de los suelos ecuatorianos destinados al cultivo de papa son Andisoles. Dichos suelos son derivados de cenizas volcánicas y cubren un área apreciable (24.62%) de la superficie del Ecuador (Mejía, 1997).

La fase sólida mineral de estos suelos está dominada por materiales amorfos, entre los que figuran la alófana, imogolita y hallosita, que provienen de la meteorización de los materiales piroclásticos de recientes deposiciones volcánicas, y cuya proporción dependerá de las condiciones de meteorización de cada Andisol. En cuanto a la fase sólida orgánica está dominada por complejos humus-aluminio, los cuales son compuestos muy estables que juegan un papel significativo en el comportamiento de estos suelos.

Dentro de las características físicas, los Andisoles presentan texturas franco, franco arenoso, franco arcilloso y franco limoso; lo que determina que poseen buen drenaje natural. Además, generalmente son suelos con alta porosidad, permeabilidad y capacidad de retención de humedad.

En cuanto a las características químicas de los Andisoles, estos suelos generalmente tienen pHs que se encuentran en el rango de 5.5 a 6.5; siendo un rango ideal para la mayoría de los cultivos. Sin embargo, el uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados ocasiona la acidificación de los mismos ($\text{pH} < 5.3$) con la consecuente disminución en la disponibilidad de nutrientes. Con respecto al contenido de materia orgánica, los Andisoles presentan cifras elevadas (2 a 20%); no obstante, los contenidos de nitrógeno (N) disponible para las plantas en este tipo de suelos no son altos, debido a la baja tasa de mineralización o degradación de dicha materia orgánica. Por esta razón, el contenido de materia orgánica en Andisoles no es un criterio válido para estimar los requerimientos de fertilización nitrogenada. Por el contrario, los Andisoles en general tienen un buen contenido de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Sin embargo, cultivos de alto rendimiento agotan dichas fuentes de nutrientes del suelo, haciéndose necesario aplicar fertilizantes, especialmente en aquellos cultivos que no reponen residuos al suelo como es el caso de la papa. En relación a micronutrientes, en general los Andisoles ecuatorianos presentan bajos contenidos de zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B).

En cuanto al fósforo (P), una de las características más importantes de los Andisoles es su capacidad para fijar este elemento en la superficie de los minerales amorfos y en los complejos humus-aluminio. Este fenómeno hace que el P presente en la solución del suelo forme compuestos insolubles eliminando de esta forma la disponibilidad de este nutriente para las plantas. El mecanismo de fijación del P en la fracción mineral inorgánica ha sido descrito como una reacción de quimiadsorción, intercambio y precipitación. Sin embargo, también se ha reconocido la importancia de los complejos humus-aluminio en el proceso de fijación de P en Andisoles de Japón, Ecuador y Colombia (Wada y Kakuto, 1985; Benavides y González, 1988; Zehetner et al., 2003). La **Tabla 1**, muestra datos de un experimento de invernadero en Andisoles

ecuatorianos (Espinosa, 1987); en la que se puede observar que un contenido de materia orgánica más alto está relacionado con mayor fijación de P. Dicha tendencia es también presentada en la **Figura 1** al correlacionar el P fijado con el contenido de C total de 42 Andisoles de Ecuador, y fue ratificada en datos más recientes de un estudio de pedogénesis de un transecto del volcán Cotacachi en Ecuador (Zehetner et al., 2003). Desde el punto de vista práctico se podría inferir, entonces, que el contenido de C total puede ser un buen parámetro para determinar la capacidad de fijación de P de un Andisol; y por lo tanto, la magnitud de la residualidad de los fertilizantes fosfatados.

Tabla 1. Efecto del contenido de carbono orgánico y las dosis de fósforo sobre la fijación de este elemento en dos Andisoles del Ecuador (Espinosa, 1987).

Dosis de P_2O_5 kg/ha	Carbono Total		P fijado después de la 1 ^{era} cosecha	
	Udand	Eutrand	Udand	Eutrand
0	5.0	1.2	42	14
150	5.3	1.1	40	11
300	4.9	1.1	40	8
450	5.1	1.1	42	8

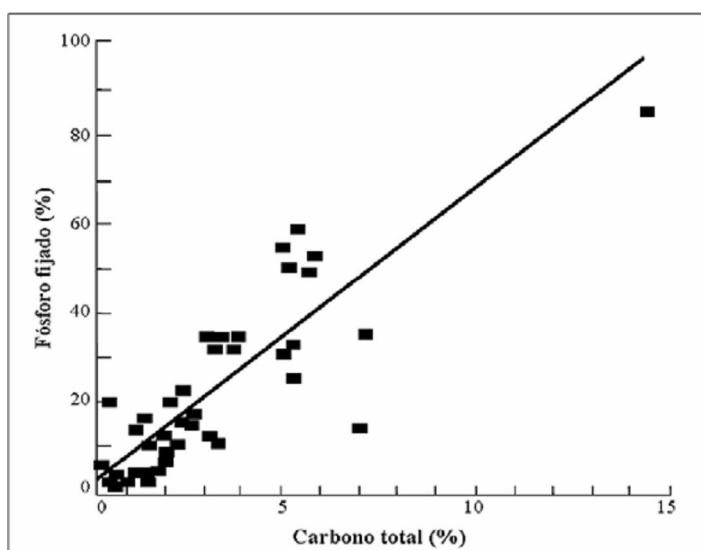


Figura 1. Relación entre el porcentaje de fósforo fijado y carbono total en 42 Andisoles Ecuatorianos (Espinosa et al., 1987).

2.2. Manejo del suelo para el cultivo de papa

En el Ecuador, la erosión del suelo es una de las principales causas de la disminución de la productividad agrícola y considerando que el cultivo de papa se realiza en suelos de ladera con fuertes pendientes, en los que la preparación del suelo se desarrolla en forma intensiva, con un alto porcentaje de utilización de maquinaria agrícola **a favor de la pendiente**; es fundamental para este cultivo, implementar sistemas de labranza que minimicen las pérdidas del suelo y que a largo plazo garanticen la sustentabilidad de los ecosistemas.

Resultados obtenidos por Ramos et al., (2002), muestran que no existen diferencias significativas respecto a sistemas de labranza (reducida, mínima y convencional), sobre el rendimiento de papa (total, comercial, extracción del tubérculo semilla y desecho) y porcentaje de materia seca en todas las localidades evaluadas. Otro sistema de labranza mínima, es el Huacho Rozado, utilizado por algunos agricultores de la provincia del Carchi y evaluado por el DMSA, con resultados satisfactorios en rendimiento y calidad de tubérculo de papa (Cartagena et al., 2004). Estos resultados sugieren que existen alternativas reales para no utilizar o minimizar el uso de maquinaria agrícola en zonas de ladera y consecuentemente contribuir a la conservación de los suelos.

3. NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE PAPA

Los elementos químicos considerados esenciales para el crecimiento de la planta, en general, son 16 y están categorizados en dos grupos: no minerales y minerales. Los primeros son: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) y provienen del agua y de la atmósfera. Los segundos provenientes mayoritariamente de la fase sólida del suelo y se agrupan en primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); secundarios: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) y micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) (Bidwell, 1993).

En cuanto a la extracción de nutrientes del suelo por parte del cultivo de papa, este dependerá de la variedad, fertilidad del suelo, condiciones climáticas, rendimiento y manejo del cultivo. En general, la extracción total de P es inferior a la de N y K. La mayor demanda nutricional del cultivo de papa se presenta a partir de los 50 días, cuando inicia la tuberización y crecimiento del follaje (Pumisacho y Sherwood, 2002).

3.1. Nutrientes Primarios

Nitrógeno: Tiene un lugar especial en la nutrición, no sólo debido a su elevado requerimiento por las plantas, sino porque está casi ausente de la roca madre de la cual se forman los suelos. La presencia del N en el suelo, es principalmente el resultado de la acción biológica y la fertilización.

El N es de extraordinaria importancia en las plantas porque es un constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y muchas otras sustancias importantes. Una deficiencia de N casi invariablemente se traduce en una palidez gradual o clorosis de las hojas maduras que llegan a tornarse amarillentas y se desprenden. La clorosis se extiende de las hojas maduras a las jóvenes. Un síntoma típico de deficiencia de N es la producción de antocianinas en tallos, nervaduras foliares y pecíolos los cuales pueden volverse rojos o púrpuras. La sobreabundancia de N causa con frecuencia gran proliferación de tallos y hojas, pero determina una reducción de frutos (Bidwell, 1993).

En el cultivo de la papa, el N permite la formación y traslocación del almidón desde las hojas a los tubérculos. La deficiencia causa un desarrollo vegetativo limitado y achaparramiento, caída prematura de hojas y coloración amarillenta pudiendo degenerar a bordes púrpuras o violáceos. Por el contrario, el cultivo de papa reacciona a la sobre fertilización nitrogenada produciendo vástagos grandes, verdes-oscuros y de apariencia saludable pero de raíces escasas y tubérculos más pequeños.

Fósforo: Es un elemento que se retiene firmemente en el complejo mineral del suelo. Es muy importante como parte estructural de muchos compuestos, principalmente ácidos nucleicos y fosfolípidos. Además desempeña una función indispensable en el metabolismo energético. La deficiencia del P afecta todos los aspectos del metabolismo vegetal y el crecimiento. Los síntomas son pérdida de hojas maduras,

desarrollo de antocianinas en tallos y nervaduras foliares y, en casos extremos, desarrollo de áreas necróticas en diversas partes de la planta (Bidwell, 1993).

En el cultivo de papa interviene en la síntesis de hidratos de carbono y favorece a la maduración oportuna de los tubérculos. Constituye un elemento crítico durante el período inicial de desarrollo de la planta y tuberización. La deficiencia de P en el cultivo de papa impide que los tubérculos lleguen a su madurez fisiológica e incluso presentan manchas pardo rojizas en su interior con una baja densidad de tubérculos.

Potasio: Es requerido en grandes cantidades por las plantas y una deficiencia de este elemento puede ser frecuente en suelos ligeros o arenosos debido a su solubilidad y a la facilidad con la que puede lixiviarse.

El K es un elemento muy importante para todo el metabolismo de las plantas. Esta relacionado con el mantenimiento del balance iónico de las células. Además, desempeña numerosos papeles catalíticos. Los síntomas de deficiencia de K generalmente se empiezan a manifestar con una clorosis típicamente moteada de las hojas maduras que luego se distribuye a las jóvenes, pues es un elemento muy móvil en las plantas. Se producen áreas necróticas a lo largo de los márgenes y en las puntas de las hojas. Debido a la reducción de la síntesis proteica y el daño a la respiración, los compuestos de bajo peso molecular como amino ácidos y azúcares tienden a acumularse a niveles inusualmente altos, mientras que se reducen las proteínas y los polisacáridos (Bidwell, 1993).

En el cultivo de la papa, el K desempeña un papel fundamental en la traslocación de azúcares y almidón hacia los tubérculos mejorando las cualidades culinarias de los mismos; además, incide directamente en la producción y tamaño de los tubérculos. Los síntomas de deficiencia de K en papa se pueden observar con hojas superiores pequeñas, arrugadas y de color verde intenso, necrosis en el ápice, márgenes y clorosis intervenal de hojas viejas. Durante el período de floración, no llegan a engrosar los tubérculos e incide directamente en la producción del cultivo.

3.2. Nutrientes Secundarios

Calcio: Abunda en la mayoría de los suelos, y las plantas raramente muestran su deficiencia en condiciones naturales.

Este elemento es importante en la síntesis de pectina de la lámina media de la pared celular. También está involucrado en el metabolismo o formación del núcleo y las mitocondrias. Así pues es un elemento de extraordinaria importancia para la mayoría de las plantas por lo que una reducción severa determina el deterioro y la muerte de estas. La clorosis de los márgenes de hojas jóvenes, el encorvamiento de puntas foliares y la formación de raíces atrofiadas e incoloras son síntomas característicos de la deficiencia de Ca. Puesto que la mayor parte del Ca de la planta se inmoviliza una vez depositado, su deficiencia es más impactante en tejidos jóvenes (Bidwell, 1993). La deficiencia de Ca en el cultivo de papa se manifiesta con tubérculos pequeños y deformes.

Magnesio: En el suelo es menos abundante que el Ca y la deficiencia no es rara en plantas que se cultivan en suelos arenosos y algo ácidos. La mayoría de las plantas lo requieren en grandes cantidades y el uso de fertilizantes de Mg se esta extendiendo.

El Mg es decisivo en las reacciones de metabolismo energético (transferencia de fosfato, síntesis de ácidos nucleicos, carboxilación y descarboxilación), así como en la síntesis de constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosoma. Finalmente, el Mg

constituye parte integrante de la molécula de clorofila y es, por lo tanto, esencial en la fotosíntesis. Los síntomas de deficiencia de Mg son muy característicos, se desarrolla clorosis entre las nervaduras foliares o pueden aparecer pigmentos brillantes de color rojo, naranja, amarillo o púrpura. Puesto que el Mg es muy soluble y rápido de transporte por toda la planta, los síntomas de su deficiencia generalmente aparecen primero en las hojas maduras (Bidwell, 1993).

Azufre: Se presenta como sulfato en la fracción mineral de muchos suelos, pero también se encuentra en forma de S elemental, sulfuros de Fe y como parte de la materia orgánica que sólo está disponible para las plantas una vez que ha sido oxidado o hidrolizado por microorganismos.

El S forma parte de ciertos aminoácidos, proteínas; así como de algunos compuestos de actividad biológica. La deficiencia de S se caracteriza por una clorosis que se inicia en las hojas jóvenes, contrariamente a lo que ocurre con la deficiencia de N (Bidwell, 1993). El azufre es considerado como un elemento generalmente limitante en la producción de papa, debido a su pérdida por lixiviación y extracción por el cultivo.

3.3. Micronutrientes

Generalmente se utilizan en funciones catalíticas y sólo se requieren en pequeñas cantidades. Aunque son de amplia distribución en suelos, algunos micronutrientes están ausentes o en baja provisión en ciertas áreas del mundo, debido a que la roca madre de la cual se forma el suelo carece de ellos. Además, las condiciones de pH del suelo, presencia de otros solutos y nivel de O, pueden afectar la solubilidad o la capacidad de la planta para absorberlos. En suelos ecuatorianos destinados al cultivo de papa se han detectado deficiencias de zinc, manganeso y boro (Bidwell, 1993).

Zinc: Es un activador obligado de numerosas e importantes enzimas, está involucrado en la síntesis de proteínas. Además, tiene relación directa con la síntesis del ácido indolacético y como tal su deficiencia puede causar cambios sustanciales en la forma y hábito de crecimiento de ciertas especies. Los síntomas de deficiencia de Zn incluyen atrofiamiento y reducción notable del tamaño de la hoja, así como clorosis intervenal.

Manganeso: Es un elemento involucrado en reacciones del metabolismo del N y la fotosíntesis. Además, cumple un papel estructural en los cloroplastos. Los síntomas de deficiencia de Mn consisten en la formación de manchas necróticas sobre las hojas y necrosis de cotiledones de plántulas de leguminosas.

Boro: Es esencial para el crecimiento de la planta, está asociado con el transporte y absorción de azúcares, inhibidor vegetal, y diferenciación y desarrollo celular. Los efectos característicos de su deficiencia generalmente se traducen en muerte de meristemos y aborto de flores. Los síntomas de deficiencia son muy característicos; las hojas tienden a engrosar y obscurecerse, y los meristemos de vástagos y raíces mueren. Las aberraciones del desarrollo pueden determinar el depósito anómalo de tejido suberoso en árboles frutales, y la desorganización metabólica conduce a la desintegración de células y órganos pulposos.

4. EL ANÁLISIS DE SUELO COMO HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD

4.1. Muestreo de suelos

La recolección de muestras es una de las etapas más críticas dentro del diagnóstico de fertilidad; pues, en esta fase es cuando se puede introducir el mayor error en los

resultados finales. Hay gran diversidad de opiniones sobre como muestrear adecuadamente un terreno, pero lo importante es reconocer que la exactitud de un análisis de suelos depende de que tan representativa sea la muestra tomada. Los suelos naturalmente son muy heterogéneos, y la variabilidad aumenta con el manejo agrícola. Por estas razones, existen algunas consideraciones básicas que deben tomarse en cuenta para efectuar un buen muestreo de suelos.

Para realizar un muestreo adecuado, primero se debe hacer un reconocimiento del terreno con el objetivo de identificar unidades de muestreo, las cuales deben presentar condiciones semejantes de suelo y manejo (pendiente, color, riego, vegetación, cultivo, fertilización, etc.). El área de cada unidad de muestreo depende de la uniformidad del mismo, de la intensidad del manejo y del grado de detalle con que se quiera realizar la evaluación. En el caso de cultivos intensivos como la papa, es recomendable áreas menores a 2 ha.

La muestra a tomar debe ser compuesta. Esto se logra a través de la toma de submuestras al azar o en forma sistemática siguiendo por ejemplo una trayectoria en zigzag y abarcando todo el terreno. En cada unidad de muestreo se debe tomar un mínimo de 20 submuestras para minimizar la variabilidad. Cada submuestra debe ser tomada a una profundidad de 0- a 20 cm.

El instrumento más adecuado para muestrear suelos es el barreno. Sin embargo, la muestra también se puede tomar con una pala. En este caso, se debe cavar un hoyo de 20 cm de profundidad, con las paredes inclinadas (corte en "V"). De una de las paredes del hoyo, se saca una tajada de suelo de 5 cm de grosor, y una vez que se tiene la tajada de suelo en la pala se eliminan los extremos laterales dejando una rebanada de 5 cm de ancho, la que se recolecta en balde limpio (INIAP, 1974 y 2008).

En cuanto a la época de muestreo, es conveniente realizar 1 a 2 meses antes de sembrar. En zonas con períodos secos muy definidos, es importante muestrear cuando el terreno no este demasiado seco. Para un control regular de la fertilidad del suelo y dependiendo del tipo de problemática, es recomendable el muestreo con una frecuencia de 1 a 3 años. Suelos muy ácidos y deficientes en macro cationes requieren un seguimiento más continuo para evaluar el efecto del encalado y fertilización.

4.2. Interpretación de resultados del análisis químico de suelos

Para interpretar adecuadamente los resultados de un análisis químico de suelos y diseñar recomendaciones de fertilización es necesario contar con estudios de correlación y calibración previos, en los que se considera que la magnitud del resultado de un análisis de suelo se relaciona como una variable independiente al rendimiento o respuesta obtenida por un cultivo. Dichos estudios validan el uso de una determinada metodología de análisis con cierto tipo de suelo y bajo un cultivo específico.

En el caso del cultivo de papa en Andisoles de la Sierra alta de Ecuador, se han realizado algunos experimentos de calibración y correlación en el campo. En cuanto al P (INIAP, 1991), la relación entre el rendimiento de papa y el contenido de P en el suelo (extraído con solución Olsen modificada), determinaron que el nivel crítico de P para papa en Andisoles ecuatorianos es de 42 ppm (**Figura 2**), aunque dicho nivel crítico general para estos suelos es considerado 10 ppm. Además, estos datos (**Tabla 2**) sugieren que aún aplicaciones de dosis muy altas de P, no satisfacen la capacidad de fijación de estos suelos, y el efecto residual es bajo. Por lo que para obtener un

adecuado rendimiento de tubérculos en Andisoles es necesaria la aplicación de P en cada ciclo.

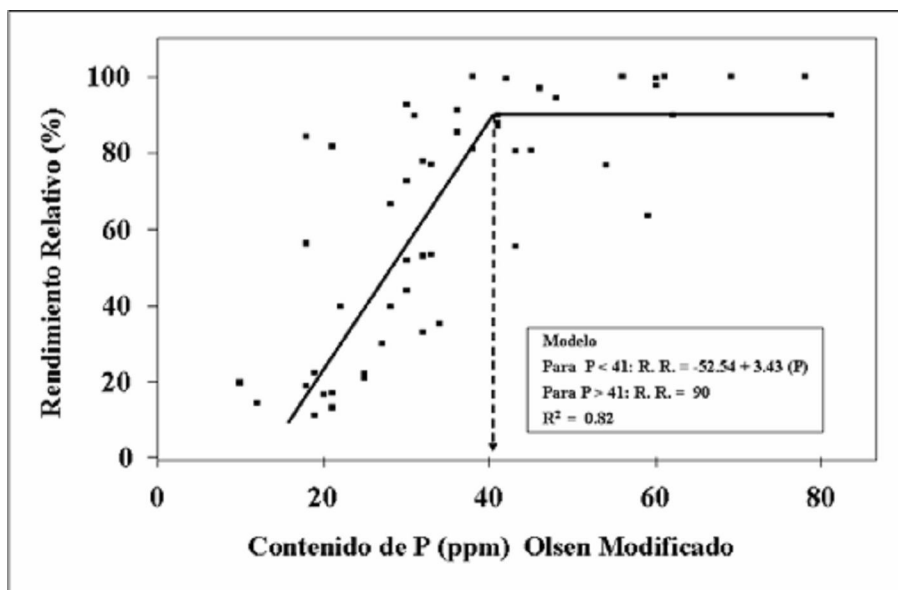


Figura 2. Determinación del nivel crítico para papa en Andisoles Ecuatorianos (INIAP, 1991).

Tabla 2. Efecto residual del P en el rendimiento de papa y la relación con el contenido de P según el análisis de suelos en un Anisal ecuatoriano (INIAP, 1991).

Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3		Nivel
P ₂₅ kg/ha	Rendimiento t/ha	P ₂₅ kg/ha	Rendimiento t/ha	P ₂₅ kg/ha	Rendimiento t/ha	P*
0			6.04	0	6.37	28
0	3.09	0	5.90	300	32.39	41
0		300	39.34	300	31.19	46
150		0	9.90	0	8.33	28
150	18.46	150	32.65	0	11.32	32
150		150	35.44	150	34.45	40
300		0	15.92	0	7.90	27
300	27.60	300	36.54	0	12.44	38
300		300	39.86	300	32.63	64
450		0	18.84	0	13.21	34
450	27.74	450	42.55	0	24.09	59
450		450	45.12	450	28.28	89

* Contenido de P en el suelo después del tercer ciclo; P extraído con NaHCO₃ (Olsen)

4.3. Elaboración de recomendaciones de fertilización

Para elaborar recomendaciones de fertilización a más de conocer la disponibilidad actual de los nutrientes en el suelo a través de los resultados del análisis químico, se debe considerar algunos aspectos como: el requerimiento nutricional del cultivo que se va a establecer, la población de plantas y su distribución, la tasa máxima deseada de crecimiento de las plantas, el aumento de la tasa de crecimiento del cultivo con el

aumento de las dosis de fertilizantes, el método de aplicación de los fertilizantes, las condiciones edafo-climáticas de la zona y la meta perseguida por el productor.

4.3.1. Recomendaciones de fertilización edáfica inorgánica para el cultivo de papa

Las recomendaciones de fertilización edáfica inorgánica para el cultivo de papa en Andisoles ecuatorianos y en base al análisis químico de suelos se resume en las **Tablas 3 y 4**. Dichas recomendaciones se han ajustado en base a estudios, en los que se observaron una dosis óptima económica de 140 kg/ha y una dosis óptima fisiológica de 160 kg/ha para la fertilización nitrogenada (Valverde, 2004). En el caso del P, los estudios de evaluación de la respuesta del rendimiento del cultivo de papa a niveles de fertilización fosfatada indicaron que la dosis óptima económica es de 240 kg/ha y la dosis óptima fisiológica es de 325 kg/ha (Valverde, 2004). Con respecto al K, no se ha encontrado respuesta significativa del rendimiento del cultivo de papa a niveles de fertilización potásica. Mientras, la respuesta del rendimiento del cultivo de papa a niveles de azufre fue cuadrática alcanzando un máximo rendimiento con 30 kg de S/ha.

En cuanto a la época y forma de fertilización, es recomendable aplicar el N en forma fraccionada; la primera aplicación debe realizarse al momento de la siembra a chorro continuo y en el fondo del surco cubriendo con suelo. La segunda aplicación a los 45 a 60 días después de la siembra, coincidiendo con el medio aporque. En el caso del P, K y S se recomienda aplicar todo al momento de la siembra a chorro continuo y al fondo del surco para favorecer el crecimiento de raíces.

Estudios de evaluación de la respuesta del rendimiento del cultivo de papa al fraccionamiento de la fertilización fosfatada han indicado que los mejores rendimientos se obtienen en efecto con una aplicación total del P a la siembra. Sin embargo, rendimientos comparables se observan con dos fraccionamientos (siembra-retape, siembra-aporque) o fraccionamiento en tres aplicaciones (siembra, retape y aporque). Así mismo la aplicación de todo el P al medio aporque produce los más bajos rendimientos (Valverde, 2004).

Las fuentes de fertilizantes más recomendadas para el cultivo de papa son:

N: Sulfato de amonio (21% N) para suelos con pHs básicos, la cianamida cálcica (22% N) para suelos ácidos, el nitrato de amonio (33% N) y la urea (46% N).

P: Fosfato diamónico (DAP) (18-46-0) y fosfato monoamónico (MAP) (10-30-10).

K: Sulfato de K (50% K₂O), Sulpomag (22% K₂O) y cloruro de K (60% K₂O).

S: Sulfato de K (18% S), Sulpomag (22% S).

Tabla 3. Recomendaciones de fertilización para papa comercial (Población 27778 plantas/ha)

Análisis de Suelo	N	P ₂ O ₅ *	K ₂ O	S
(kg/ha)				
Bajo	150 - 200	300 - 400	100 - 150	20 - 30
Medio	100 - 150	200 - 300	60 - 100	10 - 20
Alto	50 - 100	100 - 200	30 - 60	0 - 10

* = nivel crítico de fósforo 42 ppm

Tabla 4. Recomendaciones de fertilización para producción de papa-semilla (Población 37037 plantas/ha).

Análisis de Suelo	N	P₂O₅	K₂O	S
	(kg/ha)			
Bajo	200 - 250	400 - 500	150 - 200	30 - 50
Medio	150 - 200	300 - 400	100 - 150	20 - 30
Alto	80 - 150	150 - 300	50 - 100	0 - 20

4.3.2. Recomendaciones de fertilización edáfica orgánica

Experimentos conducidos para evaluar el rendimiento del cultivo de papa a la aplicación de fuentes orgánicas muestran que existe una respuesta directamente proporcional a la cantidad del abono orgánico utilizado. Sin embargo, el rendimiento alcanzado con la dosis más alta (20 T/ha) de abono orgánico (estiércol vacuno) no supera el rendimiento asociado con la fertilización edáfica inorgánica. Es importante remarcar que el rendimiento alcanzado con la combinación del 50% de la fertilización inorgánica y 5 T/ha de abono orgánico es comparable con el del 100% de fertilización inorgánica (Valverde y Villafuerte, 1994); por lo que esta aplicación conjunta sería la recomendable en siembras comerciales.

De otra parte, el efecto de la aplicación de abonos orgánicos, no sólo se refleja en el rendimiento del cultivo de papa, sino también en la calidad del tubérculo cosechado. Se ha observado que el contenido de proteína disminuye proporcionalmente con el aumento de la cantidad de abono orgánico aplicado. Los contenidos más altos de proteína fueron obtenidos en el tratamiento que recibió el 100% de fertilización inorgánica y aquel que recibió la combinación del 50% de la fertilización inorgánica y 5 T/ha de abono orgánico. En cuanto a la producción de almidón, el incremento en la dosis de abono orgánico está asociado con el aumento de la producción de almidón; no obstante el contenido de almidón asociado con el tratamiento que recibió 20 T/ha de abono orgánico es equivalente a los tratamientos con el 100% de fertilización inorgánica y la combinación del 50% de fertilización inorgánica y 5 T/ha de abono orgánico (Valverde y Villafuerte, 1994).

4.3.3. Recomendaciones de fertilización foliar

Se recomienda la fertilización foliar como complemento a la fertilización edáfica, para corregir deficiencias de micronutrientes y cuando existen problemas de estrés por sequía, heladas y bloqueo a nivel radicular (Valverde et al., 1998).

Experimentos de campo para evaluar la aplicación de abonos foliares han mostrado que el máximo rendimiento del cultivo de papa se logra con una aplicación completa de micronutrientes (incrementos en el rendimiento de papa de hasta 5 T/ha), seguida por la aplicación sólo con Zn (un incremento en el rendimiento de papa de hasta 2.6 T/ha) frente al testigo (Pumisacho y Sherwood, 2002).

Se recomienda realizar de dos a cuatro aplicaciones desde el inicio de la floración y con intervalos de 21 días.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Benavides, G. y E. Gonzales. 1988. Determinación de las propiedades Andicas y clasificación de algunos suelos de páramo. *Suelos Ecuatoriales* 17: 58-64.
- Bidwell, R. G. S. 1993. *Fisiología Vegetal*. A.G.T. Editor. S. A. México D. F.-México. 784 p.
- Cartagena, Y, G. Toapanta, y F. Valverde. 2004. Más papas con Huacho Rozado. INIAP-CIP-PROMSA/MAG. Manual 63. Quito-Ecuador. 63 p.
- Espinosa, J. et al. 1987. Evaluación agronómica de fertilizantes fosfatados en zonas altas de Ecuador. In L. León y O. Arregocés (eds.), *Memorias Seminario de Alternativas Sobre el Uso como Fertilizantes de Fosfatos Nativos de América Tropical y Subtropical*. CIAT, IFDC, CIID. Cali, Colombia.
- Fassbender, H. W. 1984. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José-Costa Rica. 398 p.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 1974. Como tomar muestras de suelo para su análisis químico. Quito-Ecuador. Plegable 34.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 1991. Departamento de Suelos y Fertilizantes, Estación Experimental. Santa Catalina. Informe técnico 1990. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2008. Muestreo de suelos para el análisis químico. Quito-Ecuador. Plegable 298.
- Mejía, L. 1997. Suelos del Ecuador-Reconocimiento general en base a su capacidad-fertilidad. Quito-Ecuador. 57 p.
- Narro, E. 1994. *Física de suelos con enfoque agrícola*. Editorial Trillas S. A de C. V. México D. F.-México. 195 p.
- Pumisacho, M. y S. Sherwood (Eds.). 2002. *El cultivo de papa en Ecuador*. INIAP-CIP. Quito-Ecuador. 229 p.
- Ramos, M., J. Córdova, F. Valverde, I. Reinoso, y P. Oyarzún. 2002. Evaluación de tres sistemas de labranza del suelo en el cultivo de papa, con fines de producción de tubérculo-semilla. Tesis de Ingeniero Agrónomo. EESC-INIAP. Quito-Ecuador.
- Valverde, F. y O. Villafuerte. 1994. Respuesta del cultivo de papa a los abonos orgánicos e inorgánicos y su efecto sobre las propiedades del suelo. *Memorias del XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo*. Acapulco, México. Volume 9: supplement.
- Valverde, F., J. Córdova, y R. Parra. 1998. Fertilización del cultivo de papa. INIAP. Quito-Ecuador. 42 p.
- Valverde, 2000. La fertilización en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Andisoles del Ecuador. *Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito, Ecuador.
- Wada, K. y Y. Kakuto. 1985. Embryonic halloysites in Ecuadorian soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1309-1318.
- Zehetner, F., W.P. Miller, y L.T. West. 2003. Podogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1797 – 1809.