

44478

Balance y perspectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia

Hugo E. Castro¹

Introducción

La cadena agroalimentaria de la papa tiene la necesidad inminente de fortalecerse en todos los eslabones que la componen, para salir de su escenario de rezago, alimentando por años sobre un diagnóstico que reúne grandes limitaciones. Hacia el futuro cercano, esta especie, que ocupa en el país una superficie superior a las 180.000 hectáreas, debe demostrar, para no sucumbir ante la competitividad del mercado internacional, que se ha modernizado tecnológicamente para mantener creciente su producción con criterios de calidad.

42
CEVIPAPA

Un análisis integrado del componente agronómico permite concluir que aunque la investigación de este cultivo se extiende aproximadamente a 50 años, existen aún aspectos de carácter tecnológico que no han sido superados y afectan de manera importante la rentabilidad y sostenibilidad del cultivo. La erosión genética de las variedades cultivadas en los últimos 25 años, la susceptibilidad de las variedades cultivadas a los principales problemas sanitarios de importancia económica, el bajo uso de semilla certificada, el manejo inadecuado de la fertilización, el desconocimiento de la morfología y fisiología del cultivo, la degradación del suelo por inadecuada mecanización y la falta de infraestructura y tecnología de riego en áreas productivas, al lado del bajo índice de asistencia y adopción tecnológica, resumen la problemática que con mayor énfasis debe abordar la investigación. Sin duda alguna, la realización del Primer Taller de Suelos, Fisiología y Nutrición Vegetal en el Cultivo de la Papa, promovido por CEVIPAPA, constituirá un gran aporte para discernir la problemática de estos componentes agronómicos y plantear con el mejor criterio de diagnóstico, las necesidades de investigación que respondan zonificadamente a la modernización tecnológica del cultivo en Colombia.

ANALIZADO

Análisis de la problemática

La fertilización es una labor cultural que cumple con la necesidad de suplementar a la planta necesidades nutricionales no satisfechas por el suelo en su condición de fertilidad natural. La fertilidad natural de un suelo, en muy pocos casos, cumple con los requerimientos de la especie cultivable, debido a limitaciones de carácter físico-químico o biológico que afectan directamente la productividad de los cultivos. La fertilización vía orgánica y/o mineral es la única solución para suplementar en forma balanceada los nutrientes faltantes en el suelo. Para el cultivo de la papa existen diferentes explicaciones para comprender, desde el punto de vista técnico y económico, el peso que representa la fertilización dentro del subtotal de insumos empleados en el cultivo. Algunas consideraciones que repercuten sobre el adecuado o inadecuado manejo de esta práctica son:

1. Desconocimiento de la génesis del suelo

Las regiones paperas de Colombia (Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Cauca y Santanderes), ubicadas en climas frío y subpáramo, presentan, en el 68% del área, cobertura de ceniza volcánica en diferente grado de meteorización. En el 32% restante, aparecen superficies sin influencia de ceniza, bien porque no se produjo la depositación o porque se perdió por procesos de erosión (Castro, 2003).

¹Ing. Agr., M. Sc. Manejo de Suelos. Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UPTC, Tunja. hcastrofranco@yahoo.com.mx

El desconocimiento del origen de los suelos paperos en Colombia ha limitado el verdadero entendimiento de la calidad y aptitud del suelo para el cultivo, por los siguientes aspectos:

La ceniza volcánica es el material de origen que afecta parcial o totalmente la fertilidad de los suelos paperos. En consecuencia, la composición organomineral de estos suelos está dominada en su fracción arcilla por alófana e imogolita y por el complejo humusaluminio, altamente inmovilizadores del fósforo disponible en la solución del suelo (Espinosa, 1998). Esta condición, que en muchos andisoles paperos puede llegar a inmovilizar el fósforo nativo o aplicado hasta en un 90%, es la que refleja la necesidad de las altas aplicaciones de este elemento ($200-450 \text{ Kg ha}^{-1}$ de P_2O_5), aunque su requerimiento esté en el orden de $1,8 \text{ Kg P}_2\text{O}_5$ por tonelada de tubérculo (Bertch, 2003; Barrera, 2003).

Aunque los andisoles paperos en Colombia generalmente presentan contenidos entre medios y altos de materia orgánica, expresados como carbono orgánico, su índice de mineralización es bajo debido a las bajas temperaturas y a la inactivación de las bacterias nitrificantes por efecto del alófana. En estas condiciones la materia orgánica no es un índice de la disponibilidad de nitrógeno para la planta.

Las cenizas volcánicas, exceptuando algunas zonas de Nariño (Yacuanquer) y de la Sabana de Bogotá, son de carácter ácido y en consecuencia, aunque los suelos pueden mejorar con el uso su fertilidad por aplicación de encalado y fertilizantes, en suelos no intervenidos, que entran por primera vez a cultivo, es común el cuadro de infertilidad por presencia de aluminio, baja concentración de bases (Ca^{++} , Mg^{++} y en menor grado K^+) y elementos menores (principalmente B, Cu y Zn).

Analizando los tres aspectos enunciados relacionados con el origen del suelo, es posible deducir que las necesidades de fertilización para el cultivo de papa son altas por las condiciones de infertilidad que exhiben estos suelos, principalmente cuando se incorporan a cultivo provenientes de pradera.

2. Ausencia de requerimientos nutricionales y falta de validación de niveles críticos

Conocer los requerimientos nutricionales de los diferentes genotipos de una especie, en este caso la papa, constituye una buena fórmula para aproximarse a adecuados planes de fertilización. En nuestro caso, hacemos uso de información foránea no referida ni a nuestras variedades ni a nuestras zonas de cultivo.

La investigación sobre niveles críticos, aunque reúne información de la actividad desarrollada por más de treinta años por el Programa Nacional de Suelos del ICA, desde 1994 no se actualiza. Aunque existen bases, en veinte años de parálisis parcial de la investigación en este componente se ve la necesidad de actualizar estos indicadores para lograr que las posibles variaciones en la fertilidad del suelo, favorecidas por la residualidad de la fertilización en zonas paperas, sean enfrentadas a los análisis de suelos para disminuir costos derivados por esta práctica.

3. Ausencia de estudios de evaluación de la aptitud zonificada de suelos paperos en Colombia

La dispersión del área papera en el país ha conllevado a la pérdida de homogeneidad y criterio en el manejo tecnológico del cultivo en todos sus componentes. En el caso de la fertilización, desconociendo la variedad usada, la agroecología y características de los suelos a nivel local, se emplean recomendaciones generales que universalizan los planes de fertilización, imperando los conceptos comerciales en detrimento de la racionalidad técnica en el empleo de insumos. Un ejemplo de este asunto, es el empleo de la fertilización compuesta en dosis de 1000 a 1500 Kg ha^{-1} de fórmulas $1:3:1$, $2:4:1$ y $1:1:1$, y aún más destacado, la proliferación de insumos orgánicos comerciales altamente costosos que, sin

Esta valoración de carácter general nos aproxima a deducir que el 69% de los suelos paperos del país presentan pH a 5,5, el 56% son suelos pardo oscuros a negros con contenidos superiores al 5% de materia orgánica, el 69% son potencialmente deficientes en fósforo disponible para el cultivo y el 52% podrían presentar potencialmente deficiencias en potasio.

2. Niveles críticos

Existen rangos de concentración de elementos nutrientes estudiados para el cultivo de papa a nivel de suelos y tejido, que se correlacionan en campo con el grado de respuesta a la fertilización. Como producto de la investigación realizada por el Programa Nacional de Suelos del ICA (1970-1994) en las diferentes regiones paperas del país fue posible crear Tablas Guías para recomendaciones de fertilización (N-P₂O₅-K₂O) por hectárea a partir de los resultados del análisis de suelos. La comparación entre los niveles críticos del elemento para el cultivo y las concentraciones de elementos nutrientes exhibida por el análisis de suelos, genera igualmente un rango guía de recomendación de fertilización que, por supuesto, queda a consideración y ajuste del ingeniero agrónomo de la zona.

Tabla 2. Recomendaciones para la fertilización de papa (*Solanum tuberosum* L.) para producciones de alto rendimiento.

Región	Resultado análisis de suelos		Fertilización recomendada (Kg ha ⁻¹)		
	P (ppm)	K (meq/100g)	N*	P ₂ O ₅	K ₂ O
Subpáramos de Cundinamarca y Boyacá	< 40	< 0.3	150-170	350 - 400	150 - 180
	40 - 60	0.3 - 0.6		300 - 350	120 - 150
	> 60	> 0.6		250 - 300	75 - 120
Altiplano Cundiboyacense, Nariño y Antioquia	< 40	< 0.3	120-160	300 - 375	125 - 150
	40-60	0.3 - 0.6		250 - 300	100 - 125
	> 60	> 0.6		200 - 250	75 - 100

*La materia orgánica no se considera un índice de disponibilidad de N.

FUENTE: ICA, 1992; Castro, 2001; Barrera, 1998

De otra parte, existen rangos de parámetros químicos que han venido siendo actualizados por diferentes aportes de investigadores, con el fin de ajustar niveles críticos aplicados a la interpretación del análisis de suelos (Tabla 3).

Tabla 3. Niveles críticos aplicables a suelos paperos del Altiplano Cundiboyacense.

Elemento	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto
pH		< 4.8	4.8-5.5	> 5.5
% Sat. Al ⁺⁺⁺		< 15	15-30	> 30
M.O. (%)		< 5	5 - 10	> 10
P (ppm). Bray II		< 40	40-60	> 60
K (cmol+ xKg-1)		< 0.3	0.3-0.6	> 0.6
Ca		< 3	3-6	> 6
Mg	< 0.5	0.5 - 1.2	1.21-1.8	> 1.8
S	< 5	5 - 10	10-15	> 15
B (ppm)		< 0.3	0.3 - 0.6	> 0.6
Cu		< 2	2 - 4	> 4
Zn		< 3	3 - 6	> 6

FUENTE: Castro, 2001; Guerrero, 1998; Barrera, 1998.

3. Requerimientos nutricionales

La papa extrae altas cantidades de nutrimentos del suelo, lo cual está en función de la variedad y el rendimiento esperado. Por tal razón, si se quieren alcanzar mayores rendimientos, la papa exige mayores requerimientos nutricionales y, por ende, alta demanda de fertilizantes. Los estudios de absorción de nutrientes contribuyen en forma cuantitativa a dar solidez a los programas de fertilización, pues permiten conocer concretamente la cantidad de nutrimento (en Kg ha⁻¹) que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado, con una variedad definida y en un suelo determinado. El procedimiento básico para efectuar estudios de absorción es explicado por Ramírez y Bertch (2003) de la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo y por su sencillez amerita realizarse para cada una de las variedades actualmente comercializadas en Colombia.

Los reportes de Bertch (2003) indican que la cantidad estimada en Kg de N, P y K que se requieren para producir una tonelada de papa es aproximadamente de 6 Kg de N, 0,8 Kg P (1,8 Kg P₂O₅) y 9 Kg de K (10,8 Kg de K₂O). Esta referencia, resultado de la consulta consolidada de 79 citas bibliográficas sobre el tema, nos permite deducir que para producciones promedias de 20 ton ha⁻¹, se requeriría en el orden de 120Kg N: 36Kg P₂O₅: 216Kg K₂O. Igualmente reporta que el 33% de N, 25% de P y el 33% de K del total consumido por la planta es removido por la cosecha.

El rango de potasio y fósforo con relación al nitrógeno nos muestra que por cada 100 unidades de N se debe suministrar 13 de P y 150 de K. Otras relaciones de este tipo son presentadas por Khera *et al.* (1990) en la India, quienes reportan que por cada 100 unidades de N se requieren 35 de P y 126 de K.

En cuanto al Ca, Mg y S, los contenidos estimados para producciones de alto rendimiento (30 ton ha⁻¹) están en el orden de 60, 17 y 15 Kg respectivamente (Esta-Kieserita, 2002).

4. Respuesta a correctivos y fertilización

Existen avances importantes sobre el estado de respuesta de correctivos y fertilizantes al cultivo, en su mayoría realizados por el Programa Nacional de Suelos del ICA en las décadas 70, 80 y 90. Considero que es conveniente recopilar en forma general esta información, advirtiendo que es dispersa y en ocasiones contradictoria.

4.1 Encalamiento (Muñoz, 1998; Barrera, 1998; García, 1998)

Su validez técnica no está comprobada suficientemente, principalmente en suelos con pH > 5 y concentraciones moderadas de calcio y magnesio.

Dosis de 8 y 10 ton ha⁻¹ registran reducciones drásticas en rendimientos por sobreencalamiento y desbalance Ca: Mg: K. Igualmente cambios en pH mayores a 6 por sobreencalamiento pueden favorecer susceptibilidad a sarna (*Actinomyces scabies*) y mitigación en la disponibilidad de B, Cu y Zn.

Andisoles con pH < 5, saturaciones altas de Al⁺⁺⁺ y desaturados en Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, encalamientos de 1,5 a 2,5 ton ha⁻¹ mejoran condiciones químicas y rendimientos, cuando se compara la fertilización NPK con y sin aplicación de cales.

El encalamiento extiende beneficios residuales al relevo maíz-fríjol y a gramíneas en rotación con papa.

4.2 Abonamiento orgánico (Muñoz, 1998; García, 1998; Guerrero, 1997; Ñustez *et al.*, 1997).

Todas las zonas de producción reportan efectos favorables en productividad de la papa con el uso de gallinaza seca y pulverizada como acompañante de la fertilización mineral convencional. Estos resultados se destacan para el Oriente Antioqueño, Nariño y Cundinamarca con el uso de dosis que oscilan entre 5 y 10 ton ha⁻¹.

En experimentos realizados por el Programa de Ingeniería Agronómica de la UPTC, para evaluar diferentes alternativas de fertilización, los resultados indicaron que la mayor productividad por hectárea en papa comercial (var. Diacol Monserrate), se obtuvo con el tratamiento químico convencional ($26,65 \text{ ton ha}^{-1}$), con diferencias altamente significativas respecto a los tratamientos biológico comercial y orgánico adaptado en finca, cuyos rendimientos estuvieron en el orden de 17,2 y $17,1 \text{ ton ha}^{-1}$ respectivamente. El testigo sin fertilización presentó un rendimiento de $14,71 \text{ ton ha}^{-1}$.

La inoculación con micorrizas no ha registrado mayores efectos sobre rendimientos, probablemente por la presencia de cepas nativas que promueven en forma natural la infección.

En Nariño se reportan rendimientos similares cuando se usan 2000 Kg de 13:26:6 que con 700 Kg 13:26:6 más 10 ton ha^{-1} de gallinaza.

Los resultados con el empleo de vacunas no son consistentes.

En suelos provistos de alta materia orgánica se ha demostrado que los abonos orgánicos promueven la roña (*Spongospora subterranea*).

Con el empleo de 2 a 5 ton ha^{-1} de gallinaza se reportan incrementos significativos en rendimientos de tubérculo y un efecto residual de fertilidad para cultivos subsiguientes de relevo (maíz frijol) y pastos mejorados.

Respuestas muy favorables del uso de gallinaza en condiciones de páramo, efecto que podría estar asociado principalmente con el aumento de la temperatura del suelo para facilitar la activación de procesos microbiológicos.

4.3 Fósforo (Barrera, 1998; Espinosa, 1998; Muñoz, 1998; García, 1998)

Las mayores y más consistentes respuestas a la fertilización fosfórica se reportan para suelos con contenidos inferiores a 40 ppm (BrayII), entre 300 y 450 Kg P_2O_5 por hectárea.

El abonamiento orgánico aumenta la eficiencia del fósforo y su efecto residual.

En andisoles con $< 10 \text{ ppm}$ de P (Bray II) se reportan buenos resultados con la inmersión de semilla en superfosfato triple en solución, como una práctica sumada al manejo de la fertilización edáfica del fósforo.

Pobre respuesta de rocas fosfóricas nacionales debido a su baja reactividad. Promisoria la acidulación al 50% con H_2SO_4 , lo que ha mostrado efectos similares al Superfosfato Triple (SFT). En $\text{pH} > 5$ no es favorable el uso de rocas fosfóricas.

Respuestas al fósforo hasta 450 Kg ha^{-1} de P_2O_5 en páramo (10-20% de eficiencia).

Registro de altos índices de fijación de fosfatos en andisoles (70-98%), aspecto íntimamente relacionado con los contenidos de carbono orgánico (complejos humus-Al).

4.4 Potasio (García, 1998; Muñoz, 1998; Castro, 1998)

En Nariño las respuestas a la fertilización con K^+ no son muy consistentes: mientras que en unos suelos aumentó ligeramente, la producción en otros fue muy baja.

En Santander suelos paperos con 0,6 meq de $\text{Kx}100\text{g}$, reportan respuestas positivas, cuando se agregó cal y se incrementaron las dosis hasta 300 Kg K_2O por hectárea.

Efectos muy negativos del sobreencalamiento sobre la disponibilidad de potasio.

En la zona papera del Oriente Antioqueño se reportan altos y significativos rendimientos con aplicaciones de K^+ en suelos con contenidos de potasio inferiores a 0,3 meq x 100g. La mayor eficiencia agronómica se observó en aplicaciones de 100 Kg K_2O por hectárea.

En pruebas experimentales para evaluar el significado de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad industrial de la variedad Diacol Capiro (R-12), realizadas en suelos paperos de Toca y Ventaquemada (Boyacá), con contenidos de 0,5 meq $\text{Kx}100\text{g}$, se presentaron diferencias altamente significativas en rendimiento para las categorías cero y primera, con el suministro de dosis en el rango de 120 a 180 Kg ha^{-1} de K_2O , manteniendo

dosis constantes de N y P_2O_5 de 180 y 300 Kg/ha¹ respectivamente. Los rendimientos experimentales en Toca sobre inceptisoles óxicos fueron superiores a 40 ton/ha¹ y en Ventaquemada sobre andisoles no superaron 27 ton/ha¹, en el mismo semestre agrícola. Todos los tratamientos explorados con potasio (0, 60, 120 y 180 Kg/ha¹ de K_2O), presentaron niveles de materia seca y azúcares reductores dentro de la franja considerada como normal para la industria, destacándose el aumento gradual de materia seca con las dosis de potasio aportadas con sulfato de potasio y la tendencia contraria con el uso de cloruro de potasio.

4.5 Elementos secundarios (Guerrero y Montenegro, 1994; Castro, 2001)

Alto potencial de deficiencias de Mg en suelos paperos de Colombia, especialmente en Boyacá.

Alto potencial de respuesta al suministro de S en reabone con dosis de 40 Kg/ha¹, empleando sulfato de amonio o sulfato de calcio en suelos con contenidos inferiores a 5 ppm de S disponible.

48

CE PAPA 4.6 Elementos Menores (Lora, 1986; Barrera, 1998)

En suelos del Altiplano Cundiboyacense con contenidos de B (0,3 - 0,6 ppm) se reportan respuestas favorables en los rendimientos con el suministro al suelo de 1 Kg/ha¹ de boro con la fertilización NPK de fondo al momento de la siembra. Menor magnitud en la respuesta con el suministro de aspersiones foliares de solubor (20,5% B), en concentraciones de 0,4 a 0,6% a los 15, 30 y 45 días después de emergencia. Fitotoxicidad con aplicaciones foliares > 0,6%.

Promisoria respuesta con aplicaciones de boro en solución al suelo (1 Kg/ha¹) antes de colocar los tubérculos al momento de la siembra.

4.7 Dosis y fraccionamiento de la Fertilización (Lora, 1980; Guerrero 1982; Barrera, 1998; Castro, 1998)

La dosis de fertilizantes no se considera en función del área sino por carga de semilla sembrada, siendo en promedio 70 g/planta de fertilizante, compuesto de las fórmulas 1:3:1, 2:4:1, 1:2:2 y 1:1:1.

Menores necesidades de fertilizantes en suelos paperos con influencias o con leve reacción a ceniza volcánica (reacción a NaF en campo) y en zonas productoras ubicadas por debajo de los 2900 de altitud. Mayores necesidades de fertilizantes en suelos con reacción fuerte a ceniza volcánica y en condiciones de subpáramo.

Mínimo empleo de fuentes simples.

No validación de la eficiencia de fertilizantes compuestos, especialmente los procedentes de mezclas físicas manufacturadas.

Información contradictoria sobre épocas de siembra. Tendencia al predominio del fraccionamiento (50% al momento de la siembra + 50% reabone al primer desyerbo o semiaporque).

Fraccionamiento en épocas y dosis dependiente de la variedad, morfología de raíces (distribución de raíces y estolones), pluviosidad, características del suelo y de las fuentes de fertilizantes.

No recomendable el fraccionamiento en zonas secas y en variedades precoces.

Necesidades de investigación

Analizada la problemática existente en el campo de la fertilización para el cultivo de papa en Colombia y retomando su estado de arte sobre los aportes tecnológicos realizados en el tema por diversas instituciones e investigadores en los últimos treinta años, es posible valorar

el significado de las experiencias ya efectuadas y proponer el desarrollo prioritario de investigaciones que contribuyan a superar limitaciones que aún afectan la productividad y rentabilidad del sistema, derivadas de la fertilización. Debido a la limitada acción institucional para abordar la investigación del cultivo de papa en Colombia, cualquier esfuerzo en ciencia y tecnología que conduzca a modernizar el manejo del cultivo debe contar con la participación responsable y comprometida del Ministerio de Agricultura, CORPOICA, el sector académico, industriales, productores, CEVIPAPA y FEDEPAPA, entre otros. La modalidad de asignar recursos para investigación a través de proyectos, debe ser una tarea concertada, sometida al análisis y decisión de un comité técnico experto que, con criterios de equidad, priorice a nivel regional y local las verdaderas necesidades de investigación, en respuesta a los limitantes de mayor impacto. Con este planteamiento, se presentan a continuación algunos temas o líneas de investigación que en el momento demandan ser explorados para ajustar técnicamente el manejo de la fertilización en todo su contexto.

1. Evaluación zonificada de la calidad de las tierras para la explotación del cultivo de papa en Colombia

Plazo: 2 a 5 años

Justificación: alta variabilidad geográfica, agroecológica (climática y edáfica) en zonas productoras y aplicación universal de criterios de manejo empleando igual tecnología para condiciones contrastantes.

Objetivo: definir local y regionalmente unidades homogéneas de manejo que, con similares recomendaciones de dominio, respondan similarmente en productividad.

Metodología: Sistema FAO, evaluación de tierras para cultivos específicos.

Proyectos (4) "Evaluación de la aptitud de las tierras para el cultivo de la papa en zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia".

Resultados esperados:

- Elaboración regional de los mapas de unidades homogéneas de manejo de acuerdo con la aptitud ofertada por las tierras actualmente explotadas.
- Extrapolación agrotecnológica para el manejo del cultivo por comparación entre unidades homogéneas análogas.

Instituciones financiadoras: COLCIENCIAS, CEVIPAPA, Universidades, CORPOICA, IGAC, FEDEPAPA, CIP.

2. Elaboración de una "Ficha Técnica Edáfica" para el manejo de los suelos paperos de acuerdo a su origen

Plazo: 6 meses 1 año.

Justificación: las regiones paperas de Colombia (Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Cauca, Caldas y Santanderes), ubicadas en climas frío, muy frío y subpáramo, presentan cobertura de ceniza volcánica en diferente grado de meteorización en el 68% del área. El 32% restante, son suelos con capas arables sin influencia de ceniza volcánica, bien porque no se produjo la depositación o porque se perdió por procesos de erosión.

Objetivo: separar local y regionalmente suelos con y sin influencia activa de ceniza volcánica, teniendo en cuenta que su presencia guarda estrecha relación con problemas de infertilidad.

Metodología:

- Caracterizar en campo el grado de reacción del suelo a Fluoruro de Sodio (NaF 10%) y buscar su correlación con la adsorción o fijación aniónica del fósforo y presencia de carbono orgánico.
- Calificar, mediante el análisis químico del suelo, el grado de fertilidad natural exhibido por suelos con y sin influencia activa de ceniza volcánica.
- Evaluar los cambios inducidos al suelo por efecto del encalamiento en suelos con reacción moderada y fuerte a ceniza volcánica (lotes de pradera que entran a cultivo y aquellos en donde el manejo ha favorecido los procesos de meteorización de la ceniza).

Proyectos (4): en Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. "Delimitación de áreas productoras de papa a nivel regional de acuerdo con el grado de influencia activa de ceniza volcánica".

Resultados esperados: Elaboración de una "Ficha Técnica Edáfica" para el manejo de suelos paperos según el grado de influencia activa de ceniza volcánica.

Instituciones financiadoras: el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a través de CEVIPAPA y en cooperación con las universidades (Universidad Nacional de Colombia, UPTC, Universidad de Nariño y Universidad de Caldas).

3. Diagnóstico de la tendencia de la fertilidad local de suelos paperos a partir de la información analítica existente en los Laboratorios de Suelos

Plazo: 1 año

Justificación: existe información analítica subutilizada en los laboratorios de suelos del ICA, CORPOICA, IGAC, Universidades (Nacional, UPTC, Nariño) y Microfertisa, susceptible de agruparse en una base de datos para definir, mediante rangos de indicadores químicos aplicados al cultivo, la tendencia de la fertilidad de los suelos en la mayoría de los municipios paperos de Colombia.

Objetivo: elaborar mapas de fertilidad a nivel municipal y/o provincial, que reflejen el estado de la fertilidad de los suelos por parámetro (pH, M.O., P, K, Ca, Mg, S, fijación de fósforo, elementos menores y textura).

Metodología: diseño de las bases de datos, recolección de la información, trabajo estadístico y tratamiento de la información específica del cultivo, organización e interpretación a partir de rangos preestablecidos (niveles críticos) y diseño de mapas de fertilidad (Niño *et al.*, 2001, UPTC).

Proyectos (4): UNAL, UPTC, U. Nariño, IGAC, Microfertisa, CORPOICA.

Resultados esperados: elaboración de mapas de fertilidad por parámetro por zona y/o provincia productora.

Instituciones financiadoras: COLCIENCIAS, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (CEVIPAPA).

4. Estimación de requerimientos nutricionales para las variedades de papa cultivadas en Colombia

Plazo: 2 años

Justificación: conocer los requerimientos nutricionales de las diferentes variedades y/o genotipos de papa cultivados en Colombia, constituye una buena fórmula para aproximarse a planes adecuados de fertilización. En el caso colombiano, hacemos uso de información foránea no referida a nuestras variedades ni a nuestras zonas de cultivo.

Objetivos:

- Estimar, mediante curvas de absorción, la extracción o consumo total de nutrientes efectuado durante su ciclo de producción, por las variedades más sembradas en Colombia.
- Dar solidez a los programas de fertilización, proyectando necesidades de nutrientes de acuerdo con el potencial genético productivo propio de nuestras variedades.

Metodología: Bertsch (2003) "La cantidad consumida o requerida por una planta se obtiene del asocio del peso seco de los tejidos, con las concentraciones de nutrientes totales presentes en esos tejidos."

Proyectos (4): se programará con igual objetivo, metodología y cobertura, el desarrollo de un proyecto en las principales zonas productoras de papa (Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia).

Resultados esperados: elaboración de las curvas de absorción de nutrientes por región productora para cada una de las variedades más comercializadas en Colombia.

Instituciones financiadoras: COLCIENCIAS, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (CEVIPAPA).

5. Manejo integral de la fertilización (MIF)

Aunque son variados y trascendentales los temas que reúnen el concepto del Manejo Integral de la Fertilización (MIF), en esta propuesta sólo se consideran aquellos que, en el momento, deben ser revalidados mediante investigación para lograr una mejor aproximación al entendimiento, significado e interacción de esta práctica en el cultivo. Algunas prioridades que deben señalar los derroteros en este sentido son:

Mejoramiento integral de la fertilidad química a través del uso combinado de materiales encañados en presiembra incorporado.

Evaluación de la capacidad de retención de fosfatos, como un parámetro que debe ser incluido en el análisis de suelos para facilitar el diagnóstico de las necesidades y eficiencia de fertilización fosfórica.

Tipificación morfológica de raíces (peso, volumen y distribución) y su relación con el índice de aprovechabilidad y eficiencia de fuentes fosfatadas.

Ajuste de niveles críticos a partir del establecimiento de experimentos de fertilización que enfrenten dosis graduales de nutrientes (metodología de screening).

Evaluación de la respuesta gradual de la fertilización mineral en suelos modales y variedades específicas (método screening).

Efecto de la interacción mineral y orgánica de la fertilización en suelos modales y variedades específicas (método screening).

Eficiencia agroeconómica de fuentes simples y compuestas (complejos y mezclas físicas manufacturadas).

Valoración agroeconómica del efecto de la biofertilización (micorrizas, sustancias húmicas, compost, estiércoles fermentados bocachi y biopreparados).

Evaluación de la eficiencia y del significado económico de la fertilización mineral en Planes Integrales de Nutrición.

Evaluación de la eficiencia residual de la fertilización aplicada al cultivo de papa y sus rotaciones.

Evaluación del efecto complementario de la fertilización edáfica mediante el uso de la fertilización vía foliar.

Validación de la fertilización con elementos menores y secundarios suministrados edáfica y foliarmente.

Validación del fraccionamiento de la fertilización edáfica en el cultivo de papa.

6. Transferencia de tecnología

Existe una pobre presencia institucional que limita grandemente la asistencia técnica y difusión tecnológica en el cultivo. Revisado el estado de arte sobre el inventario de oferta tecnológica en el campo de la fertilización, se deduce que, aunque muy poco se ha hecho en los últimos diez años, la investigación realizada por el Programa Nacional de Suelos del ICA, por CORPOICA, las universidades y empresas de fertilizantes (Monómeros, Abocol, Microfertisa entre otras), sigue siendo un buen referente. En el momento, desde luego, amerita ser revalidado ante los cambios que pueden haber ocurrido por el uso del suelo en el cultivo durante los últimos veinte años.

Algunas de las necesidades de difusión tecnológica más relevantes en el momento tienen que ver con los siguientes temas:

Uso del análisis de suelos y foliar como herramienta tecnológica para disminuir costos por fertilización.

Construcción de buenas y adecuadas capas arables para el cultivo, evitando el uso de implementos como el rotovalor.

Beneficios promovidos por coberturas, residuos de cosecha, abonos verdes y rotación de cultivos en la restitución de nutrientes y preservación de humedad en el suelo.

Manejo integral y económico de la fertilización a partir de la correlación entre los requerimientos del cultivo y la oferta edafoclimática de lotes en cultivo.

Bibliografía

Barrera, L. L. 2003. Consideraciones agronómicas y económicas de la fijación de fósforo en suelos paperos. En: IV Taller de papas colombianas, documento técnico. Bogotá. p. 1-4.

Barrera, L. L. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. En: Fertilización de cultivos de clima frío. Monómeros Colombo Venezolanos. 2 ed. Bogotá. p. 63-83.

Barrera, L. L. 1998. Los microelementos en el cultivo de la papa. En: Fertilización de cultivos de clima frío, Monómeros Colombo Venezolanos. 2 ed. Bogotá. p. 113131.

Bertsch, G. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. 1 ed. San José de Costa Rica. p. 184223.

CORPOICA. 1999. Plan Nacional de Investigación para aumentar la sostenibilidad y competitividad de los sistemas de producción de papa en Colombia. Tibaitatá, Bogotá. 41 p.

Castro, H. 2000. Evaluación de la oferta natural del magnesio como nutriente en suelos paperos del departamento de Boyacá. Programa Ingeniería Agronómica, UPTC. 40 p.

Castro, H. 1999. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos en las principales zonas paperas y hortícolas del departamento de Boyacá. Programa de Ingeniería Agronómica, UPTC. 55 p.

Castro, H. y Guio, V. 1998. Significado de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad industrial del cultivo de la papa. En: Fertilización de cultivos de clima frío, Monómeros Colombo Venezolanos. 2 ed. Bogotá. p. 133-153.

Espinosa, J. 1998. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica y fertilización fosfórica del cultivo de la papa. En: Fertilización de cultivos de clima frío, Monómeros Colombo Venezolanos. 2 ed. Bogotá. p. 103111.

Esta-Kieserita. 2002. El magnesio en el suelo y en la planta. Kali, K+S, GmbH. www.kali-gmbh.com

FEDEPAPA. 2003. Primer Censo Nacional del cultivo de la papa. Revista papa 23, Nov. 2003. Bogotá. 43 p.

FEDEPAPA. 1997. Fertilización en el cultivo de papa. Bogotá. p. 612.

García, B. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en el departamento de Nariño. En: Fertilización de cultivos de clima frío, Monómeros Colombo Venezolanos. 2 ed. Bogotá. p. 2342.

Guerrero, R. y Montenegro, G. 1994. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) "pardo pastusa" al reabonamiento con nitrógeno y azufre en Andisoles del Altiplano de Pasto y la Sabana de Tuquerres, Nariño. *Suelos Ecuatoriales* 24: 1316.

Guerrero, R. 1988. La fertilización de la papa en Colombia. Monómeros Colombo Venezolanos. Colección punto verde No. 2. Bogotá. 36 p.

Instituto Colombiano Agropecuario. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica No. 25. 64 p.

Muñoz, R. 1998. Fertilización de la papa en Antioquia. En: Fertilización de cultivos de clima frío. Monómeros Colombo Venezolanos. 2ed, Bogotá. p. 43-61.

Niño, A. y Romero, O. 2001. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos paperos del departamento de Boyacá con base en los análisis químicos del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC. Tesis de Grado, Programa Ingeniería Agronómica. UPTC. Tunja. 177 p.

Núñez, E. y Montenegro, H. 1997. Evaluación del efecto de fertilizantes orgánicos sobre la producción de tubérculos en las especies de papa. En: Resúmenes de resultados de los proyectos de investigación y transferencia de tecnología en el cultivo de papa. Memorias. Convenio Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. CORPOICA. p. 4145.

Lara, R. 1980. Fertilización de la papa en Colombia. En: Federación Colombiana de productores de papa, FEDEPAPA. Bogotá: p. 28-38.