

Centro virtual de investigación de la cadena
agroalimentaria de la papa

CEVIPAPA

Memorias

**"I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y
nutrición vegetal en el cultivo de la papa"**

Bogotá, Colombia
Febrero 9 - 10 de 2005

COMITÉ ORGANIZADOR

Iván Gutiérrez Restrepo, M. A.
Director Ejecutivo – CEVIPAPA
Héctor J. Villarreal Márquez.
Secretario Técnico - C. N. P.

COMITÉ ACADÉMICO

Héctor J. Villamil, Ing. Agr., M. Sc.
Hugo Castro, Ing. Agr., M. Sc
Iván Valbuena, Ing. Agr., M. Sc.
Marco Cabezas, Ing. Agr., M. Sc.
Pedro Porras, Ing. Agr.

AUSPICIO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL
FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTICOLA

ORGANIZACIÓN

CEVIPAPA
CONSEJO NACIONAL DE LA PAPA

DISEÑO E IMPRESIÓN

Rasgo & Color Ltda. Tel: 3143540, Bogotá

PRESENTACIÓN

Sesenta profesionales con reconocidas calidades académicas dedicados a la investigación, atendieron la convocatoria de CEVIPAPA y el Consejo Nacional de la Papa para reunirse en Bogotá durante los días 9 y 10 de febrero de 2005, y trabajar en el **I Taller Nacional sobre Suelos, Fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa.**

Si bien la masa crítica dedicada a la atención del cultivo en Colombia ha dedicado múltiples esfuerzos a estudiar y conocer aspectos relevantes relacionados con la especie, es clara la importancia que tiene el compromiso con el conocimiento de su desarrollo y del medio en donde vive y, es preciso aceptarlo, la menor atención que a estas áreas temáticas se ha prestado. Conscientes de ello, el CNP y el Centro de investigación de la cadena consideraron conveniente recoger los trabajos y estudios hechos en el país y congregar al grupo de profesionales especializados en jornada de trabajo que permitió analizar el estado del arte sobre estas materias y determinar, de acuerdo con la situación real del cultivo en Colombia y con las posibilidades para hacer investigación, el camino que se debe seguir en la búsqueda de soluciones viables que permitan aliviar los daños que las deficiencias en estos aspectos causan en las plantas y en la producción final.

Estas Memorias incluyen resúmenes de los trabajos analizados en el taller y el programa de investigación necesario a corto, mediano y largo plazo, información de utilidad para quienes, con el fin de aportar al agricultor papero mayores posibilidades en el cultivo que es su empresa y, por tanto, de un nivel de bienestar más elevado, dedican sus acciones de investigación, innovación y desarrollo tecnológico hacia un mejor conocimiento de la especie y del medio en que se desarrolla.

IVÁN GUTIÉRREZ RESTREPO

DIRECTOR EJECUTIVO

CEVIPAPA

.....

Los trabajos presentados hacen parte de las investigaciones realizadas por las entidades participantes en el taller y las ideas y conceptos son responsabilidad exclusiva de sus autores. La Dirección del Centro agradece al doctor Alejandro Silva, Biólogo, por su colaboración en la preparación y revisión del material incluido en esta edición de las Memorias del I Taller Nacional sobre Suelos, Fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa.

TABLA DE CONTENIDO

Agenda de investigación y transferencia de la cadena agroalimentaria de la papa	1
Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos	1
PEDRO DAVID PORRAS	
Análisis de crecimiento del cultivo de papa	5
MARCO CABEZAS GUTIÉRREZ, M. SC.	
Ecofisiología de la papa	13
GERMÁN CORCHUELO, M. SC.	
Fisiología de la nutrición en papa	17
HÉCTOR JULIO VILLAMIL, M. SC.	
Principios de fisiología del cultivo de la papa	26
LUIS FELIPE ALVARADO, M. SC.	
Balance y prospectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia.....	31
HUGO E. CASTRO, M. SC.	
Inventario de la oferta tecnológica para la fertilización en el cultivo de la papa en Colombia.....	44
HUGO RUIZ, M. SC.	
Investigación y transferencia de tecnología en labranza de conservación como un componente en la recuperación de suelos de laderas degradados en el sistema de producción de papa	48
GILBERTO ALONSO MURCIA, PH. D.	
Caracterización de los suelos paperos en Colombia	62
RICARDO GUERRERO, M. SC. (†)	
Eficiencia agronómica y económica de la fertilización en el cultivo de papa	66
FERNANDO COLORADO	
Efecto residual de la fertilización en la papa.....	74
RODRIGO LORA, M. SC.	
Análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la evaluación química de la fertilidad en el cultivo de papa	78
MANUEL IVÁN GÓMEZ	
Lista de Participantes.....	91

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**

**PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA**

1. FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
1. Fisiología de la Nutrición			
1.1. Estudio de los requerimientos nutricionales de las variedades de papa cultivadas en Colombia.	Determinar los niveles de extracción de cada una de las variedades sembradas comercialmente permite ser racionales en la dosis de fertilizante que se debe utilizar y, de esta manera, el agricultor puede ser más eficiente en la producción de los cultivos.	A	Mp
1.1.1. Estudio de síntomas de deficiencias nutricionales.	El uso inadecuado de productos que a diario salen al mercado como correctores de algunas deficiencias del cultivo de papa, ha incrementado los costos de producción al agricultor, y, en la mayoría de los casos, no contribuye a mejorar la producción, con consecuencias negativas en la rentabilidad. Establecer las deficiencias en las principales variedades de papa le permite al agricultor tomar una mejor decisión en la utilización de un determinado producto.	M	C
1.2. Estudio de anatomía funcional en las variedades de papa cultivadas en Colombia (se analizará la eficiencia en la toma y transporte de nutrientes).	El conocimiento de la disposición de los tejidos de los órganos que hacen la absorción y transporte de los nutrientes ayuda a obtener mayor eficiencia en la aplicación de fertilizantes. El sistema radical de papa en las variedades andígenas ha sido subdimensionado, razón por la cual se ha planteado la necesidad de utilizar altas cantidades de fertilizantes para que estén disponibles en el cultivo. No se conoce la profundidad radical que alcanza cada variedad, la eficiencia de este sistema en la toma de nutrientes ni el nivel de exploración horizontal o vertical en el suelo. El estudio del sistema radical permite asociar la disponibilidad de nutrientes que el suelo es capaz de extraer y el aprovechamiento eficiente del fertilizante aplicado. Es importante evaluar la eficiencia de las fertilizaciones foliares y la seguridad de que realmente la planta los está aprovechando.	A	Mp

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**

**PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA**

1. FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
1.3. Estudios de la interacción Nutrición-Problemas sanitarios	Existen estudios que demuestran que las plantas sanas resisten problemas sanitarios; sin embargo, no todos los elementos nutritivos están involucrados en esta interacción. Es preciso establecer correlación entre el estado nutricional de la planta y la susceptibilidad a los problemas sanitarios que se presentan en el cultivo. El agricultor debe disponer de herramientas que le permitan hacer el mejor balance nutricional y, de esta manera, reducir los controles químicos para el manejo de plagas y enfermedades. Se debe trabajar en la identificación de zonas geográficas de Colombia en donde las variedades de papa puedan expresar mejor su potencial productivo. Adicionalmente, conviene identificar aquellas zonas donde existan determinados riesgos para que el agricultor esté al tanto de ellos y adopte las medidas que le permitan manipularlos o manejarlos para alcanzar mayores rendimientos en sus cultivos.	A	Mp
2. Ecofisiología			
2.1. Caracterización ecofisiológica de las zonas de cultivo de papa.	Se pretende definir zonas óptimas y marginales para el cultivo de las diferentes variedades de papa. Se debe trabajar en la identificación de zonas geográficas de Colombia en donde las variedades de papa puedan expresar mejor su potencial productivo. Adicionalmente, conviene identificar aquellas zonas donde existan determinados riesgos para que el agricultor esté al tanto de ellos y adopte las medidas que le permitan manipularlos o manejarlos para alcanzar mayores rendimientos en sus cultivos.	M	L
2.2. Fisiología del estrés hídrico, térmico, iónico, por radiación y por aplicación de pesticidas.	Todas las plantas están sometidas a uno o a varios factores causantes de estrés, que reducen su rendimiento por lo que se pretende definir en las diferentes variedades las principales limitantes, para hacer un uso racional de los recursos.	A	C
2.3. Modelación en el cultivo de la papa.	Con base en información suficiente sobre el cultivo se pretende establecer modelos matemáticos que permitan predecir respuestas del mismo, estimar posibles rendimientos y el desempeño probable de una variedad en una determinada región, lo que contribuye a disminuir el riesgo y la incertidumbre del agricultor.	M	L

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**
PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA

1. FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
3. Fisiología de poscosecha			
3.1. Efecto de las variables ambientales sobre la calidad del tubérculo para consumo en fresco y para industria.	Las condiciones de precosecha y de cosecha tienen efectos determinantes de la calidad del producto final. El conocimiento de las variables que afectan estas etapas y el manejo adecuado de las mismas, permite disminuir las pérdidas del producto final y dar valor agregado para una óptima aceptabilidad en el mercado.	M	Mp
3.2. Estudio de los factores que afectan el almacenamiento de papa de consumo.		M	C

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**

**PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA**

1. FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
4. Fisiología del crecimiento y desarrollo			
4.1. Efecto de los factores ambientales sobre la asignación y distribución del carbono.	Muchos factores afectan la distribución y acumulación de materia seca en las plantas. Es importante tener esta información para alcanzar niveles óptimos de producción del cultivo. Diferenciar cada una de las etapas del cultivo permite al agricultor saber cuál es la fase de crecimiento más crítica y, de esta manera, tener la oportunidad de tomar medidas adecuadas para que el cultivo no se vea afectado negativamente.	M	Mp
4.2. Estudios de los requerimientos agroecológicos de las variedades de papa.	Se pretende definir zonas óptimas y marginales para el cultivo de las diferentes variedades de papa y conocer el comportamiento de cada variedad frente a los parámetros meteorológicos para, de esta manera, facilitar al agricultor la toma de decisiones sobre la zona más adecuada para que el cultivo tenga el mejor desempeño.	M	L
4.3. Fisiología de la tuberización (Inducción – Brotación).	Aun se desconocen los factores que inducen la tuberización. Las variedades andigenas tienen un crecimiento indeterminado, razón por la cual un cultivo presenta diferentes tamaños en el momento de la cosecha, lo cual, en la mayoría de los casos, es una dificultad para conseguir buenos precios. Conocer la fisiología de la nutrición dará al agricultor las herramientas necesarias para que pueda manipular la producción de tubérculos y, de esta manera, enfocar su cosecha a un mercado que le permita alcanzar la mejor rentabilidad.	A	C

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**

**PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISILOGÍA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA**

1. FISILOGÍA Y NUTRICIÓN

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
5. Fisiología de la semilla			
5.1. Estudio de la edad fisiológica del tubérculo semilla (Estudios hormonales, bioquímicos y físicos).	El grado de utilización de semilla certificada en el país es muy reducido; sin embargo, conocer la fisiología de la semilla, dentro de los parámetros de calidad que se manejan en certificación, permitirá al agricultor hacer un buen uso de este insumo y obtener rendimientos promedio que pueden llegar a duplicar los obtenidos sin esta clase insumo. El productor debe conocer los parámetros de almacenamiento de semillas y la edad óptima en la cual deben ser sembradas para alcanzar los mayores rendimientos, los factores en precosecha que afectan la calidad final de los tubérculos semilla y determinar las mejores condiciones de almacenamiento para aumentar la longevidad de los tubérculos semilla.	M	C
5.2. Estudio de los factores precosecha que afectan la calidad de la semilla (nutrición, madurantes, hormonas, prácticas agrícolas).		M	C
5.3. Evaluación del efecto de las condiciones de almacenamiento y manejo sobre la calidad de la semilla (empaques, volúmenes, protectantes, condiciones de la bodega).		M	C

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**

**PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA**

2. SUELOS

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
1. Fertilidad; Eficiencia económica y agronómica ? Validación de dosis ? Inventario de análisis de dosis	La degradación de suelos ha obligado al sector agropecuario a buscar soluciones externas al sistema de producción. Ante esta situación, el productor de papa se ve obligado a invertir considerables cantidades de dinero en insumos agropecuarios con el fin de obtener rendimientos aceptables. El sistema de producción de papa, con rotación deficiente, reduce cada vez más la fertilidad del suelo al convertirse únicamente en sistema extractor de nutrientes, de tal forma que se necesite de una restitución artificial de fertilizantes que permitan obtener un balance interno de nutrientes para mantener la producción. Es necesario adelantar investigación en aspectos como niveles críticos de fertilización, dosis, requerimientos nutricionales, etc.	A	Mp
2. Fertilización ? Evaluación técnica, económica y ambiental del uso de fertilizantes ? Biofertilizantes ? Efectos residuales de la fertilización	Como la fertilización del cultivo de papa tiene alta incidencia en los costos de producción, es necesario evaluar los aspectos técnicos, económicos y ambientales de algunas alternativas de fertilización (química, gallinaza, biofertilizantes, etc.)	A	Mp
3. Manejo integral y racional de la fertilización edáfica y foliar (P, Ca, y Mg)		A	P
4. Red de laboratorios de suelos con énfasis en el cultivo de papa		B	C

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

**AGENDA DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE LA PAPA**
PROGRAMA: MANEJO INTEGRADO DE SUELOS, FISIOLÓGIA Y NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE
LA PAPA

2. SUELOS

Nombre del Proyecto	Justificación	Prioridad	Plazo de ejecución
5. Requerimientos hídricos	Es necesario lograr el uso óptimo del recurso agua en la producción de papa	A	C
6. Sistemas sostenibles, alternativos de producción de papa (Evaluación del impacto técnico, económico y ambiental) ? BPA (Producción más limpia) ? Agricultura ecológica ? Trazabilidad ? Evaluación de alternativas sostenibles de producción (énfasis en producción limpia) ? Labranza de conservación ? Mejoramiento de implementos agrícolas de pequeña y mediana dimensión para una agricultura de conservación en ladera	? Dar valor agregado a la producción de papa para poder competir en precios y calidad ? Una alternativa para reducir el impacto negativo de las prácticas convencionalmente empleadas en la producción de papa es la agricultura de conservación, la cual se fundamenta en el mínimo movimiento de suelos, en el uso de abonos verdes como cobertura vegetal, en la rotación de cultivos y en el mejor uso de plaguicidas de origen químico.	M	Mp
7. Transferencia de tecnología ? Estrategias de transferencia de tecnología (ECAS) ? Capacitación ? Evaluar la adopción	Aumentar la adopción de las tecnologías disponibles. Capacitar profesionales y técnicos vinculados al agrosistema de la papa en las regiones productoras de Colombia: mejoramiento de los canales de comunicación y divulgación.	A	P

A = Alta, M = Media, B = Baja, P = Permanente, C = Corto plazo, Mp = Mediano plazo, L = Largo plazo

Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos

Pedro David Porras¹

Presentación

La papa es la principal actividad agrícola de clima frío del país; se cultiva en cerca de 250 municipios dispersos a lo largo del territorio, localizados entre 2000 y 3500 m de altitud, en un área de -160.000 hectáreas al año. Se siembran cerca de 40 variedades de las especies *Solanum tuberosum* spp. *andigena* y *S. phureja*, de las cuales sólo 15 son comercialmente destacadas, entre las cuales cabe mencionar: Parda Pastusa, Diacol Capiro, Ica Puracé, Tuquerreña, Ica Nariño, Criolla "Yema de Huevo", Pastusa Suprema e Ica Única. El cultivo de este tubérculo se realiza en múltiples ambientes (suelos, altitudes y climas) con aplicación de diferentes estrategias de manejo agronómico, situación que genera innumerables respuestas en rendimiento y calidad.

El cultivo de papa responde favorablemente a la fertilización, rubro que representa cerca del 21% de los costos totales de producción. Para este cultivo existe una amplia oferta tecnológica disponible en el mercado, representada en diversos insumos como fertilizantes edáficos (especialmente fórmulas NPK), correctivos, productos foliares y materia orgánica (Tabla 1).

Tabla 1. Costo promedio de producción por hectárea de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Semestre A de 2004.

Rubro	Valor total (\$)	Participación (%)
Semilla	1.140.000	10,86
Fertilizantes edáficos y foliares, abonos orgánicos y correctivos	2.175.000	20,71
Plaguicidas (insecticidas, fungicidas, adyuvantes y herbicidas)	1.695.500	16,16
Empaques	523.920	4,99
Maquinaria y tracción animal	286.000	2,72
Mano de obra (120 jornales)	2.048.000	19,50
Transporte	1.078.600	10,27
Costos indirectos	1.552.420	14,78
TOTAL COSTOS	10.501.040	100,00

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa "FEDEPAPA". Departamento Técnico

La condición mencionada deja presente la importancia de éste rubro y la necesidad de hacer más eficiente ésta práctica en términos económicos, agronómicos y ambientales. Dentro de las estrategias formuladas en el Acuerdo Sectorial de Competitividad de la Cadena Agroalimentaria de la Papa, para superar las limitaciones en torno a la competitividad del cultivo, se encuentran acciones para la reducción de costos de producción, en particular en fertilización y control fitosanitario, así como acciones para la reducción del impacto ambiental, que garanticen su sostenibilidad.

Desafortunadamente, el incremento acelerado en precios de los insumos destinados a la nutrición vegetal, los cuales presentan alta dependencia de materias primas importadas, hace que los agricultores vean disminuidas sus oportunidades de rebajar costos (Tabla 2).

¹ Ing. Agr. Jefe Departamento Técnico, Federación Colombiana de Productores de Papa. fedepapatecnico@yahoo.com

Tabla 2. Variación semestral del precio público (pesos/bulto de 50 kilos) de algunos fertilizantes compuestos utilizados en el cultivo de papa. 1999-2004.

Semestre	10-30-10	% Var.	13-26-6	% Var.	12-34-12	% Var.	15-15-15	% Var.
A 1999	26.800		25.400		24.100		22.800	
B 1999	27.500	2,6	27.500	8,3	24.700	2,5	22.800	0,00
A 2000	31.100	13,1	29.000	5,5	28.100	13,8	26.300	15,4
B 2000	33.800	8,7	30.600	5,5	29.000	3,2	29.200	11,0
A 2001	35.800	5,9	33.800	10,5	31.800	9,6	30.500	4,5
B 2001	37.000	3,3	31.400	-0,7	31.400	-0,1	30.800	0,1
A 2002	37.000	0,0	31.500	0,3	31.500	0,0	31.900	3,6
B 2002	39.500	10,7	35.800	13,6	35.800	13,6	33.800	6,0
A 2003	42.700	8,1	41.400	15,6	40.000	11,7	34.400	1,8
B 2003	45.600	6,8	41.500	0,2	40.200	0,1	38.700	12,5
A 2004	49.600	8,8	43.900	5,8	42.800	6,5	41.600	7,5
B 2004	50.900	2,6	45.100	2,7	45.400	6,1	43.300	4,1
Var. Prom.		6,42		6,08		6,09		6,05

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa "FEDEPAPA". Departamento Comercial

Estado del arte

Por varios años la investigación en nutrición del cultivo de papa a nivel nacional se ha concentrado en la respuesta en rendimiento a la aplicación de elementos mayores (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y, en ocasiones, de elementos secundarios (Calcio, Magnesio y Azufre); son menos frecuentes los trabajos realizados alrededor de la aplicación de materia orgánica u otros insumos de origen biológico, elementos menores y correctivos, niveles críticos para nutrientes, caracterización química de suelos paperos en referencia a acidez, contenido, disponibilidad y balance de nutrientes.

Así mismo, ha sido muy escasa la divulgación de resultados en fisiología y ecofisiología de variedades colombianas en las principales zonas productoras; de igual forma, es escasa la información sobre requerimientos hídricos, de luminosidad y de nutrientes, el efecto en rendimiento a la aplicación de riego, retenedores de humedad, efecto residual de la fertilización y la respuesta del cultivo de papa a las aplicaciones foliares de elementos nutricionales, aminoácidos, fitoreguladores y demás productos relacionados.

En la actualidad la base bibliográfica de CEVIPAPA cuenta con cerca de nueve registros en los temas de fisiología, 203 documentos sobre fertilización, abonos y nutrientes y 23 trabajos en preparación de lotes y labranza. Igualmente, se cuenta con proyectos finalizados con recursos administrados por el Centro: tres proyectos en fisiología y nutrición y doce proyectos en manejo integrado de suelos, agua y mecanización.

Frente a los impactos negativos generados por el uso inadecuado de los implementos de labranza y la excesiva remoción del suelo por el azadón, se han desarrollado modelos alternativos de manejo sostenible de suelos para el cultivo de la papa, como la labranza mínima y sistemas conservacionistas de suelos, cuya adopción por parte de los productores es limitada a nivel local. En el país, los modelos más destacados, dirigidos a mitigar la erosión y evitar la destrucción de propiedades físicas, como retención de humedad, estructura y aireación, se encuentran en los esfuerzos realizados por el Proyecto Checua (hoy Procas) en diferentes localidades. Estos modelos están basados en la incorporación de abonos verdes, mínima remoción de suelos y cobertura vegetal, sin olvidar el antiquísimo sistema del "guachado" aplicado por los agricultores en el departamento de Nariño.

No se conoce información sobre los requerimientos nutricionales e hídricos de las principales variedades cultivadas de papa en el país; se han extrapolado los resultados

obtenidos en otros países con variedades totalmente diferentes a las colombianas, lo cual ha sido el principal factor de discusión entre los profesionales quienes requieren datos confiables para elaborar planes de fertilización ajustados a condiciones locales de producción.

La cultura arraigada del agricultor tradicional de papa, en contra de los avances tecnológicos, es el principal argumento que se emplea para explicar la baja implementación de sistemas sostenibles que han sido desarrollados, ajustados y validados en diferentes condiciones. Posiblemente, las estrategias y mecanismos de divulgación y transferencia de tecnología ejecutados durante muchos años no han sido los más adecuados para conducir a los usuarios a realizar un manejo más sostenible del cultivo.

Necesidades de investigación y divulgación

Para lograr un verdadero Manejo Integrado del Cultivo de la Papa es indudable la necesidad de adelantar estudios básicos en temas de nutrición en variedades colombianas bajo diferentes condiciones ambientales y hacer su respectiva divulgación. Los resultados de estos estudios, ligados a un amplio conocimiento de la fisiología del cultivo, permitirán una mejor comprensión del comportamiento agronómico y la aplicación racional de prácticas tales como labores culturales, riego y manejo fitosanitario. En lo referente a fertilización, se busca la mayor eficiencia en absorción de nutrientes en relación con épocas de aplicación, fuentes y dosis en diferentes tipos de suelos, con el fin de desarrollar grados regionales de fertilizantes y otras fuentes de nutrientes.

En el corto plazo se hace necesario adelantar investigaciones sobre el efecto de la aplicación de materia orgánica (especialmente gallinazas frescas de mala calidad) en relación al incremento de organismos fitopatógenos presentes en el suelo que afectan la calidad y el rendimiento del tubérculo.

Se requiere la ejecución de un plan nacional de manejo integral de suelos dirigido a agricultores y tractoristas que contemple acciones encaminadas al buen uso de los implementos actualmente disponibles en el mercado, así como aquellos que permitan la implementación de criterios de producción más limpia y buenas prácticas agrícolas, preferencialmente dirigidas al manejo sostenible de suelos de ladera y profundidad óptima de la capa arable.

Se necesita el ajuste de metodologías que permitan la identificación en campo de síntomas de deficiencias y toxicidades nutricionales para las principales variedades cultivadas. Estas deben apoyarse en sistemas rápidos y económicos de análisis foliar, que complementen la información obtenida en los análisis de suelos.

El Fósforo es uno de los elementos nutricionales más limitantes para la producción de papa en los suelos colombianos. El fenómeno de fijación, responsable de la baja eficiencia de la aplicación vía edáfica, permite recomendar la ejecución de trabajos dirigidos a demostrar las bondades de la fertilización fosfórica vía foliar con diversas fuentes y en diferentes épocas de aplicación.

Los nuevos retos impuestos por la globalización de la economía exigen maximizar la eficiencia de los recursos y, a la vez, permitir la sostenibilidad del sistema productivo de papa: el significado de la fertilización no se debe restringir exclusivamente a resultados agronómicos exitosos, sino que debe estar encaminada a hacer más eficaz la práctica en términos económicos y ambientales; en el caso de papa de aptitud industrial, se busca adicionalmente el mejoramiento de la calidad.

Con el objeto de ampliar el conocimiento que hasta ahora se tiene, es prioritaria la centralización de información y la socialización de resultados de investigaciones en las áreas de fisiología, ecofisiología, crecimiento, necesidades de agua y fertilización en el cultivo de papa, información que aún se encuentra dispersa o que reposa en anaqueles de bibliotecas. Para tal fin, la Cadena de la Papa tiene la posibilidad de programar eventos de divulgación, inicialmente entre profesionales del sector y eventualmente podría ampliar su radio de acción hacia agricultores, quienes serán finalmente los más beneficiados.

No se debe dejar de lado la relación existente entre una nutrición balanceada y la incidencia de problemas fitosanitarios, así como adelantar investigaciones sobre la acumulación de nitritos en tubérculo de papa producidos en zonas de páramo.

Finalmente, en el mediano plazo, la formación de nuevos profesionales, tanto a nivel de pregrado como posgrado, debe fortalecerse en los aspectos técnicos relacionados con el sistema productivo de la papa, visto como un todo, proporcionando elementos adicionales como los culturales, ambientales y económicos que contribuyan a cerrar la brecha existente entre la tecnología y la tradición.

FISIOLOGÍA

Análisis de crecimiento del cultivo de papa

Marco Cabezas Gutiérrez¹

Introducción

Si se desea medir la bioproduktividad de un ecosistema natural o un cultivo, el componente de interés inmediato es la producción primaria neta o el rendimiento total. En 1919 Blackman definió la producción biológica en términos de una ley de interés compuesto, la cual involucra la tasa de asimilación por área foliar, el tamaño del follaje y la ganancia neta de fotoasimilados. Estos componentes pueden ser medidos o estimados de forma muy acertada mediante fórmulas y ecuaciones matemáticas fundamentadas en medidas periódicas de la masa y el área foliar de un grupo de plantas. A este procedimiento se le denomina análisis de crecimiento vegetal.

Como quiera que un proceso analítico debe responder a una necesidad, la cual debe apoyarse en el seguimiento de una metodología científica para solucionarla, es preciso recordar los pasos a seguir a la hora de definir las prioridades de la investigación. En la Figura 1 se ilustra dicho proceso, el cual inicia con el planteamiento del problema, la definición de las hipótesis y continúa con la revisión del estado del arte, lo que permitirá escoger la metodología apropiada y así poder validar o reprobando las hipótesis.

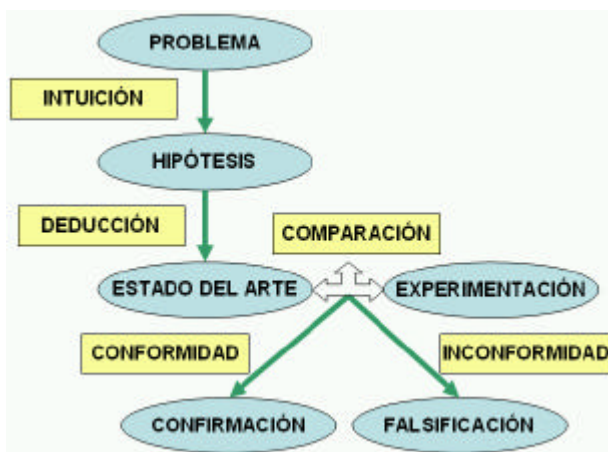


Figura 1. El método deductivo de la ciencia. Adaptado de Hunt (1990).

El crecimiento se define como el proceso de división y elongación celular que conlleva al incremento irreversible de materia seca. Esta definición incluye los eventos de diferenciación por lo que en ocasiones se puede confundir con el concepto de desarrollo. Sin embargo, para efectos de esta ponencia, se limitará el concepto de crecimiento

¹ Ing. Agr. M.Sc. Decano Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. ingagro@udca.edu.co.

vegetal a una visión eminentemente agronómica y no biológica. En síntesis, el crecimiento se considera un evento fisiológico que involucra el incremento en el tiempo de ciertos parámetros característicos como el tamaño, el peso, la altura y el área de un órgano o conjunto de órganos vegetales. Está íntimamente relacionado con algunos factores internos como fotosíntesis, respiración, transpiración, condiciones de estrés, concentración enzimática, balance hormonal y expresión genética.

Se conoce colectivamente como análisis de crecimiento las técnicas utilizadas para cuantificar los componentes de rendimiento a los cuales se refiere el análisis matemático de las variaciones del tamaño o peso del material acumulado por las plantas o sus partes y parámetros de órganos asimilatorios como el caso del área foliar. Históricamente se han tenido dos formas de aproximarse al análisis de crecimiento vegetal: clásica y funcional. Cualquiera que sea la terminología usada, lo relevante es entender la importancia del proceso como herramienta en la fisiología de cultivos y el manejo agronómico de los mismos. En el análisis clásico, el curso de los acontecimientos es monitoreado a través de series frecuentes y fijas de mediciones, ya sea destructivas o no, de los parámetros mencionados con anterioridad. Esto requiere de disciplina, suficiente cantidad de material y, sobre todo, una muestra estadísticamente representativa. En el caso del análisis funcional se necesitan muestras más pequeñas pero se deben tomar con mayor frecuencia y en él se obtienen más relaciones de variables que explicaciones fisiológicas de los cambios.

La dinámica de crecimiento se puede representar gráficamente, produciendo una curva con base en la interpolación y extrapolación de los datos medidos, analizando así la variación en tamaño, número y peso del material acumulado por las plantas y sus partes. Una forma de representación se ilustra en la Figura 2. Con los datos de crecimiento se pueden evaluar los índices de crecimiento, los cuales se han dividido en cinco categorías, a saber:

- Tasas absolutas de crecimiento
- Tasas relativas de crecimiento
- Relaciones simples
- Tasas compuestas de crecimiento
- Duraciones integradas

En la primera de estas categorías se destacan la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa de crecimiento absoluto en número, el crecimiento poblacional absoluto entre otras. Para el segundo grupo se han integrado las tasas de crecimiento relativo (ICR) y sus similares. En cuanto a relaciones simples se tienen varios de los índices más utilizados en fisiología de cultivos como la razón de peso foliar (RPF), razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), el índice de área foliar (IAF), el índice de cosecha (IC) y las distintas relaciones alométricas. El grupo de las tasas compuestas de crecimiento está conformado por la tasa de asimilación neta (TAN), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), la tasa de absorción específica (IAE) y la tasa unitaria de producción (TUP). Finalmente, las relaciones integradas involucran a la duración del área foliar (DAF) y duración de la biomasa (DB). Mayor información se encuentra en los textos de Hunt (1990) y Causton (1983).

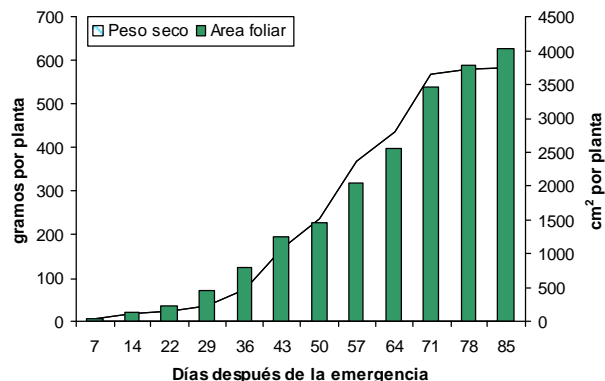


Figura 2. Representación gráfica de las variables "peso seco" y "área foliar" por planta en *Solanum phureja*. Gómez y Pintor, (2004). Datos sin publicar.

La Problemática

Para el cultivo de la papa en condiciones tropicales, pocos han sido los trabajos realizados en el tema de la dinámica del crecimiento vegetal, tal vez por la complejidad biológica de la especie al presentar desarrollo aéreo y subterráneo simultáneo, lo que dificulta de alguna manera la toma de datos y la precisión de la información. No obstante, se considera de mucha relevancia el ahondar en esta temática por cuanto al entender el cambio en el ciclo de desarrollo de la planta será mucho más eficiente el uso de los recursos, el manejo técnico del cultivo y se tendrá con mayor claridad los parámetros para establecer modelos de simulación y agricultura de precisión.

Como se anotó con anterioridad, investigaciones en análisis de crecimiento no solo deben llevar una acumulación de información matemática en la mayoría de veces inútil y de difícil interpretación sino que dicha información debe ser concisa, clara, aplicada y real para facilitar su uso, hacerla entendible al común del agricultor e integrarla al sistema productivo de la especie.

Está demostrado que el análisis clásico por periodos fijos es la mejor manera de representar los cambios anatómicos, morfológicos y fisiológicos para una especie cultivada. Por tal motivo, el uso de esta metodología, en la cual se involucran espacios de tiempo definidos acorde con el ciclo de desarrollo del cultivo (normalmente de frecuencia semanal o quincenal) permite obtener suficientes datos para analizar ágil y adecuadamente el crecimiento de la papa.

No obstante, la problemática para entender el crecimiento desde el punto de vista matemático, ha dificultado la puesta en marcha de trabajos de investigación aplicada, pues existen varias limitantes que se refieren a continuación:

Dificultad en el método

Normalmente los trabajos en análisis de crecimiento requieren de muestreo destructivo y manejo de altas cantidades de material, el cual si no es procesado por investigadores

dedicados, puede llevar a resultados equivocados. Lo ideal sería realizar las mediciones directas en campo sin alterar las poblaciones vegetales con el muestreo; sin embargo, aunque existen las técnicas, son poco difundidas y empleadas.

Falta de integración con el paquete tecnológico

El principal objetivo del análisis de crecimiento debe ser el generar indicadores aplicables a la fenología del cultivo. Estos indicadores o índices deben traducirse en valores fisiológicos más que matemáticos, de tal forma que mediante un lenguaje universal puedan ser utilizados para tomar medidas de manejo adecuado o correctivas para un óptimo desarrollo y funcionamiento de la planta. Es claro que se identifique y entienda el concepto de tasa de asimilación neta, por ejemplo, pero esta debe correlacionarse con la realidad funcional de la planta y a partir de ahí dar un manejo agronómico ideal.

Escasa disponibilidad de equipos de medición

El uso de determinadores móviles de área foliar, porómetros y otros aparatos y equipos de amplia utilización en el mundo desarrollado, está limitado a algunos centros de investigación y universidades (como apoyos docentes o demostrativos). Este instrumental es la base de las observaciones y mediciones en campo, pues permite tener acercamientos *in situ* del comportamiento vegetal en condiciones ambientales reales, disminuye o sustituye el muestreo destructivo y, sobre todo, es más económico y de rápida obtención de datos. Lo ideal sería tener dichos instrumentos al alcance del mayor número de investigadores y productores.

Ambientes cambiantes y heterogéneos

Tradicionalmente el análisis de crecimiento ha partido de ensayos en condiciones controladas, en cámaras de crecimiento y con plantas individuales. Sin embargo, si se quiere hacer de la técnica una herramienta de valor utilitario en la práctica, debe realizarse en campo. Es bien sabido que los sistemas de producción de papa en Colombia son variados pues la especie es cultivada desde los 1.800 metros de altitud hasta más allá de los 3.200; desde latitudes de 1° N, hasta 9° N; desde sitios con 600 mm de precipitación anual hasta los 2500 mm y, sobre todo, en muy diversas y extremas condiciones socioeconómicas. Estos aspectos divergen las ofertas ambientales y por tanto dificultan los postulados generalistas sobre el crecimiento. La solución es realizar muchos trabajos en fincas de agricultores de diversas clases y características para aproximar los datos a las realidades del cultivo.

La morfología de la planta

Es posible afirmar que la planta de *Solanum sp.* posee dos zonas muy diferentes en su fisiología, aunque las dos se interrelacionan ampliamente. Una parte aérea, la cual ha sido ampliamente estudiada y que tiene relativa facilidad de manejarse en términos de análisis clásico o funcional de crecimiento, y una parte subterránea que, como lo indican Waisel *et al.* (2002), es apenas una parte semioculta de la especie, sin explorar y con mucho por conocer. Por tanto, todo lo que se ha expuesto sobre índices y variables de crecimiento vegetal no es aplicable a las partes subterráneas y deben ser utilizados otros esquemas como la medición de la longitud y grosor de la raíz, la expansión del sistema radical, la profundidad, la dirección de crecimiento y la composición de la misma. Ni que decir entonces del tubérculo, el cual es un mundo distinto, que requiere mayor atención y cuidado al ser la parte aprovechable agronómicamente de la planta.

La interpretación de los datos

Después de todo análisis debe hacerse una interpretación para generar proposiciones y sugerencias respecto a los datos. Esta parte es la más difícil del análisis de crecimiento por cuanto los métodos estadísticos tradicionales como el análisis de varianza y de regresión, si bien proporcionan la información procesada suficiente para entender y aplicar los resultados, no facilitan la aplicación de los mismos. Normalmente, debe realizarse un ajuste a las metodologías empleadas, sin desconocer la ortodoxia del método estadístico, pero buscando mayor aplicabilidad y mejor presentación al común de los productores. Habrá que trabajar fuertemente en este aspecto.

Algunos resultados relevantes

En el año 2004, Congelagro y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales -UDCA- culminaron una investigación titulada "Cinética del crecimiento y desarrollo de las variedades de papa industrial Desiree (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) y Diacol Capiro (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*) en las localidades de Cogua y Sopó, Cundinamarca", trabajo que permitió obtener información básica sobre los materiales en estudio, especialmente en el comportamiento de variedades introducidas al país, su eficiencia fotosintética y desarrollo, así como la adaptación climática. Entre otros aspectos, se encontraron diferencias significativas entre variedades a favor de Diacol Capiro, pero no entre localidades ni en la interacción de las dos, lo que demuestra que los materiales de origen septentrional tienen dificultad de adaptación a las zonas paperas del país; no obstante, presentan un ciclo más corto lo que se traduce en ventaja comparativa para la producción del tubérculo.

En la Figura 3 se puede observar el comportamiento de la tasa de asimilación neta TAN en las dos variedades en estudio en la localidad de Cogua, como uno de los resultados en dicha investigación. También son importantes los diferentes trabajos realizados en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), especialmente el realizado por Cotes (1998), aquellos realizados en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Tunja y en Corpoica.

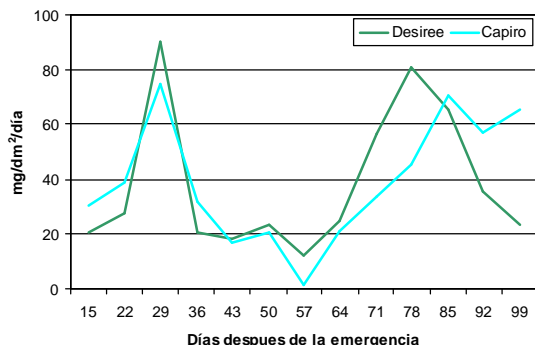


Figura 3. Tasa de asimilación neta para dos variedades de papa industrial en Cogua, Cundinamarca. García y Quinche (2003). Datos expresados en mg/dm²/día.

Actualmente se desarrolla un trabajo titulado "Dinámica del crecimiento de la papa criolla (*Solanum phureja*) bajo diferentes densidades de siembra", el cual pretende ser realizado en tres cuatrimestres distintos en la Sabana de Bogotá, auspiciado y ejecutado por la carrera de Ingeniería Agronómica de la UDCA.

Con fundamento en las estadísticas del ministerio de agricultura (2004) en los doce departamentos productores de papa en Colombia, existen muchos subsistemas de producción que varían en clima, nivel de tecnología, condiciones de suelo y material genético. Estos aspectos condicionan la investigación pero también se constituyen en un reto para desarrollar allí proyectos que permitan establecer con veracidad la dinámica de crecimiento y desarrollo del cultivo y, de esta forma, dejar la generalización en el manejo agronómico que tanto daño le ha causado a la papicultura en el país.

Por tales razones se plantean los siguientes temas estratégicos para realizar investigación aplicada en los sistemas productivos de papa en Colombia, teniendo como eje el análisis de crecimiento y desarrollo del cultivo.

1. Establecimiento de la dinámica de crecimiento del cultivo de la papa en la región sur de Colombia, en fincas de agricultores. Involucraría a los departamentos de Nariño, Cauca, Putumayo y sur del Huila, se escogerían 10 fincas en diferentes condiciones climáticas y dos variedades representativas del sector. Este trabajo debe ser ejecutado mínimo en dos semestres o dos años consecutivos.
2. Establecimiento de la dinámica de crecimiento del cultivo de la papa en la región centro occidente de Colombia, en fincas de agricultores. Bajo las mismas condiciones del caso anterior con énfasis en papa industrial, en los departamentos de Caldas y Antioquia.
3. Establecimiento de la dinámica de crecimiento del cultivo de la papa en la región centro oriente de Colombia, en fincas de agricultores. Caso similar a los dos anteriores, para cuatro variedades representativas, en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander.
4. Dinámica del crecimiento de la papa criolla en la Sabana de Bogotá. Realizar esta investigación en diferentes fincas de agricultores y con los materiales producidos recientemente por la Universidad Nacional.
5. Establecimiento de un modelo de simulación para el cultivo de papa industrial en la Sabana de Bogotá.

Bibliografía

Blackman, V.H. 1919. The compound interest law and plant growth. *Ann. Botanic*, 33(2): 353-360.

Hunt, R. 1990. Basic Growth Analysis. Plant growth analysis for beginners. London. 112 p.

Causton, D.R. 1983. A biologist's basic mathematics. London. Edward Arnold Inc. 234 p.

Cotes, J. 1998. Análisis funcional de crecimiento para cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) y establecimiento de algunas relaciones fuente-demanda. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá.

García, J.C.A.; Quinche. M.M.C. 2003. Cinética del crecimiento y desarrollo de las variedades de papa Industrial Desiree (*Solanum tuberosum ssp tuberosum*) y Diacol Capiro (*Solanum tuberosum ssp andigena*), en las localidades de Cogua y Sopó, Cundinamarca. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales -UDCA-. 134 p.

Ministerio de Agricultura. 2004. Sistema de información para el sector agropecuario. Bogotá.

Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafafi, L. 2002. Plant roots. 3ª ed. Marcel Decker Inc. New York. 1.124 p.

La ecofisiología vegetal estudia fundamentalmente las interacciones de los recursos ambientales y los procesos de las plantas. El propósito de esta conferencia es presentar las interrelaciones a darse entre la fisiología del cultivo de la papa y los principales factores determinantes del micro-ambiente como son: la irradianza, el CO₂, la temperatura y el agua, relacionando trabajos que sobre esta temática se han realizado a nivel regional.

Radiación

La radiación solar es la fuente energética de las plantas e induce diferentes respuestas biológicas por cambios en la calidad, cantidad, dirección y periodicidad. En general, las plantas presentan respuestas a la luz a través de procesos tales como fotosíntesis, fotorespiración, fotoperiodicidad, foto-morfogénesis, etc.

Radiación y fotosíntesis

Similar a otras especies de plantas de metabolismo C3, en la papa (*Solanum tuberosum* L.) la relación existente entre la tasa de asimilación de CO₂ y la irradianza (400 - 700 nm), expresada como flujo de fotones fotosintéticamente activos, se describe como una hipérbola rectangular. El punto de saturación ocurre aproximadamente a 1.200 $\mu\text{moles de fotones}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. El punto de compensación de luz para las hojas de papa está entre los 10 y 20 $\mu\text{moles de fotones}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Estos valores indican que la hoja de la planta de papa responde fotosintéticamente a condiciones de sombra pero presenta adaptabilidad a condiciones de radiación relativamente altas. En determinaciones de irradianza efectuadas en los municipios de Villa de Leyva, Tuta, Paipa, Firavitoba, Carmen de Carupa, Mosquera, Soacha y Suba se encontraron valores que oscilan entre 500 y 2.500 $\mu\text{moles de fotones}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo cual indica que la irradianza incidente en la zona es suficiente para un adecuado comportamiento fotosintético.

Intercepción de la radiación

La intercepción de la radiación solar por el dosel está determinada por la cantidad de follaje, las dimensiones y orientación del mismo, la distribución del área foliar, los ángulos foliares y la radiación total (directa + difusa) incidente. La relación entre estas variables está dada por la ecuación $I = I_0 \cdot e^{-k \cdot \text{IAF}}$. El coeficiente de extinción (k) es un índice que depende de la arquitectura de la planta (ángulo foliar, altura, densidad vertical de follaje, etc.) y de las características de absorción, transmisión y reflexión de la luz por parte de la hoja. Por tanto, la intercepción de luz por el dosel estará delimitada por la cantidad de radiación incidente en la región, el coeficiente de extinción, la orientación y distribución del follaje del cultivo de papa en el área de suelo.

Por esta razón, la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa bajo las condiciones de irradianza, en las zonas cultivadas con papa, no sería un factor limitante debido a que el flujo fotónico incidente es suficiente y que factores tales como el coeficiente de extinción e índice de área foliar (IAF) óptimo están determinados por una

¹ Ing. Agr. M.Sc. Consultor Independiente. gercorro@hotmail.com

selección de materiales adaptados al área y al conocimiento y utilización de las técnicas agronómicas apropiadas.

Economía del carbono

El crecimiento y productividad de los cultivos de papa son dependientes de la asimilación de carbono (vía fotosíntesis) y de la translocación y asignación posterior del recurso. El dióxido de carbono es un gas presente en la atmósfera a una concentración de 0,035% o 350 partes por millón (ppm). La presión parcial de CO₂ varía con la presión atmosférica y es aproximadamente de $3,5 \times 10^{-5}$ Mpa (350 Bar) a nivel del mar. Como se mencionó anteriormente, la papa es una planta de metabolismo C₃, plantas que presentan valores de concentración de compensación de CO₂ entre los 20 y 100 μ l de CO₂ por litro. El valor alto del punto de compensación de CO₂ de plantas C₃ significa que ellas mantienen tasas medias de asimilación de CO₂ a las concentraciones promedio de CO₂ en el ambiente. Las plantas de metabolismo C₃ presentan foto-respiración y el rendimiento cuántico es superior a temperaturas por debajo de los 25°C. Respecto a la respiración, es posible que los valores oscilen de un 38% a 65% de los foto-asimilados diarios, similar a las especies perennes. En las localidades de San Jorge (Soacha) y Marengo (Mosquera) se determinaron las tasas netas de asimilación de CO₂ para siete genotipos de papa y se registraron valores entre 5 y 19 μ mol m⁻² s⁻¹.

Temperatura

Los procesos vitales de las plantas están confinados a unos límites de temperatura y existe una temperatura óptima de funcionamiento de tal manera que si se modifica se alteran las tasas o velocidades de dichos procesos. Para cada especie vegetal y estado de desarrollo se dan unas zonas cardinales de temperatura características; estas zonas de temperatura no son constantes sino, por el contrario, pueden desplazarse permitiendo adaptaciones a las condiciones ambientales imperantes. En general, los aspectos del crecimiento de la planta, tales como procesos biofísicos, reacciones enzimáticas, transporte de iones, translocación, asignación y distribución del carbono y permeabilidad de membranas son regulados por la temperatura.

La temperatura foliar óptima para fotosíntesis en el cultivo de la papa es bastante amplia: oscila entre 18°C y 24°C. Existe una gran diferencia de respuesta entre las diferentes especies y cultivares de papa a las altas temperaturas y la respuesta a temperaturas de "enfriamiento" y "congelamiento" varía ampliamente entre los diferentes genotipos. Las temperaturas de enfriamiento y de congelamiento ocasionan descenso en la tasa fotosintética y tienen efectos nocivos en el crecimiento de los cultivares de papa, en las relaciones hídricas y en los procesos de translocación y asignación del carbono. La magnitud del daño varía de acuerdo a la intensidad y periodicidad de las bajas temperaturas y al estado fenológico y sensibilidad de los cultivares utilizados.

Las áreas dedicadas al cultivo de la papa en las diferentes regiones de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá se localizan en los pisos térmicos frío y muy frío con temperaturas promedio que van desde 8°C a 18°C. La incidencia de heladas y bajas temperaturas (cerca de los 0°C) implica restricciones para la expresión óptima de los diferentes procesos que regulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos de papa.

Economía hídrica

La variación anual en los rendimientos de los cultivos comerciales de papa es consecuencia de las fluctuaciones en las condiciones meteorológicas y el factor

responsable de la mayoría de estos cambios es la distribución y cantidad de lluvias. La baja disponibilidad de agua ocasiona en el cultivo una notoria disminución en su crecimiento y desarrollo. La transpiración, la captación de agua y su transporte desde las raíces a las superficies que transpiran son los procesos básicos de la economía hídrica

La exposición del cultivo de papa a estrés de agua causa la reducción del potencial de rendimiento, reduciendo tanto la interceptación de la radiación solar como la eficiencia fotosintética del dosel. Como resultado del agobio de agua durante el desarrollo vegetativo, el área de las hojas de la planta se reduce, como también el número de hojas por planta debido a restricciones en las tasas de exposición foliar. Aun más, la sequía induce la prematura senescencia foliar. Dependiendo de la severidad y de la duración del estrés de agua, los cultivos pueden sufrir una disminución del índice denominado "duración del área foliar"; además de su influencia sobre el tamaño del follaje, el estrés de agua tiene una marcada influencia sobre la fisiología de las hojas de papa totalmente expandidas. Bajos potenciales de agua en el suelo son suficientes para causar tasas bajas de intercambio de CO₂, debido al cierre parcial de estomas. Esto indica que la papa es una de las especies de plantas mesofíticas, muy sensibles al estrés hídrico.

En el Departamento de Cundinamarca, el cultivo de la papa se maneja como un cultivo de temporal y pluviométricamente se encuentran zonas secas con precipitaciones promedio anual entre 500 y 1.000 mm (Sabana de Bogotá), zonas húmedas con precipitaciones promedio entre 1.000 y 2.000 mm al año (sectores de los municipios de Chipaque, Uñe, Gutiérrez, Fomeque, Guasca, Guatavita y el noroccidente de Carmen de Carupa, Gacheta, y Simijaca) y zonas muy húmedas con precipitaciones que van desde los 2.000 mm a los 4.000 mm anuales, desde el municipio de Cabrera hasta San Cayetano y un pequeño corredor en los municipios de Bojacá, Caparrapi y Alban (IGAG, 2000).

Identificación del problema

En general, la investigación en ecofisiología vegetal ha sido pobremente desarrollada a nivel nacional. Específicamente los pocos y esporádicos estudios en la ecofisiología del cultivo de papa han contribuido a la comprensión de la respuesta de la planta al ambiente y han servido para demostrar la importancia que tiene esta disciplina para el desarrollo y la sostenibilidad del cultivo.

Necesidades de investigación

- Efecto de los factores ambientales sobre la asignación y distribución de carbono.
- Relaciones hídricas y tolerancia a la sequía.
- Temperaturas óptimas. Mecanismos de respuesta a las bajas y altas temperaturas.
- Caracterización ecofisiológica de las zonas dedicadas al cultivo.
- Radiación y economía del carbono.

Bibliografía

Buitrago, C. 1999. Evaluación fotosintética de genotipos de papa (*Solanum spp.*) tolerantes y no tolerantes a las bajas temperaturas. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá. 88 p.

Cabezas, M. 2003. Estimación de la interceptación de la radiación solar en papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) en tres localidades colombianas. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá. 95 p.

Hay, R.K.M.; Walker, A.J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific & Technical Ed. New York. 292 p.

IGAC. 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Bogotá. 615 p.

Khurana, S.C.; McLaren, J.S. 1982. The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. *Potato Research* 25: 329-322.

Rodríguez, I. 2001. Evaluación del efecto de la densidad de población sobre variables fisiológicas y componentes de rendimiento en *Solanum tuberosum* L. variedad parda pastusa en dos localidades. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá. 134 p.

Villamil, H. 2000. Características de la anatomía de la hoja de genotipos de especies diferentes de *Solanum* resistentes a bajas temperaturas. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 100 p.

Introducción

Hoy día se está exigiendo una agricultura de precisión que permita ser más eficientes en la producción de papa; esta agricultura se puede enmarcar en 5 factores que determinan el éxito:

1. Semilla Certificada
2. Manejo nutricional de acuerdo a las exigencias de la variedad y la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo.
3. Manejo hídrico
4. Manejo y control sanitario
5. Administración

Estos factores están determinados por el propósito de producción que pretende el agricultor y por lo tanto deben ser encaminados a explotar mejor la variedad y el mercado al cual quiere entrar.

La fertilización en el cultivo de papa se ha limitado al criterio de alta exigencia, encaminada únicamente a la disponibilidad de nutrientes que están en el suelo (cuando se hace análisis de suelo). La nutrición de la planta de papa ha pasado a un segundo plano y se ha olvidado completamente el propósito de producción y la variedad que se va a sembrar, así como el mantener un balance nutricional que disminuya la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades.

La información disponible de fertilización está encaminada al manejo de nitrógeno, fósforo y potasio, pero no hay una correlación con las demandas nutricionales de cada variedad, el ciclo de desarrollo, el potencial de rendimiento ni el destino de la producción.

Los costos de producción de la papa están alrededor de los 12 millones de pesos por hectárea de los cuales un 24% corresponde a fertilización. Estos costos cada día son mayores por el incremento en el precio de los fertilizantes y las nuevas tendencias en la utilización de fertilizantes foliares sin analizar la relación costo-beneficio.

El cultivo de papa presenta altos potenciales de rendimiento, pero con una gran variabilidad de respuesta en rendimiento y calidad en las diferentes zonas productivas. Factores como clima, suelo, variedad y manejo indican la necesidad de una permanente actualización de los requerimientos de fertilización para las necesidades de cada variedad. Es importante determinar los requerimientos totales y la dinámica de los nutrientes para diseñar planes acertados de fertilización que permitan mostrar la capacidad productiva de las variedades.

El manejo eficiente de cualquier cultivo se basa en el conocimiento de las diferentes etapas fenológicas durante el ciclo de vida de la planta. Estas etapas están definidas por la constitución genética, por las condiciones climáticas y edáficas predominantes, la acumulación de la materia seca y los nutrientes esenciales durante cada una de ellas.

¹ Ing. Agr. M. Sc. Supervisor de Investigación y Desarrollo. Congelagro S.A. hectorvillamil@yahoo.com

La fisiología de la nutrición ayuda a entender el funcionamiento de la planta, por lo cual es importante conocer las áreas que comprende para poder diferenciarlas y correlacionarlas con un sistema productivo. La fisiología de la nutrición comprende:

- Clasificación de los nutrientes minerales
- Mecanismos de toma de iones de las células y raíces
 - Transporte a corta distancia
 - Transporte a larga distancia en el xilema y floema y sus regulaciones
 - Toma de elementos minerales por las hojas
- Crecimiento y relación con la nutrición
- Rendimiento y relación fuente demanda
- Rendimiento y nutrición mineral
- Funciones de macronutrientes y micronutrientes
- Deficiencias y toxicidad de macronutrientes y micronutrientes.
- Relación entre nutrición mineral y enfermedades
- Clasificación de los nutrientes minerales

El efecto benéfico de adicionar elementos minerales a los suelos para el aprovechamiento de las plantas ha sido conocido en la agricultura por más de 2.000 años. Sin embargo, la controversia de la nutrición en las plantas por más de 170 años la resume Liebig sobre el carácter esencial de los elementos (N, S, P, K, Ca, Mg, Si, Na, Fe) en el crecimiento de las plantas.

Tabla 1. Descubrimiento del carácter esencial de los micronutrientes.

Elemento	Año	Autor
Hierro	1860	J. Sach
Manganeso	1922	J. S. Mcitague
Boro	1923	K. Warington
Zinc	1926	A.L. Sommersy, C.B. Lipman
Cobre	1931	C.B. Lipman y G. Mackinney
Molibdeno	1938	D.I. Arnon y P. R. Scout
Cloro	1954	T. C. Broyer.

Las plantas tienen una capacidad limitada para la absorción selectiva de elementos para el crecimiento; al mismo tiempo, pueden tomar elementos no necesarios para este proceso, algunos de los cuales pueden ser tóxicos.

La composición mineral de las plantas que crecen en diferentes suelos no puede ser utilizada para establecer si un elemento mineral es esencial.

El término elemento mineral esencial (Arnon & Stout, 1939) se resume en las siguientes deducciones:

- 1) Una planta es incapaz de completar su ciclo de vida en ausencia de un elemento mineral.
- 2) La función de un elemento no puede ser reemplazado por otro elemento mineral.

- a) El elemento puede estar directamente involucrado en el metabolismo de la planta: como un componente de un constituyente esencial de la planta –enzima–
- b) Puede ser requerido para un paso metabólico distinto -reacciones enzimáticas-.

Los elementos benéficos pueden compensar el efecto tóxico de otros elementos o simplemente reemplazan los nutrientes minerales en algunas de las funciones menos específicas (como mantenimiento de la presión osmótica).

Tabla 2. Elementos esenciales y beneficiosos para las plantas.

Clasificación	Elementos
Macroelementos esenciales	C, O, H, N, P, S, K, Mg, Ca
Microelementos esenciales	Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni
Elementos benéficos	Na, Si, Co, I, V

La mayoría de los micronutrientes son constituyentes de enzimas y son esenciales en pequeñas cantidades. Los macronutrientes son constituyentes de compuestos orgánicos (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos) o actúan como reguladores de la presión osmótica.

Las diferencias en función son reflejadas en la concentración promedio de nutrientes minerales en el brote de la planta, los cuales son suficientes para un adecuado crecimiento.

La concentración de nutrientes en la planta depende de: (i) la especie (más aún entre variedades), (ii) la edad de la planta y (iii) la concentración de otros elementos minerales.

Tabla 3. La concentración promedio de nutrientes minerales suficientes en el brote una planta para un adecuado crecimiento. Epstein (1965), Salisbury y Ross (1994) y algunos datos encontrados en papa.

Elemento	Formas disponibles para la planta	Concentración de elementos en las plantas			Concentración en D. Capiro*		Parámetros teóricos en papa Ø ptimo
		µmol/g [†]	mg/Kg [†]	%	Promedio	Máximo	
Níquel	Ni Ni ²⁺						
Molibdeno	Mo MoO ₄ ²⁻	0,001	0,1				
Cobre	Cu Cu ⁺ , Cu ²⁺	0,10	6		14,46 ppm	16,2 ppm	7 ppm
Zinc	Zn Zn ²⁺	0,30	20		69,58 ppm	82,0 ppm	45 ppm
Manganeso	Mn Mn ²⁺	1,0	50		543,7 ppm	669 ppm	30 ppm
Hierro	Fe Fe ³⁺ , Fe ²⁺	2,0	100		217,3 ppm	327 ppm	50 ppm
Boro	B H ₃ BO ₃	2,0	20		24,08 ppm	41,2 ppm	25 ppm
Cloro	Cl Cl ⁻	3,0	100				
Azufre	S SO ₄ ²⁻	30		0,1	0,57%	0,65%	0,20%
Fósforo	P H ₂ PO ₄ , HPO ₄ ²⁻	60		0,2	0,5%	0,52%	0,29%
Magnesio	Mg Mg ²⁺	80		0,2	0,8%	0,91%	1,0%
Calcio	Ca Ca ²⁺	125		0,5	1,75%	2,10%	0,76%
Potasio	K K ⁺	250		1,0	5,56%	6,30%	9,3%
Nitrógeno	N NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1000		1,5	5,28%	6,00%	4,5%

* Concentración de elementos a los 100 días después de siembra para un rendimiento de 57,3 ton ha⁻¹.

[†] En peso seco

[‡] Equivale a ppm

Mecanismo de la absorción de iones por las células y las raíces - transporte a corta distancia

Existe una gran discrepancia entre la concentración de nutrientes minerales en el suelo o soluciones nutritivas y los requerimientos de nutrientes minerales por las plantas. Los substratos pueden contener altas concentraciones de elementos no necesarios para el crecimiento. Los mecanismos de absorción de las plantas pueden, sin embargo, ser selectivos.

La absorción de nutrientes es caracterizada por:

1. Selectividad: preferenciabilidad
2. Acumulación: en relación a la concentración en la solución externa, se encuentran altas concentraciones del nutriente en la savia.
3. Genotipo

Transporte a larga distancia –xilema y floema– y su regulación

El transporte a larga distancia de solutos –elementos minerales y compuestos orgánicos de bajo peso molecular– tiene lugar a través del sistema vascular, siendo el agua el agente de movilización. El transporte a larga distancia desde las raíces a los brotes ocurre predominantemente a través de los vasos del xilema, proceso manejado por un gradiente de presión hidrostática (presión radical) y por un gradiente en el potencial del agua.

El gradiente en el potencial de agua entre las raíces y el brote es usualmente un paso rápido durante el día, cuando el estoma está abierto. El flujo de solutos en el xilema es unidireccional en contraste con el transporte en el floema, el cual es bidireccional.

La dirección del transporte está determinada por los requerimientos nutricionales de varios órganos de la planta o tejidos y ocurre siempre de las fuentes a las demandas. Así, en las raíces los elementos minerales pueden estar en el floema y entonces translocarse bidireccionalmente (P.D. Potasio).

Requerimientos de nutrición en papa

La papa extrae altas cantidades de nutrientes del suelo, lo cual es función de la variedad y del rendimiento esperado. La papa responde a la fertilización: a mayor rendimiento mayor requerimiento nutricional.

Los elementos nutritivos más importantes en el cultivo de la papa son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Un 50% del total de la absorción de estos elementos por la planta ocurre durante el período comprendido entre la emergencia y el inicio de la floración. La oferta de nutrientes en forma oportuna tiene una marcada influencia en el índice de área foliar y en el número de tubérculos.

Bajo las condiciones de la Sabana de Bogotá, la variedad ICA Puracé exige altas demandas de K, seguida de N, extracciones de Ca y Mg apreciables en el tiempo y bajos requerimientos de P, comportamiento que contrasta con las altas aplicaciones de este nutriente. Para esta variedad se encontró que los mayores requerimientos se encuentran alrededor de los 50 días después de siembra (dds), coincidiendo con la fase de mayor crecimiento vegetativo e inicio de la tuberización. El Zn presenta este mismo comportamiento.

La papa asimila N durante todo su ciclo vegetativo; sin embargo, tanto en D. Capiro como en I. Puracé ha mostrado mayor asimilación en las primeras etapas de crecimiento,

cuando las plantas alcanzan alrededor de 20 cm de altura hacia los 35 dds; posteriormente tiende a disminuir: puede pasar de 6,6% alrededor de los 40 dds a 3,3% hacia los 120 dds. La disminución se acentúa principalmente al iniciarse la tuberización.

El fósforo presenta la máxima asimilación en el estado de máximo crecimiento, alcanza concentraciones de 0,8% alrededor de los 40 dds y posteriormente se estabiliza en 0,5%.

Dependiendo del rendimiento, un cultivo puede extraer alrededor de 60 Kg de P_2O_5 /ha. El potasio es el elemento que más extrae la papa: dependiendo las condiciones, la papa puede asimilar más de 9% de potasio cuando la planta inicia floración o cuando ha alcanzado el máximo índice de área foliar. Durante los primeros estadios de crecimiento y durante el llenado la planta extrae en promedio 5,5% de K.

El calcio tiende a incrementar durante el desarrollo del cultivo, especialmente en la etapa de llenado de los tubérculos, alcanzando 2,28% hacia los 120 dds. Este comportamiento igualmente lo presenta el magnesio, alcanzando 0,8% hacia los 120 dds.

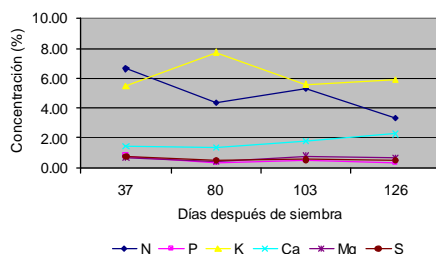


Figura 1. Comportamiento de macronutrientes en el follaje de la papa, cv D.Capiro. Congelagro S.A. 7

El azufre presenta un comportamiento similar al encontrado en el nitrógeno; este elemento alcanza concentraciones de 0,73%.

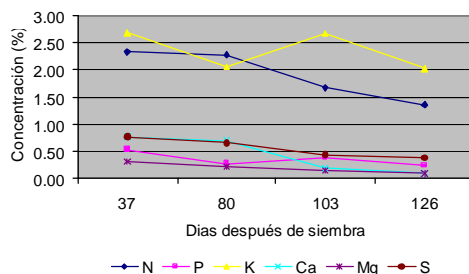


Figura 2. Comportamiento de macro nutrientes en el sistema radical de la papa, cv D. Capiro. Congelagro S.A.

Los elementos menores, de acuerdo con la interacción que guardan con los macronutrientes, presentan tendencias similares al sinergismo que guardan con estos. El

hierro y el zinc tienden a disminuir en la medida que avanza el ciclo del cultivo; el manganeso, cobre y boro tienden a subir en las últimas etapas de desarrollo.

La papa extrae del suelo los nutrientes necesarios para su desarrollo, por lo cual estos elementos deben estar disponibles en las cantidades requeridas. En la literatura se reporta que, para un rendimiento de 40 ton·ha⁻¹ de papa, se pueden extraer del suelo 150 Kg de N, 60 Kg de P₂O₅, 350 Kg de K₂O, 90 Kg de CaO y 30 Kg de MgO por hectárea. Los tubérculos extraen una buena cantidad de estos nutrientes, mientras que la biomasa área devuelve una cantidad importante al suelo.

Tabla 4. Absorción de nutrientes por tonelada producida (Kg de nutrientes por tonelada).

Elementos	Extracción por los tubérculos	Extracción por biomasa producida
	Kg·ton ⁻¹	Kg·ton ⁻¹
N	3,2	4,5 a 5,9
P ₂ O ₅	1,6	1,5 a 2,0
K ₂ O	6,0	8,3 a 10
CaO	0,2	2,7 a 4,7

Importancia fisiológica de los nutrientes sobre el desarrollo de la planta con énfasis en papa.

Tabla 5. Efectos metabólicos e influencia de los macronutrientes en el desarrollo de las plantas. El número de asteriscos indica el nivel de influencia: a mayor número de estos, mayor influencia. El cero indica influencia nula. El símbolo de sustracción (-) indica influencia negativa.

Características	N	P	K	Ca	Mg	S
Desarrollo de la planta	***	***		**	**	
Índice de área foliar	**	*	*			
Duración del área foliar	***	*	**		*	
Periodo vegetativo	***	-	0		*	
Proteínas	***	**	0*	0	**	
Ácidos nucleicos	***	**			*	**
Aminoácidos	***					**
Amidas	***					
Aminas	***					
Movilización por el xilema	NO ₃ ⁻	***	***	***		
Movilización por el floema		***	***			
Regulador osmótico	* (NO ₃)		***			
Metabolismo	NH ₄ ⁺	***	***		**	
Fotosíntesis	**	***			**	
Respiración	**	***				***
Metabolismo energético	*	***			***	
Estructura de las membranas, integridad y funcionalidad		***		***		
Apertura y cierre estomático			***			
Activador enzimático			***		***	*
Pared celular				***		
Mensajero, hormonas, respuestas medio ambientales				**		*
Rendimiento	***	**	**	0*	**	
Inicio de tuberización	-	**	0			
Almidón	-	**	*	*	*	
Ácido Ascórbico	--	*	-	0	0	
Materia seca	--	0	-			
Azúcares reductores	**	*	-			
Madurez	---	*	0	0	0	
Firmeza de la piel	--	*	0	0	0	
Resistencia a golpes	--	*	*	0	0	
Resistencia a ennegrecimiento	0*	0	**	0	*	
Duración en almacenamiento	--	0	*	0	*	
Sabor	-	0	0*	0	0	

Tabla 6. Efectos fisiológicos e influencia de los micronutrientes en el desarrollo de las plantas. El número de asteriscos indica el nivel de influencia: a mayor número de estos, mayor influencia. El cero indica influencia nula. El símbolo de sustracción (-) indica influencia negativa.

Características.	Fe	Mn	Cu	Zn	Mo	Cl	B
Desarrollo de la planta		*					*
Proteínas	**	*	**				
Ácidos nucleicos				**			*
Aminoácidos				*			
Amidas							
Aminas							
Movilización por el xilema	***						
Movilización por el floema							
Regulador osmótico							
Metabolismo	**						
Fotosíntesis	***	**					
Respiración							
Metabolismo energético							
Estructura de las membranas, integridad y funcionalidad							
Apertura y cierre estomático						**	
Activador enzimático	***	***	***		**		
Pared celular							
Mensajero, hormonas, respuestas medio ambientales				*	*		*
Transporte de electrones	***		***				
Rendimiento		*					*
Almidón		0					0
Ácido ascórbico		0					0
Madurez		0					*
Resistencia a golpes		0					*
Duración en almacenamiento		0*					0*

Necesidades de Investigación

- Correlacionar la distribución del carbono en la planta con relación a la nutrición y el crecimiento.
- Determinar los niveles de extracción de nutrientes en las variedades comerciales.
- Profundizar en la nutrición de elementos secundarios y menores.
- Evaluar la eficiencia en la toma de nutrientes del sistema radical de las variedades andígenas.
- Evaluar la dinámica de la nutrición con relación a la zona de producción y el impacto en la calidad de la cosecha.
- Evaluar el estado nutricional de la planta con relación a la susceptibilidad a plagas y enfermedades

Bibliografía

- Araque, E. C.; Vélez, M. E. 1996. Efecto de la fertilización con N, P, K en el rendimiento y la calidad industrial de la papa en un Dystropept del Norte de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín. 77 p.
- Barrera, L. L. 1993. Un micro nutriente importante en el cultivo de la papa en suelos de Cundinamarca y Boyacá. Papas Colombianas. Comunicaciones y Asociados. Bogotá.
- Dueñas, J. O. 2003. Efecto de la dosis y fuente de potasio en la calidad y rendimiento de la variedad Diacol Capiro con fines industriales. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Tesis. Bogotá. 76 p.
- Grandett, J. G.; Lora S. R. 1979. Acumulación de materia seca y de varios nutrimentos en tres variedades de papa cultivadas en la serie Mosquera, Centro experimental Tibaitatá. ICA. Programa Nacional de Suelos. Bogotá.
- Lago, L.; Villamil H. 2003. Agronomic Report 2001/2002. Resultados experimentales. Publicación interna Congelagro S.A. Bogotá.
- Lago L.; Villamil H. 2004. Agronomic Report 2002/2003. Resultados experimentales. Publicación interna Congelagro S.A. Bogotá.
- Lago L.; Villamil H. 2005. Agronomic Report 2003/2004. Resultados experimentales. Publicación interna Congelagro S.A. Bogotá.
- Guerrero, R. R. 1988. La fertilización de la papa en Colombia. Monómeros Colombo Venezolanos.
- Guerrero, R. R. 1998. Fertilización de cultivos de clima frío. Monómeros Colombo Venezolanos.
- Mojica, F. 1994. Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia y el Suelo. Bogotá. 524 p.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in plants. Institute of Plant Nutrition. Academic Press. London.

Estado del Arte

En los últimos 15 años se registran, a nivel nacional, cinco trabajos sobre análisis de crecimiento y etapas fenológicas del cultivo, con variedades de la subespecie *S. tuberosum ssp. andigena*. Se han realizado algunas tesis de grado para estudiar el efecto de aplicaciones foliares de nutrientes y estimulantes del crecimiento, pero es necesario elaborar una agenda nacional de investigación sobre problemas que respondan a necesidades de la modernización de la agricultura.

Tomando el parámetro de Intensidad de Asimilación Neta (IAN) o Tasa de Asimilación Neta (TAN), intensidad de Crecimiento Relativo ICR (ICR) e Índice de Área Foliar (IAF), en todos los trabajos se ha encontrado la misma tendencia de un desarrollo acelerado de la planta y sus diferentes órganos durante los primeros 90 días y una alta eficiencia fotosintética después de la tuberización.

Identificación del problema

Con el avance de la ciencia en el conocimiento de la bioquímica y la biología molecular, la industria de agroquímicos ha desarrollado en los últimos años numerosos productos de acción muy específica sobre pasos de procesos fisiológicos de la planta.

Para lograr maximizar los rendimientos en cualquier cultivo usando las herramientas disponibles es necesario contar con el conocimiento de la fisiología de la planta. En el caso del cultivo de la papa en Colombia, se han realizado muy pocos trabajos sobre la fisiología de producción.

Las recomendaciones para la aplicación de productos de acción específica se hacen, generalmente, sin que el agricultor reciba una explicación clara de las condiciones óptimas de la planta y del medio ambiente para conseguir un resultado eficaz.

Con alta frecuencia los asistentes desconocen los procesos fisiológicos de la planta y se limitan a recomendar productos que, al final, conducen a generar efectos dañinos o contrarios a los recomendados, con el consecuente aumento de los costos de producción.

Necesidades de investigación

Se deben estimular trabajos, entre otros, sobre los siguientes aspectos:

- Efectividad de aplicaciones de aminoácidos, elementos menores y pesticidas sistémicas al follaje.

Justificación: Probablemente este tipo de productos ocupan un porcentaje económicamente significativo en los costos de producción y aportan una importante cuota en la contaminación del cultivo y el ambiente. Es necesario cuantificar el aumento de la productividad, su efecto en el estrés del cultivo y contaminación del ambiente.

¹ Ing. Agr. M. Sc. en Fisiología Vegetal. CORPANAR. pasto52@col2.telecom.com.co

- Efecto del herbicida glifosato en el suelo y en la planta.
- Justificación: El glifosato se convirtió en un insumo indispensable en todos los cultivos. Aunque las entidades que utilizan el producto en el control de cultivos ilícitos afirman su inocuidad, desde el punto de vista fisiológico, no es cierto. Se conoce que el producto ataca a todas las especies vegetales que generan clorofila, por lo que es una gran amenaza para romper las cadenas alimenticias naturales.
- Efecto de los elementos menores en el rendimiento y calidad de la papa en diferentes tipos de suelo.
- Justificación: La fórmula más usada para fertilización en papa desde la década del 60 es NPK. Esta fórmula debe haber generado un gran desequilibrio nutricional del suelo. El porcentaje de agricultores que utilizan elementos menores basados en análisis de suelo son muy pocos. Por otra parte se conoce el efecto beneficioso de los elementos menores en el rendimiento y la calidad de la papa y otros cultivos hortícolas.
- Efecto de las condiciones ambientales en el manejo poscosecha de la papa.
- Justificación: Es muy poco lo que se ha investigado en poscosecha de la papa. La papa de Nariño, que se comercializa en el suroccidente colombiano, especialmente la papa lavada, presenta una alta perescibilidad y, en consecuencia, un alto costo. Se está observando una disminución del consumo entre los estratos socioeconómicos de mayor capacidad de compra. Es necesario, entonces, estudiar los efectos de los factores de manejo que afectan el tiempo útil del producto, como los tipos de empaque, las temperaturas de almacenamiento y transporte, la exposición de la papa a la luz desde el momento de la cosecha hasta el momento de compra, etc.

Recomendaciones generales

La anterior situación sugiere la necesidad de realizar más trabajos de investigación para lograr aplicar en nuestro medio los avances logrados en bioquímica, biología molecular, ingeniería genética y en todas las ramas de la ciencia, avances que tienen el potencial de mejorar los resultados en la producción de cultivos.

Las universidades son los entes llamados a emprender este tipo de trabajos, con el apoyo del sector privado y demás eslabones que conforman la Cadena Agroalimentaria de la Papa.

De otra parte, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR– y las entidades que planifican asistencia técnica agropecuaria están en mora de ofrecer mejores oportunidades de capacitación a los profesionales que prestan éste servicio.

Fisiología de la semilla

Todas las prácticas de propagación, producción y conservación de semillas están relacionadas con el conocimiento de la fisiología de la semilla. Si partimos de la definición de que el tubérculo es un tallo modificado, entonces cualquier estímulo ambiental que reciba el tubérculo-semilla va a afectar su comportamiento y su producción en el proceso de propagación de semilla.

Tabla 1. Composición química de un tubérculo de papa *Solanum tuberosum* según Schwimmer y Burr, 1959.

Sustancia	Porcentaje Variación (Aproximada)	Valor Normal (Aproximado)
Agua	63,2 - 86,9	77,5
Sólidos totales	131,1 - 36,8	22,5
Proteínas	0,7 - 4,6	2,0
Grasas	0,02 - 0,96	0,1
Carbohidratos	13,3 - 30,53	19,4
Fibra Cruda	0,44 - 1,9	0,6

Dado su contenido de agua, de componentes energéticos, de carbohidratos y proteínas, el tubérculo de papa es un alimento ideal de subsistencia para muchos seres vivos que se alimentan de ella. También es muy apropiado para la propagación de enfermedades y plagas y, por lo tanto, requiere de condiciones especiales de humedad, temperatura y luz para su conservación.

Tuberización

La tuberización de la papa es un proceso complejo de desarrollo que involucra varios procesos. En el proceso de tuberización intervienen estímulos externos como el fotoperíodo, la temperatura, el agua y los nutrientes y factores internos como fitohormonas.

Martínez-García *et al.* (2001), trabajando con *S. tuberosum ssp. andigena*, establecieron las siguientes condiciones para que haya tuberización.

- Percepción de Fotoperíodo
- Respuesta adaptativa a condiciones
- Generación y transporte de señales inductivas
- Formación de tubérculos
- Respuestas del desarrollo del tubérculo

Los niveles altos de giberelinas en los puntos de crecimiento de los estolones favorecen la elongación de los estolones, mientras la condición contraria, es decir bajos niveles de giberelinas, se requieren para la iniciación de la tuberización. Por otra parte, se conoce que el fitocromo B es regulador de un inhibidor de la tuberización.

Inicio de la tuberización

Según lo describen Hanapel *et al.* (2004), el sitio de mayor percepción de señales del fotoperíodo está en las hojas. Bajo condiciones inductivas de día corto y temperaturas bajas, las hojas perciben la señal del ambiente y activan la señal de inducción. Esta señal es transmitida vía floema al estolón ya formado y al punto de crecimiento del tubérculo. La señal genera cambios en la actividad de las células en la región subapical del ápice del estolón, cambios que incluyen una reorientación de crecimiento: de división transversal a división longitudinal de las células. Las células en la médula y la corteza del estolón se agrandan y dividen longitudinalmente. En resumen estos cambios resultan en la retardación de la elongación del estolón y un incremento en la expansión radial del extremo del estolón llevando a la formación del tubérculo (Fernie y Witmiltzer, 2001)

Brotación

Dentro del estado de brotación ocurren varios eventos, antes de que el tubérculo esté en condiciones ideales para dar origen a una nueva planta.

- Estado de reposo o dormancia
- Dominancia apical
- Brotación

Edad fisiológica de la semilla

En términos generales, todas las variedades de las especies cultivadas (*S. tuberosum* ssp. *andigena* y *S. tuberosum* ssp. *tuberosum*) pasan por un periodo de relativa inactividad antes de emitir brotes. Este estado se denomina *periodo de reposo* o *estado de latencia*. La duración del periodo de reposo es una característica hereditaria, pero puede ser afectada por factores ambientales durante el almacenamiento como temperatura, humedad relativa, luz y madurez fisiológica al momento de la cosecha.

Hay variedades de papa que no pasan por un periodo de reposo como la papa criolla (*Solanum phureja*) y variedades que presentan un periodo de reposo muy largo como es el caso de la variedad Diacol Capiro que tarda aproximadamente 3,5 a 4,0 meses para iniciar la brotación.

SUELOS Y FERTILIZACIÓN

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.

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.

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

1. Desconocimiento de la génesis del suelo

Las regiones paperas de Colombia (Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Cauca y Santanderes), ubicadas en climas frío, muy 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 deposición o porque se perdió por procesos de erosión (Castro, 2003).

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 humus-aluminio, 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 Kg ha⁻¹ de P₂O₅), aunque su requerimiento esté en el orden de 1,8 Kg P₂O₅ 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 ninguna validación de campo, son introducidos como sustitutos de la fertilización mineral de fondo, aduciendo la necesidad de producir con tecnología limpia. La construcción de mapas de fertilidad a nivel de los municipios paperos del país, a partir de la cartografía de catastro y con el empleo de las bases de datos analíticas existentes en los laboratorios de suelos reconocidos del país, ayudaría a la elaboración de mapas zonificados con recomendaciones de dominio que respondan a las verdaderas necesidades de fertilización para el cultivo, de acuerdo con la propia potencialidad de las tierras en uso.

4. El significado económico de la fertilización en los costos de producción

El desconocimiento parcial o total del productor sobre la importancia del análisis de suelos, como herramienta tecnológica para disminuir costos de fertilización, es un argumento válido para entender el porqué de la sub y sobredosis de fertilizantes (minerales, orgánicos y foliares). Se considera que los productores aplican sobredosis de fertilizantes de diferente origen y eficiencia, sin tener en cuenta los resultados del análisis de suelos, desconociendo el efecto real de su aplicación y sin estudios agroeconómicos de respuesta que sustenten esta modalidad. La fertilización en estas condiciones representa, en lotes comerciales, entre el 18 y el 24% de los costos totales de producción (CORPOICA, 1999).

5. Falta de asistencia técnica integral al cultivo

El 97% de los productores paperos no disponen de asistencia técnica, sus condiciones de explotación van desde microfundio a minifundio y el 81% no dispone del recursos hídricos para disminuir riesgos de producción (Fedepapa, 2003).

Estado de arte de la investigación

1. Tendencia de la fertilidad de los suelos paperos en Colombia

Los suelos donde se cultiva papa en Colombia presentan diversas características fisicoquímicas, destacándose aquellos con medianos a altos contenidos de materia orgánica, valores de pH menores de 5,5, con bajo contenido de fósforo disponible y alta capacidad de fijación de fosfatos.

Con base en los análisis químicos de muestras de suelos provenientes de las diferentes zonas de cultivo, el ICA (1980) determinó las características generales de fertilidad de los suelos paperos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Caldas, Santanderes y Cauca. Aunque esta información sigue manteniendo en algún grado su tendencia, su actualización es muy precaria. Los últimos estudios sobre el diagnóstico de la fertilidad de suelos paperos a partir de la información analítica son los reportados por García (1998) para Nariño, Barrera (1998), Castro (1999) y Niño (2001) para Boyacá y Muñoz (1998) para Antioquia.

Tabla 1. Distribución porcentual de parámetros químicos en suelos paperos de las principales zonas productoras en Colombia.

Departamento	pH			M.O.			P			K		
	< 5,5	5,6-6,5	>6,5	< 5	5-10	> 10	<40	40-60	>60	<0,3	0,3-0,6	>0,6
Cundinamarca	77	23	-	42	38	20	66	10	24	38	31	31
Boyacá	76	24	-	64	22	14	49	16	35	82	11	7
Nariño	54	46	-	68	32	-	75	17	8	20	37	43
Antioquia	68	30	2	2	46	52	87	10	3	68	25	7
Calificación Ponderada	6			5			6			5		

FUENTE: ICA, 1980; García, 1998; Muñoz, 1998; Muñoz, 1998; Castro, 1999; Niño *et al.*, 2003.

Esta valoración de carácter general nos aproxima a deducir que el 69% de los suelos paperos del país presentan pH \geq 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 x 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 promedio 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-frijol 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 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 ton/ha⁻¹ respectivamente. El testigo sin fertilización presentó un rendimiento de 14,71 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 (*Spongopora 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 (Brayll), entre 300 y 450 Kg P₂O₅ por hectárea.
- El abonamiento orgánico aumenta la eficiencia del fósforo y su efecto residual.

- En andisoles con < 10 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 $pH > 5$ 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 (c omplejos 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 $Kx100g$, 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 $0,3 \text{ meq x } 100g$. 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 $Kx100g$, 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 ha^{-1} respectivamente. Los rendimientos experimentales en Toca sobre inceptisoles óxicos fueron superiores a 40 ton ha^{-1} y en Ventaquemada sobre andisoles no superaron 27 ton ha^{-1} , en el mismo semestre agrícola. Todos los tratamientos explorados con potasio (0, 60, 120 y 180 Kg ha^{-1} 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 ha^{-1} , empleando sulfato de amonio o sulfato de calcio en suelos con contenidos inferiores a 5 ppm de S disponible.

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 ha^{-1} 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 ha^{-1}) 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 semiporque).
- 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 encalantes en presembrado 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 enfrenen 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 rotovator.
- 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. 113-131.
- 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. 184-223.
- 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 hortalizas 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. 103-111.
- 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. 6–12.
- 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. 23–42.
- 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: 13–16.
- 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.
- Ñustez, 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. 41–45.
- Lora, R. 1980. Fertilización de la papa en Colombia. *En: Federación Colombiana de productores de papa*, FEDEPAPA. Bogotá: p. 28-38.

Introducción

Actualmente, la agricultura tiene ciertas exigencias que debe cumplir para ser competitiva; para ser económica, social y ambientalmente sostenible (Amézquita, 2002). Esta agricultura, desde el punto de vista edafológico, debe tener suelos que sean de buenas calidades productivas, calidades que deben mantenerse espacial y temporalmente.

En Colombia, el sistema de explotación del cultivo de papa en forma intensiva e indiscriminado uso de sistemas de preparación de suelos que, en general son de volteo (discos, vertedera), donde el uso de estos implementos vencen la capacidad frágil del suelo para soportarlos, ha derivado en extensas zonas físico-químicamente degradadas y, en consecuencia, a la degradación biológica de sus suelos.

En el país, el cultivo de papa está ubicado en la zona andina entre los 2.000 y 3.200 metros de altitud. Dentro de estos límites, los departamentos involucrados en este cultivo son Cundinamarca, Nariño, Antioquia y Santander. El 73% de la producción se genera en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.

Los costos directos de producción por hectárea son aproximadamente \$5.000.000 (Dupont, 2000), \$5.400.000 para economía campesina y \$9.030.000 para productor empresarial (Goban, 2004).

Dentro de la estructura de costos, los costos directos explican el 83% del total. Dentro de estos el 57% corresponde a insumos y en este ítem los fertilizantes representan un 40%, siendo el rubro más alto (Corpoica, 2004).

Producción de papa y fertilización

Según el Ministerio de Agricultura (2004) los promedios de producción de papa en los últimos 10 años (1993–2003) han aumentado desde 15,454 ton \cdot ha⁻¹ a 17,291 ton \cdot ha⁻¹, con un crecimiento del 1,84 ton \cdot ha⁻¹ en 10 años, cifra que representa una tasa de crecimiento de 0,91%. Con este rendimiento, Colombia ocupa el puesto 58 a nivel mundial, por encima de los países andinos: Perú (12,0 ton \cdot ha⁻¹), Ecuador (8,75 ton \cdot ha⁻¹), Bolivia (7,10 ton \cdot ha⁻¹). Los primeros productores de papa en el mundo son: la Unión Europea (35,7 ton \cdot ha⁻¹), NAFTA (38 ton \cdot ha⁻¹) y MERCOSUR (22 ton \cdot ha⁻¹) (Corpoica, 2004).

No obstante el crecimiento en producción de los últimos diez años, es importante anotar que el incremento en consumo de fertilizantes es muy superior a la productividad, teniendo en costos un incremento del 40% entre 1990 y 2003, donde se pasó en promedio de \$1.200.000 por hectárea a \$2.100.000.

Este fenómeno se produce debido principalmente al uso indiscriminado de fertilizantes que, en la gran mayoría de zonas, no responde a unas necesidades calculadas de acuerdo a un diagnóstico real, basado en análisis de suelos o ajustado con análisis

¹Ing. Agr. M. Sc. en Suelos en suelos. Profesor Universidad de Nariño, FACIA, Pasto, Nariño. hugoruize@yahoo.com

foliares. El agricultor toma simplemente como referente la cultura de manejo del cultivo tradicional o utiliza los productos comerciales aplicándolos por "receta", lo cual se entiende a nivel nacional como una proporción de 1:1 (Bulto de semilla: Bulto de abono) para el pequeño agricultor. El agricultor comercial o gran productor emplea generalmente proporciones 1:1,5 o 1:2, encareciendo con ello los costos de producción, sin criterio técnico alguno, más que el de su experiencia personal. En consecuencia, se ha llegado actualmente a niveles de aplicación hasta de dos toneladas de abono por hectárea.

Evolución de fertilizantes en la última década

Desde hace 10 años en Colombia se han venido utilizando una gama de marcas de fertilizantes sobre el cultivo de papa, cuya principal zona de explotación es la región andina sobre suelos en su mayoría andisoles, que ocupan el 18% del área de la zona (IGAC, 2004). Estos suelos por sus características tienen bajos niveles plásticos, alta fijación del fósforo, bajos contenidos de oligoelementos y, dados los sistemas de labranza que se utilizan en el cultivo, presentan graves problemas de desbasificación debido a la fragilidad estructural que presentan. Adicional a lo anterior, la zona presenta serios problemas por los bajos niveles de azufre disponible para el cultivo de papa.

Con el anterior panorama, los fertilizantes que se utilizan han tenido durante los últimos diez años diferentes fórmulas y tipos de fertilizantes encaminados a solucionar parte del problema nutricional de la planta. Es así como en la actualidad todavía se sigue trabajando con fertilizantes compuestos, tales como 13-26-6 o 10-30-10, los cuales en la década de los 90s eran los más ampliamente utilizados, así como fuentes simples de nitrógeno, fósforo y potasio.

En la actualidad existen en Colombia 665 empresas dedicadas a la producción de fertilizantes, enmiendas y acondicionadores de suelo. Estas empresas producen 79 tipos, entre foliares y edáficos, dirigidos hacia el cultivo de la papa (Ministerio de Agricultura, 2004). Dentro de esa gran gama de productos que actualmente se producen se pueden citar algunos como: 10-30-10, 15-15-15, 10-20-20, 12-24-12, 13-26-6, 18-18-18, 13-26-10-3.

Los siguientes productos hacen parte de esa gama insumos direccionados hacia el cultivo de papa, con diferentes tipos, formas y épocas de manejo. Adicional a estos, al cultivo de papa también se le agregan en algunas regiones productos de la finca como gallinazas, bovinazas y compost:

- Fuentes simples: urea, KCl, SFT, etc.
- Humitas
- Oligoelementos
- Cal, dolomitas

Con el anterior panorama, en el país el 70% de las empresas productoras de insumos se dedican a la producción de fertilizantes minerales, el 22% a producir acondicionadores de suelo, 6% a producción de enmiendas y el 2% a la producción de abonos orgánicos

Proyección del cultivo y fertilización

En el numeral anterior se expone la amplia gama de productos que en la actualidad se tienen en Colombia para la fertilización del cultivo de la papa. Es de anotar que la fertilización no se trata de emplear productos aislados, así como tampoco de utilizar ciertos fertilizantes por región más por afinidad y facilidad de consecución. La fertilización se debe tratar como una parte fundamental del manejo integral del cultivo, donde

confluyan todos los factores edafológicos de crecimiento de las plantas (succión de agua, aireación, penetrabilidad, nutrición, temperatura). Esto conlleva a revisar el modelo total de producción del cultivo que actualmente se tiene, debido a que en los últimos diez años escasamente tiene una tasa de crecimiento de 0,91% en rendimiento, mientras que los costos de los fertilizantes se han incrementado en costos un 40%.

Al revisar dicho modelo se deben tener en cuenta todos los elementos de producción en campo para redireccionar el manejo del cultivo con el objeto de apuntar hacia el logro de la formación de una capa arable (Amézquita, 1996), la cual debe ser creada por el agricultor mediante prácticas adecuadas de manejo, acordes con un diagnóstico del suelo. Dichas prácticas deben incluir un manejo físico del suelo (labranza) que ayude a preservar la estructura del mismo, creando un ambiente adecuado y óptimo para que sucedan todos los procesos nutricionales. Como respuesta a esto, es posible obtener una mayor eficiencia en la utilización de los diferentes fertilizantes, mejorando la química del suelo. Una vez realizado esto, es factible, a través de la mejoría de los procesos físico-químicos, fijar la fertilidad del suelo mediante el componente biológico (macro, meso y microfauna).

Con el fin de desarrollar esta capa arable para cada zona de producción, es necesario detectar cuales son los limitantes de orden físico, químico y biológico que contribuyen con el bajo rendimiento o escaso aumento de la productividad del cultivo. Esto permitirá proyectar investigaciones que ayuden a potencializar la productividad de cada zona dedicada al cultivo en el territorio nacional.

Lo fundamental del desarrollo de una capa arable es crear inicialmente un ambiente físico adecuado para que esta estructura le permita al suelo desarrollar todas sus funciones en forma regular, lo cual contribuye con una adecuada fertilidad química, derivando en niveles sostenibles de buena productividad en el cultivo de papa.

Con base en lo anterior se hace necesario reorientar la investigación, que tradicionalmente se ha hecho hacia la fertilización química y ha olvidado que son las propiedades físicas del mismo las que mayormente han sufrido deterioro y son estas donde radica principalmente la productividad del suelo.

Para lograr estos procesos de proyectar la creación de capa arable por zonas de producción papera en Colombia, se necesita del concurso de todos los estamentos que están relacionados con el cultivo de la papa. Sin embargo, el concurso más relevante es el del agricultor, que por su tradicionalismo ha adoptado sistemas de producción que, en muchos sectores, no responden a las exigencias reales del cultivo, tales como la competitividad, la sostenibilidad y el manejo de fertilizantes acorde a las necesidades nutricionales del cultivo y de producciones futuras.

Investigaciones propuestas

Para aproximarse hacia la consecución de una capa arable se hace necesario realizar algunas investigaciones multidisciplinarias-participativas, que lleven a formular planes de manejo dentro de la fertilización en el cultivo de papa en Colombia. Algunas de las investigaciones que se proponen en adelante están proyectadas a corto, mediano y largo plazo, con el fin de optimizar la fertilidad del cultivo de papa en el país y se necesita el concurso de todos los estamentos vinculados al sistema productivo del cultivo. Las investigaciones más relevantes que se proponen desarrollar están direccionadas hacia las cuatro zonas principales de producción (Cundinamarca, Boya cá, Nariño y Antioquia):

1. Desarrollo de políticas regionales – gremiales encaminadas a implementar sistemas de preparación de suelos, acordes a la diagnosis de cada zona productora de papa, para mejorar y/o preservar la estructura del suelo.

2. Estudio mineralógico nutricional en las zonas dedicadas al cultivo de papa; georeferenciación y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica hacia fines de fertilidad del cultivo.
3. Desarrollo, validación y transferencia de las diferentes alternativas de fertilización actuales en Colombia (mineral, orgánica y otras)
4. Desarrollo, validación y transferencia de la agricultura "limpia" en el cultivo de la papa en Colombia.
5. Desarrollo, validación y transferencia del plástico y fertirriego en el cultivo de papa en Colombia.
6. Estudio en las zonas productoras de los balances hídricos, regímenes de humedad del suelo y probabilidades de lluvia, con fines de riego y fertilización.
7. Caracterización físico-química del potencial nutricional de las zonas paperas en Colombia y estudio de la evolución de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S y oligoelementos en los últimos diez años.
8. Desarrollo e implementación de metodologías integrales de fertilización para cada zona de cultivo.
9. Estudio de la temperatura del suelo y su influencia sobre la asimilación de los nutrientes (N, K).
10. Estudio la fenología del cultivo y las metodologías de utilización y aplicación de fertilizantes.
11. Estudio de las interacciones físico-químico-biológicas con el fin de desarrollar niveles críticos ajustados a cada zona productora.
12. Conformación de la Red Nacional de Manejo Integrado del Cultivo de Papa (MICPA).
13. Conformación de los círculos de calidad y salud del suelo en todas las zonas productoras de papa en Colombia.

Bibliografía

Amézquita, E. y Escobar, C.J. 1996. Degradación de tierras en regiones húmedas. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Sao Paulo. 24 p.

Amézquita, E. 2002. Conservación de suelos bajo agricultura intensiva en vertisoles del Valle del Cauca, Colombia. Cali. 15 p.

www.agrocadenas.gov.co 2004

www.corpoica.org.co 2004

www.dupont-agricola.com.co 2000

www.igac.gov.co 2004

www.minagricultura.gov.co 2004

Investigación y transferencia de tecnología en labranza de conservación como un componente en la recuperación de suelos de laderas degradados en el sistema de producción de papa

Gilberto Alonso Murcia¹

Resumen

Como resultado de varios años de investigación en técnicas de labranza, CORPOICA dispone de un producto tecnológico integral para la recuperación y conservación de suelos de ladera bajo el sistema de producción de papa. Con el sistema de agricultura de conservación propuesto, el cual se fundamenta en la mínima preparación de suelos, en el uso de abonos verdes como coberturas vegetales, en la rotación de cultivos y en la optimización en el uso de plaguicidas, se ha obtenido un importante mejoramiento de algunas propiedades físicas del suelo como la estructura, la densidad aparente, la porosidad, la capacidad de infiltración y retención de agua y la resistencia a la penetración.

Los materiales avena Caldas, avena Cayuse, avena negra, avena Nehuen, centeno, girasol, colza, mostaza, nabo forrajero y vicia mostraron buena adaptación como abono verde para las altitudes de 2840 y 2970 m de altitud; sin embargo, los mayores rendimientos, tanto en biomasa como en materia seca, se obtuvieron en la altitud de 2840 m (finca Yerbabuena – Carmen de Carupa). Los mayores rendimientos en materia seca fueron aportados por la avena Nehuen, la avena Caldas y el centeno. Las mezclas de las gramíneas avena Cayuse y centeno con vicia aportaron valiosos contenidos de nutrientes en la biomasa, constituyéndose en una importante alternativa para estos suelos de ladera degradados. Mediante el sistema de agricultura de conservación propuesto, se obtuvo importante reducción en los costos de producción hasta del 10%, comparado con el sistema convencional, debido al menor uso de maquinaria agrícola y a la reducción tanto de la mano de obra como en el uso de plaguicidas químicos.

Para estos suelos de ladera con 15% de pendiente, preparados convencionalmente con discos y completamente descubiertos, cuando fueron sometidos a intensas precipitaciones, las pérdidas de suelo por escorrentía aumentaron con la intensidad de la lluvia, variando de 181,1 hasta 5631 Kg de suelo por hectárea, para las intensidades de lluvia de 25 y 75 mm/ha, respectivamente. Para los mismos suelos con cobertura vegetal a través de kikuyo (*Penisetum clandestinum*) y sometidos a las mismas intensidades de lluvia, la pérdida de suelo, aunque aumentó con la precipitación, fue mucho menor que en suelos descubiertos, variando de 2,1 a 29,6 Kg de suelo por hectárea, para las respectivas intensidades de lluvia. Las pérdidas de agua por escorrentía aumentaron con la intensidad de lluvia, variando de 6,1 hasta 38 mm de lluvia (24,4% a 50,7%), para las intensidades de lluvia de 25 a 75 mm/ha. Para los mismos suelos con cobertura vegetal de kikuyo y sometidos a las mismas intensidades de lluvia, la pérdida de agua por escorrentía fue mucho menor que en suelo descubierto, variando de 2,2 hasta 25,6 mm de lluvia (8,8% a 34,1%), para las mismas intensidades de lluvia.

Finalmente, la combinación de los diferentes resultados obtenidos facilita mejorar las bases de comparación, de tal manera que se pueda ajustar el sistema propuesto,

¹ Ing. Agr., Ph. D. Programa Nacional de Recursos Biofísicos – CORPOICA. gmurcia@corpoica.org.co

escogiendo los mejores materiales como abonos verdes en cuanto a aportes de elementos, la mejor cobertura mediante los materiales que aporten contenidos de materia seca importantes y duraderos, los implementos que expongan el suelo a menor pérdidas y daño físico y finalmente, a adecuadas rotaciones.

Problemática general de las regiones productoras de papa

Aspectos socioeconómicos

Un elemento relevante de la Región Andina Colombiana es su alta concentración de minifundio, al cual corresponden el 88% de los predios del área rural, 70% de los cuales presentan tamaños menores a tres hectáreas. La estructura de tenencia rural muestra la predominancia de la propiedad, que representa el 90% del total de las formas de tenencia. Analizando algunos indicadores socioeconómicos se puede observar que la Región Andina presenta altos índices de población en condición de pobreza y bajos niveles educativos, ubicada generalmente en los lugares más frágiles del ecosistema, lo cual ha llevado a la utilización intensiva de los recursos bosque, agua y suelo, como única alternativa de vida, dando lugar a una degradación acelerada del medio ambiente.

Deforestación y erosión de suelos

La problemática ambiental de la Región Andina es evidente. La fuerte presión demográfica ha dado lugar a una deforestación masiva de la mayor parte de los bosques andinos, para dar paso a usos agropecuarios, con desbalances ecológicos. La destrucción de la vegetación ha disminuido la biodiversidad y ha alterado el hábitat de gran parte de la fauna nativa, se han afectado los ciclos hidrológicos y acelerado los erosivos, desencadenando una serie de problemas ambientales que van desde la pérdida de productividad de las tierras erosionadas, hasta problemas en represas y ciudades por sedimentación y contaminación de las fuentes de agua. Algunos indicadores globales de degradación ambiental muestran cifras alarmantes en relación con las altas tasas de deforestación que alcanzan las 600 mil hectáreas/año, según el Departamento Nacional de Planeación (1991). Entretanto, a través de un estudio de erosión en Colombia, realizado por el IGAC en 1998 y 1999, se encontró que el 59,6% de la superficie del país no presenta erosión, o es inapreciable mediante el método utilizado; existe erosión ligera en un 19,5%, erosión moderada en un 11,3%, severa en un 3,3% y muy severa en un 0,5%. La erosión eólica abarca el 1%, las áreas de sedimentación activa corresponden al 2%, los afloramientos rocosos al 1,2% y las zonas urbanas y cuerpos de agua al 1,6%. Una de las principales causas que favorece los procesos erosivos en la zona Andina es la alta erosividad de la lluvia en la región, acompañada por inadecuadas prácticas de manejo de suelos, tales como excesos de labranza o mecanización en suelos frágiles, ausencia de rotación de cultivos, agotamiento del suelo por sobreexplotación, siembras en dirección de la pendiente, quemadas, entre otras. Este diagnóstico se torna aún más crítico si se considera que el problema de erosión se acentúa en las zonas de producción agropecuaria donde se estima que el 90% de los 4,6 millones de hectáreas se utilizan de forma intensiva, según Navas y Amézquita (1989).

Pérdida de calidad y disponibilidad del recurso hídrico

La disponibilidad de agua dulce a escala mundial está restringida a un 0,3% del total del agua en el planeta y en los últimos 20 años se ha visto una drástica reducción de un 40% por habitante, llegando la ONU a considerar que para el año 2025, dos terceras partes de la humanidad no tendrán agua para beber. Entre las causas que se señalan para esta reducción en la disponibilidad de agua está el crecimiento demográfico, la agricultura intensiva que limita el reciclaje normal del agua y otros factores como el calentamiento

del planeta, cambios climáticos globales y fenómenos específicos como "El Niño" (ONU, 1998). La situación actual muestra que, aunque el país ha sido considerado por su riqueza hídrica como el cuarto en el mundo, con una alta disponibilidad de agua dulce (59 L/s·km²), debido a la intervención de páramos, bosques de niebla, ríos, humedales, etc., este recurso ha venido disminuyendo aceleradamente a través del tiempo. Actualmente, en el país existen algunas evidencias de altos niveles de contaminación de ríos y cuerpos de agua, situación que conlleva a una crisis por baja calidad y disponibilidad de este recurso.

Pérdida de fertilidad de suelos

La degradación de suelos desde el punto de vista físico, químico y biológico, así como la reducción en disponibilidad y calidad de aguas han obligado al sector agropecuario a buscar soluciones externas al sistema de producción y es así como el país se ve obligado a invertir fuertes sumas de dinero en insumos agropecuarios, con el fin de obtener rendimientos aceptables. Los sistemas de producción basados en cultivos únicos o monocultivos como la papa, con sistemas de rotación deficientes y reducción de los tiempos de barbecho, incrementan el problema de disminución de la fertilidad del suelo al convertirse únicamente en sistemas extractores de nutrientes. Es así como llega a ser necesaria una restitución artificial de los mismos con la aplicación de fertilizantes químicos convencionales que permitan obtener un balance interno de nutrientes para mantener la producción agropecuaria. Los problemas de acidez constituyen un indicador de la degradación química; el 85,2% de los suelos del país presentan pH entre extremadamente ácidos a fuertemente ácidos, lo cual representa un limitante fuerte para la producción agropecuaria, y como consecuencia directa de esta situación, el 98% de los suelos del país son deficientes en fósforo disponible para las plantas. En la región Andina, los suelos ubicados en climas húmedo, muy húmedo y pluvial, de los diferentes pisos térmicos, presentan un pH extremadamente ácido con saturaciones de aluminio superiores al 60% y déficit de fósforo.

Transferencia de tecnología

La mayoría de los resultados obtenidos en la investigación agrícola realizada por las distintas entidades no son adoptados por los agricultores. Esto se debe, probablemente, al desconocimiento del productor objeto de la transferencia, la carencia de estrategias efectivas de difusión y educación para cada productor, así como también la carencia de prácticas eficientes para la medición de la adopción e impacto de la tecnología. Esto se traduce en prácticas inadecuadas de manejo integrado del cultivo, sistemas de labranza no apropiados, uso indiscriminado de insumos, resultando en altos costos de producción y, por consiguiente, pérdida de la competitividad del sistema.

Para resolver en parte esta problemática, desde hace varios años junto a otras instituciones como la CAR y la GTZ, se han investigado nuevas técnicas de labranza que reduzcan y eviten la pérdida de suelo. Gracias a esto se ha desarrollado una técnica conocida como agricultura de conservación, la cual ayuda a preservar el suelo y, como valor agregado, ofrece ciertas ventajas sobre los métodos tradicionales. Dichas ventajas se observan en el mejoramiento de las características del suelo, ahorro de labores y energía, siendo además una opción para reducir los costos de producción. La agricultura de conservación es una respuesta al pretendido productivismo de la revolución verde; o más bien, su continuidad, tratando de adaptarla a los nuevos conocimientos y exigencias medioambientales. Se puso énfasis en conservar los recursos naturales que sustentan la agricultura como el suelo, el agua, la biodiversidad y la atmósfera. Desde el laboreo mínimo hasta la agricultura integrada, existe toda una gama de conservacionismo agrícola que está haciendo posible frenar el deterioro de los suelos, de tal forma que la

agricultura del siglo XXI debe hacer compatible su actividad con un conjunto de condicionantes económicos, sociales y medioambientales, con los que nunca se relacionó hasta tiempos muy recientes.

Puede decirse que es un nuevo concepto en el uso y manejo de los suelos, el cual permite establecer cualquier cultivo en rotación con poca remoción de suelo, es decir, se deja la mayor cantidad de cobertura vegetal sobre la superficie al momento de la siembra (al menos el 30% de la superficie de suelo cubierta con residuos). La cantidad, naturaleza y distribución de la cobertura vegetal como residuos de la cosecha anterior, tamos, abonos verdes depuestos sobre el suelo, determinaran el porcentaje de cobertura, el espesor y la homogeneidad, la cual retendrá la humedad, aislará el suelo de temperaturas extremas y reducirá la pérdida de suelo por erosión.

Se reemplazan herramientas tradicionales de labranza como los arados de disco y el rotovator, por implementos como el rolo cuchilla para deponer los abonos verdes, vibrosurcadoras, arados de cincel rígido y vibratorio, y por algunas máquinas especializadas para tal fin como las sembradoras de siembra directa. Esta tecnología se debe iniciar en lotes con pocos problemas de malezas, no compactados, con buena retención de humedad, buena capacidad de infiltración de agua, con buenos contenidos de materia orgánica y presencia de macro y micronutrientes, es decir, en suelos con pocos limitantes en su uso. De lo contrario, es necesario adecuar el suelo antes de iniciar un sistema de labranza conservacionista.

Por ende, el objetivo general de la investigación llevada a cabo por CORPOICA consiste en contribuir al desarrollo de tecnologías de conservación de suelos de ladera en el sistema de producción de papa, mediante la evaluación de la adaptación de abonos verdes como cultivos de cobertura y de rotación, la mínima preparación de suelos y en la optimización en el uso de plaguicidas de origen químico.

Metodología

Se han seleccionado fincas en los principales municipios productores de papa de Cundinamarca y Boyacá (Ubaté, Carmen de Carupa, Tausa, Simijaca, Saboyá, Siachoque y Ventaquemada), ubicadas entre los 2.800 y 3.050 m de altitud, en las que se llevo a cabo la investigación y transferencia de la tecnología, implementando los sistemas de producción agrícola conservacionista de manejo de suelos, según la caracterización inicial de los suelos, incluyendo las siguientes prácticas:

- Mínima labranza mediante empleo únicamente de la vibrosurcadora para la surcada
- Uso de abonos verdes (10 materiales entre gramíneas, leguminosas, crucíferas y mezclas, que corresponde a los tratamientos dentro del diseño experimental)
- Uso de coberturas vegetales mediante la deposición de los abonos verdes
- Rotación de cultivos (se incluyen los abonos verdes en la rotación)
- Desyerba parcial

El sistema de rotación establecido en cada una de las fincas fue: abono verde inicial (10 materiales) – papa (parda pastusa) – abono verde final (dos materiales). Los abonos verdes iniciales fueron establecidos mediante el diseño experimental de bloques completos al azar, con diez tratamientos y dos repeticiones, para un total de veinte unidades, más un testigo absoluto que corresponde a la forma como lo hace tradicionalmente el productor, siendo cada unidad experimental de 500 m², para un total de una hectárea por finca. Los abonos verdes iniciales, a través de diez tratamientos, se enuncian a continuación:

1. Vicia (*Vicia sativa* L.) + Avena Cayuse (*Avena sativa* L.)
2. Avena negra (*Avena strigosa* S.)
3. Colza (*Brassica rapus* L.)
4. Vicia (*Vicia sativa* L.) + centeno (*Secale cereale* L.)
5. Avena Cayuse (*Avena sativa* L.)
6. Mostaza (*Raphanus raphanistrum*)
7. Centeno (*Secale cereale* L.)
8. Nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.)
9. Avena Nehuen (*Avena sativa* L.)
10. Avena Caldas (*Avena sativa* L.)

Estos abonos verdes fueron depuestos sobre el suelo con del rolo cuchilla, aproximadamente a los 3,5 meses de establecidos, mientras los finales fueron avena caldas y Centeno.

Fuentes de variación: abonos verdes

Variables de respuesta: Durante la ejecución del proyecto se evaluaron las siguientes variables de respuesta, donde los aspectos físicos, químicos y biológicos fueron valorados a 20 cm de profundidad antes de establecer el primer ciclo de abonos verdes, después de la deposición del primer ciclo de abonos verdes y durante el desarrollo del segundo ciclo de abonos verdes:

- Aspectos productivos:

- Aspectos químicos del suelo: pH, materia orgánica, contenido de elementos mayores y menores.
- Aspectos biológicos del suelo: nivel de microorganismos nitrificadores y microfauna total del suelo a nivel de bacterias, hongos y actinomicetos.
- Aspectos físicos del suelo: densidad real del suelo (inicial), densidad aparente, textura (inicial), porosidad, índice de cono, infiltración, retención de humedad y estabilidad estructural.

- Abonos verdes: aporte de biomasa, aporte de materia se ca y composición química

- Aspectos económicos: evaluación de costos de producción y de la rentabilidad.

Adicionalmente, con la ayuda de un simulador de lluvia se determinaron las pérdidas de agua y suelo por escorrentia en dos tipos de cobertura sobre el suelo: uno descubierto, preparado bajo el sistema convencional de labranza con discos; el otro, bajo cobertura natural con pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*), según metodología de Escobar *et al.* (1982).

Finalmente, desde el punto de vista conservacionista, se han evaluado los implementos: arado de cincel rígido y arado de cincel vibratorio. El arado de discos fue evaluado únicamente a manera de comparación con los otros implementos y, en todos los casos, los arados se evaluaron con un solo brazo de cincel y un solo disco. En cada una de las líneas de trabajo de los diferentes implementos se evaluaron los perfiles de suelo trabajado, incrementado y disturbado, con la ayuda de un perfilómetro. Posteriormente, estos datos fueron llevados a una hoja de cálculo y a un software de dibujo para determinar tanto las áreas de los respectivos perfiles de suelo trabajado e incrementado,

como la profundidad y ancho máximo de trabajo. Para comparar el rendimiento de los tres implementos ya descritos anteriormente y usados en la preparación de suelos destinados al cultivo de papa, se usaron algunos parámetros, obteniendo finalmente el área total de suelo disturbado, la relación de pérdida de suelo, el tiro requerido por cada implemento, el tiro específico, el índice de tiro, la profundidad máxima de trabajo, el ancho máximo de trabajo, la profundidad media de trabajo, el ancho medio de trabajo, la relación del ancho de suelo trabajado, el requerimiento de potencia, la eficiencia de trabajo y el patinamiento de las llantas del tractor al operar cada uno de los implementos, según metodología de la FAO (1994).

Resultados y discusión

La discusión se basa principalmente en los resultados obtenidos en dos fincas destinadas a la investigación, esto es, Yerbabuena y Peña Colorada, ubicadas en el municipio de Carmen de Carupa. Al finalizar el periodo de ejecución (18 meses aproximadamente) de evaluación de la tecnología conservacionista propuesta, se obtuvo un importante mejoramiento de algunas propiedades físicas del suelo como la estructura, la densidad aparente, la porosidad y consecuentemente la aireación, la infiltración del agua, la capacidad de retención de agua y de la resistencia a la penetración. El mejoramiento de estas propiedades físicas se presentó con respecto, tanto a las condiciones iniciales de los suelos, como en relación a los resultados del lote testigo, respectivamente. Los mejores resultados se obtuvieron en el suelo correspondiente a la finca Yerbabuena (2.840 m de altitud), debido principalmente a que las condiciones físicas iniciales no eran tan limitantes.

Con respecto a las propiedades químicas de los suelos, en general, estos son pobres en bases y con baja capacidad de intercambio catiónico, siendo necesaria la aplicación de correctivos para mejorar el pH y la CIC, a fin de que el suelo sea capaz de retener el calcio, magnesio y potasio, evitando que se pierdan por lixiviación. De continuar con el sistema de rotación con abonos verdes, es recomendable una adecuada fertilización, especialmente nitrogenada para ayudar a descomponer los abonos verdes, especialmente las gramíneas con alta relación C/N.

Aunque la altitud no tuvo efecto significativo ($p > 0.05$) sobre las poblaciones de hongos, bacterias y actinos, y si la hubo internamente en cada una de las fincas entre algunos tratamientos, no se puede concluir aun, sobre el efecto de los abonos verdes en la actividad microbiana, debido a varios factores, entre los cuales cabe mencionar que los contenidos de humedad en cada una de las unidades experimentales de los diferentes tratamientos fueron diferentes en el momento de la toma de muestras. Finalmente, en ningún caso hubo un importante mejoramiento de la materia orgánica. El periodo de evaluación correspondiente a 18 meses no es suficiente para ver con claridad un mejoramiento de la actividad microbiológica a nivel de hongos, bacterias y actinos. Por lo tanto, para obtenerlo, es necesario aportes continuos de materia orgánica a través de abonos verdes, que a la vez mejorarán la estructura y humedad del suelo. Adicionalmente, se debe mejorar la fertilidad de estos suelos.

Tabla 1. Aportes de biomasa y materia seca de los diferentes abonos verdes en las fincas.

Tratamiento	Abono verde	Yerbabuena		Peña Colorada	
		Biomasa (ton/ha ⁻¹)	Materia seca (ton/ha ⁻¹)	Biomasa (ton/ha ⁻¹)	Materia seca (ton/ha ⁻¹)
1	Vicia + Cayuse	20,0	6,4	48,0	12,0
2	Avena negra	29,3	8,4	60,0	15,3
3	Colza	14,7	2,6	13,3	2,7
4	Vicia + Centeno	26,7	9,6	58,7	16,4
5	Cayuse	28,0	9,0	16,0	4,2
6	Mostaza	13,3	4,0	13,3	3,6
7	Centeno	24,0	8,7	16,0	4,5
8	Nabo forrajero	81,3	15,2	16,0	2,3
9	Avena Nehuen	72,0	16,6	53,3	12,2
10	Avena Caldas	73,3	21,9	33,3	10,6
R2	Avena Caldas	16,0	4,8	34,7	11,0
R2	Mostaza	13,3	4,0	22,7	6,0
R2	Vicia + Cayuse	26,7	8,5	22,7	5,8
R2	Cayuse	28,0	9,0	22,7	6,0
R2	Nabo forrajero	14,7	2,7	26,7	3,8
R2	Vicia + centeno	21,3	7,7	26,7	7,2
R2	Avena Nehuen	46,7	10,8	66,7	9,5
R2	Avena Negra	60,0	17,2	13,3	3,4
R2	Colza	66,7	11,7	16,0	3,2
R2	Centeno	68,0	24,8	20,0	5,7

Tabla 2. Contenido de nutrientes de la biomasa de los abonos verdes en la deposición.

Especie	% en materia seca						Relación	ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	S		C (Org.)	C/N	Zn	Cu	Fe	Mn
Vicia	2,4	0,25	1,3	0,35	0,12	0,24	24,57	10,24	54	27	988	107	21,5
Avena Cayuse	1,4	0,27	1,06	0,17	0,06	0,12	25,71	18,36	31	4	342	42	7,8
Avena negra	1	0,35	1,11	0,15	0,08	0,15	23,71	23,71	33	5	43	157	6,3
Colza	1,4	0,38	1,18	0,28	0,12	0,28	25,71	18,36	52	5	191	42	16,9
Centeno	1	0,25	1,06	0,27	0,06	0,17	24,57	24,57	104	8	70	72	6,9
Mostaza	0,9	0,27	1,46	0,23	0,1	0,29	25,14	27,93	38	3	124	24	9,2
Nabo forrajero	1	0,4	1,18	0,44	0,13	0,28	22,14	22,14	42	4	42	13	15,4
Avena Caldas	1,4	0,3	0,9	0,24	0,1	0,21	25,72	18,37	36	5	73	124	6,3
Avena Nehuen	2,4	0,36	1,46	0,41	0,13	0,3	24	10,00	71	7	100	231	53,2
Girasol	2,5	0,33	0,67	1,3	0,17	9,14	21,6	8,64	112,5	10	1554	59,6	20,8

Tabla 3. Contenido en Kg por hectárea de nutrientes de la biomasa de los abonos verdes en el momento de la deposición - Finca Yerbabuena.

Abonos verdes	Kg							Kg				
	N	P	K	Ca	Mg	S	C (Org.)	Zn	Cu	Fe	Mn	Br
Vicia + Cayuse	121,60	16,64	75,52	16,64	5,76	11,52	1608,96	0,27	0,10	4,26	0,48	0,09
Avena negra	84,00	29,40	93,24	12,60	6,72	12,60	1991,64	0,28	0,04	0,36	1,32	0,05
Colza	36,40	9,88	30,68	7,28	3,12	7,28	668,46	0,14	0,01	0,50	0,11	0,04
Vicia + Centeno	163,20	24,00	113,28	29,76	8,64	19,68	2358,72	0,76	0,17	5,08	0,86	0,14
Cayuse	126,00	24,30	95,40	15,30	5,40	10,80	2313,90	0,28	0,04	3,08	0,38	0,07
Mostaza	36,00	10,80	58,40	9,20	4,00	11,60	1005,60	0,15	0,01	0,50	0,10	0,04
Centeno	87,00	21,75	92,22	23,49	5,22	14,79	2137,59	0,90	0,07	0,61	0,63	0,06
Nabo forrajero	152,00	60,80	179,36	66,88	19,76	42,56	3821,28	0,64	0,06	0,64	0,20	0,23
Avena Nehuen	398,40	59,76	242,36	68,06	21,58	49,80	3984,00	1,18	0,12	1,66	3,83	0,88
Avena Caldas	306,60	65,70	197,10	52,56	21,90	45,99	5632,68	0,79	0,11	1,60	2,72	0,14
Avena Caldas	67,20	14,40	43,20	11,52	4,80	10,08	1234,56	0,17	0,02	0,35	0,60	0,03
Mostaza	36,00	10,80	58,40	9,20	4,00	11,60	1005,60	0,15	0,01	0,50	0,10	0,04
Vicia + Cayuse	161,50	22,10	100,30	22,10	7,65	15,30	2136,90	0,36	0,13	5,65	0,63	0,12
Cayuse	126,00	24,30	95,40	15,30	5,40	10,80	2313,90	0,28	0,04	3,08	0,38	0,07
Nabo forrajero	27,00	10,80	31,86	11,88	3,51	7,56	678,78	0,11	0,01	0,11	0,04	0,04
Vicia + Centeno	130,90	19,25	90,86	23,87	6,93	15,79	1891,89	0,61	0,13	4,07	0,69	0,11
Avena Nehuen	259,20	38,88	157,68	44,28	14,04	32,40	2592,00	0,77	0,08	1,08	2,49	0,57
Avena Negra	172,00	60,20	190,92	25,80	13,76	25,80	4078,12	0,57	0,09	0,74	2,70	0,11
Colza	163,80	44,46	138,06	32,76	14,04	32,76	3008,07	0,61	0,06	2,23	0,49	0,20
Centeno	248,00	62,00	262,88	66,96	14,88	42,16	6093,36	2,58	0,20	1,74	1,79	0,17

Queda claro entonces, que para las condiciones tanto ambientales, como de suelos en los que se llevó a cabo la investigación con los anteriores materiales, los mejores abonos verdes en cuanto al contenido de nutrientes en la biomasa en el momento su deposición, correspondieron a la avena Nehuen, la vicia y el girasol. Sin embargo, los contenidos totales de nutrientes estuvieron influenciados por los rendimientos de la biomasa, los cuales, en el caso específico de la finca Yerbabuena, los mayores correspondieron a la avena Nehuen, avena Caldas, centeno, avena negra, avena Cayuse y a las mezclas de las gramíneas Cayuse y centeno con vicia. En la finca Peña Colorada, los mayores contenidos totales de nutrientes correspondieron a la avena Nehuen, avena Caldas y a las mezclas de las gramíneas Cayuse y centeno con vicia, esperando que parte de estos nutrientes se incorporen al suelo.

Para estos suelos de ladera con 15% de pendiente, preparados convencionalmente con discos y completamente descubiertos, cuando fueron sometidos a intensas precipitaciones, las pérdidas de suelo por escorrentía aumentaron con la intensidad de la lluvia, variando de 181,1 hasta 5631 Kg de suelo por hectárea para las intensidades de lluvia de 25 y 75 mm/h, respectivamente. Para los mismos suelos con cobertura vegetal de kikuyo (*Penisetum clandestinum*) y sometidos a las mismas intensidades de lluvia, la pérdida de suelo, aunque aumentó con la precipitación, fue mucho menor que en suelo descubierto, variando de 2,1 a 29,6 Kg de suelos por hectárea, para las respectivas intensidades de lluvia. Las pérdidas de agua por escorrentía aumentaron con la intensidad de la lluvia, variando de 6,1 hasta 38 mm de lluvia (24,4% a 50,7%) en suelos preparados convencionalmente y descubiertos, para las intensidades de lluvia de 25 a 75 mm/ha. Para los mismos suelos con cobertura vegetal de kikuyo y sometidos a las mismas intensidades, la pérdida de agua por escorrentía fue mucho menor que en suelo descubierto, variando de 2,2 hasta 25,6 mm de lluvia (8,8% a 34,1%), para las mismas intensidades de lluvia.



Fotografía 1. Evaluación de la pérdida de agua y suelo por escorrentía en suelo bajo cobertura natural a través de pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*)



Fotografía 2. Evaluación de la pérdida de agua y suelo por escorrentía en suelo bajo labranza convencional y desprotegido.

Tabla 4. Pérdida de agua y suelo por escorrentía a diferentes intensidades de lluvia.

Pérdida de agua y suelo/Intensidad lluvia (mm/h)	Suelo cubierto con pasto				Suelo descubierto			
	25	35	45	75	25	35	45	75
Pérdida de agua por escorrentía (mm)	2,2	3,6	9,9	25,6	6,1	10,5	17,3	38
Pérdida de agua por escorrentía (%)	8,8	10,3	22,0	34,1	24,4	30,0	38,4	50,7
Sólidos disueltos (mg/l)	50	100	150	100	1100	850	1100	4950
Pérdida de suelo (Kg ha ⁻¹) (disuelto en agua)	1,1	3,6	14,9	25,6	67,1	89,25	190,3	1881
Peso del suelo proveniente de la canaleta (gr)	1	2	3	4	120	450	1200	3750
Pérdida de suelo en la canaleta (Kg ha ⁻¹)	1	2	3	4	120	450	1200	3750
Pérdida total de suelo (Kg ha ⁻¹)	2,1	5,6	17,85	29,6	187,1	539,25	1390,3	5631

Desde el aspecto conservacionista y para las condiciones de suelo, el mejor implemento para preparar los suelos fue el cincel rígido, ya que en resumen, presenta la mayor área del perfil de suelo trabajado, menor tasa de pérdida de suelo ó menor exposición a la pérdida de suelo, menor fuerza horizontal por unidad de área trabajada, mayor profundidad de trabajo y mayor ancho de trabajo. El arado de discos ofreció las condiciones más desfavorables ya que presenta la menor área del perfil de suelo trabajado, mayor área del perfil de suelo invertido, mayor tasa de pérdida de suelo ó mayor exposición a la pérdida de suelo, mayor fuerza horizontal por unidad de área trabajada, menor profundidad de trabajo y el menor ancho de trabajo.

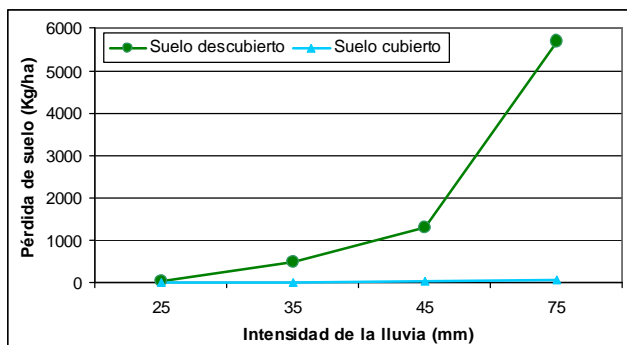


Figura 4. Pérdida de suelo por escorrentía

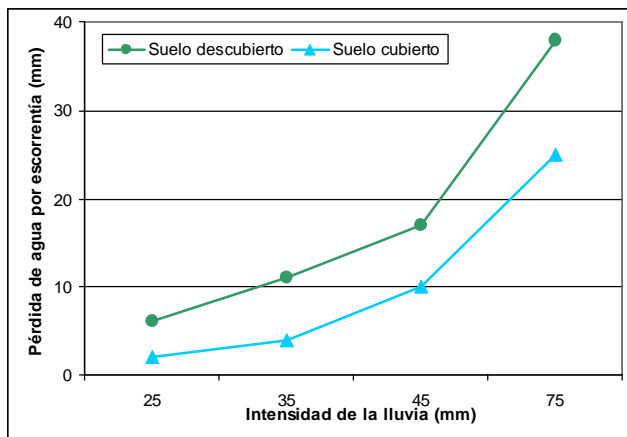


Figura 5. Pérdida de agua por escorrentía

Mediante el sistema de agricultura de conservación propuesto, se ha obtenido una importante reducción en los costos de producción hasta del 10%, comparado con el sistema convencional, debido al menor uso de maquinaria agrícola, a la reducción tanto de la mano de obra como del uso de plaguicidas químicos.

Sin embargo, el costo de establecimiento de una hectárea en abono verde puede variar desde \$200.000 hasta \$390.000, cuando son utilizados los materiales colza y vicia, respectivamente. Así, la utilización de abonos verdes resulta muy costoso, principalmente para el pequeño y mediano productor de papa, pudiendo ser negativa la rentabilidad del sistema (papa – abonos verdes) en épocas de bajos precios del tubérculo. Por lo tanto, se deben buscar alternativas más económicas, que hagan sostenible el sistema, ya sea mediante el uso de materiales nativos como coberturas vegetales ó mediante la utilización de los residuos de las cosechas.

Finalmente, los principales resultados obtenidos en la presente investigación, en los aspectos productivos, ambientales, económicos y de transferencia fueron los siguientes:

- **Productivos:** Mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos; sin embargo, para evaluar un efecto real a mediano plazo es necesaria, al menos, una evaluación permanente de 3 a 4 años. Igualmente, una tendencia de la pérdida de agua y suelo por escorrentía cuantificada, en función del manejo de suelos. De un lado, a través del manejo convencional de preparación de suelos con implementos de disco; por otro lado, a través de un suelo protegido mediante cobertura vegetal.
- **Ambientales:** Un sistema de agricultura de conservación validado, tendiente a recuperar y conservar la capacidad productiva del suelo, basado en la mínima preparación de suelos a través de implementos conservacionistas. Validado también en rotación de cultivos, en el uso de abonos verdes especialmente como coberturas vegetales y optimización en la aplicación de plaguicidas, de tal forma que se disminuyan los daños ambientales causados por el cultivo de papa bajo el sistema de agricultura convencional.

- **Económicos:** Reducción en los costos de producción de papa en 10%, comparado con los costos del sistema convencional.
- **Transferencia de la tecnología:** Fortalecimiento entre CORPOICA, CAR y GIZ alrededor del tema de investigación en agricultura de conservación, además de agricultores y técnicos capacitados en el tema.

Finalmente, la combinación de los diferentes resultados obtenidos nos facilita mejorar las bases de comparación, de tal manera que se pueda ajustar el sistema propuesto, escogiendo los mejores materiales como abonos verdes en cuanto a aportes de elementos, la mejor cobertura mediante los materiales que aporten contenidos de materia seca importantes y duraderos, los implementos que expongan el suelo a menor pérdidas y daño físico y finalmente, a adecuadas rotaciones.

Impacto actual o potencial de los resultados de la investigación

Desde el aspecto productivo, el impacto tecnológico de los resultados obtenidos en la investigación para la recuperación de laderas degradadas bajo producción de papa, se encontró un mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, principalmente la densidad aparente, la porosidad, la retención de humedad, la infiltración del agua lluvia en el suelo y la disminución de la resistencia a la penetración. Este mejoramiento se dio a través del sistema de agricultura de conservación propuesto, el cual incluye una mínima preparación de suelos (únicamente la surcada previa a la siembra del tubérculo) y el uso de abonos verdes como coberturas vegetales y como rotación de cultivos. Sin embargo, a mediano plazo y mediante una incorporación sostenida y permanente de materia orgánica a través de los abonos verdes, se mejorarán las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual está directamente relacionado con la fertilidad y consecuentemente, con la recuperación de la capacidad productiva de los suelos.

Otro impacto potencial importante es la disminución del uso de recursos hídricos para riego, pues en el sistema de agricultura de conservación, la cobertura vegetal de los abonos verdes sobre el suelo permite reducir la tasa de evaporación, favorece el almacenamiento en el suelo de aguas lluvias y, por consiguiente, deriva en una menor escorrentía con menores tasas de erosión.

El principal impacto económico mediante el uso de las prácticas conservacionistas y a descritas y con el uso de semilla mejorada es el incremento en los rendimientos con respecto a los correspondientes al sistema convencional. Adicionalmente, se obtuvo una importante reducción en los costos de producción, debido al menor uso de maquinaria agrícola para la preparación del suelo, a la reducción de la mano de obra utilizada en las labores culturales de deshierba y aporque mecánico e, igualmente, una reducción en el uso de plaguicidas debido a la optimización de las aplicaciones. Por lo tanto, el sistema de agricultura de conservación en papa propuesto, junto al uso de semilla mejorada de papa, se constituye en la alternativa óptima de producción de papa en suelos de ladera.

En cuanto al aspecto ambiental, el impacto final del producto en el proceso conservacionista de recuperación de laderas degradadas, considerando las coberturas vegetales, resulta en la disminución de la contaminación ambiental debido a la menor pérdida de suelo y agua por escorrentía, según los resultados obtenidos experimentalmente en campo. Esto redundará no solamente en la reducción de la pérdida de suelo, sino también y en buena parte, de insumos (semilla o agroquímicos), y por ende, menor contaminación de agua ya sea superficial o subterránea. Colectivamente, esto implica que, gracias a la menor erosión, los efectos externos sean menores y el suelo conservará por un tiempo mayor su capacidad productiva, beneficiando no sólo la explotación presente del recurso, sino también su uso futuro.

Adicionalmente, la composición de elementos nutricionales de los abonos verdes utilizados (vicia, avena Cayuse, avena negra, colza, centeno, mostaza, Nabo forrajero, avena Nehuen, avena Caldas y girasol) y la incorporación en el sistema de rotación para el rango altitudinal entre 2.800 a 3.000 msnm, debido a su adaptación, permite prever a mediano plazo un importante aporte de elementos nutricionales al suelo, necesarios para el desarrollo del cultivo de papa, reduciendo un poco la dependencia de fertilizantes de origen químico.

Los resultados obtenidos en el estudio del impacto ambiental por el uso de plaguicidas en el cultivo de papa en un proyecto anterior denominado "Conservación de suelos de ladera bajo el sistema de producción de papa (*Solanum tuberosum*)", muestran que, en el sistema convencional de producción de papa, la residualidad encontrada de Etlentiourea y Carbofuran en el suelo y agua supera ampliamente el nivel de toxicidad agudo para algunos insectos, representando un altísimo riesgo para la mesofauna del suelo y del agua. Mediante el sistema de agricultura de conservación propuesto, el cual contempla el uso de abonos verdes y la optimización en la aplicación de insecticidas, funguicidas y herbicidas para el control de plagas, enfermedades y malezas, respectivamente, además de preservar la fauna benéfica y disminuir la contaminación ambiental, se producirán alimentos menos contaminados (tubérculos de papa) y a menor costo. Adicionalmente, como consecuencia de la reducción en la aplicación de plaguicidas y funguicidas, se disminuirá el riesgo de intoxicación del personal destinado a tareas de pulverización durante el cultivo y de futuras enfermedades a causa de inhalación de productos químicos empleados en el manejo sanitario del cultivo.

El impacto potencial generado con los resultados de la investigación, a través del cual se muestra un producto tecnológico para la recuperación y conservación de la capacidad productiva de los suelos de ladera, y para una producción sostenible del cultivo de papa, nos permite asegurar que es posible adaptar la tecnología propuesta a otras regiones de ladera del país de diferente altitud, para recuperar los suelos de las laderas degradadas.

Finalmente, considerando que una fase es muy poco tiempo para ver con claridad el efecto del sistema de labranza conservacionista, es importante continuar desarrollando investigación básica en el tema, extendiéndolo a otras regiones productoras de papa del país.

Bibliografía

Amaral, A.; Meurer, E. 2001. Os resíduos vegetais deixados na superfície do solo no sistema de plantio direto podem alterar a acidez e influenciar o comportamento do herbicida. *Revista Plantio Direto* 62: 16-17.

Amézquita, E. 1992. Procesos físicos de la degradación de suelos en Colombia. Manejo Integral de Suelos para una Agricultura Sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira. p. 9 – 19.

Centro Nacional de Investigaciones de Café – CENICAFE. 1975. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. Chinchina. 268 p.

CORPOICA. 2001. Manejo integrado del cultivo de la papa. C.I Tibaita tá. 196 pg.

CORPOICA. 2002. Evaluación de parámetros para el almacenamiento de semilla de papa (*Solanum tuberosum*) y mecanismos de control de la polilla Guatemalteca (*Tecia solanivora*) durante el mismo. 24 p.

Derpsch, R.; Calegari, A. 1992. Plantas para adubação verde de inverno. Instituto Agronômico do Paraná. Londrina, Brasil. 78 p.

- Escobar, C.J.; Perea, J.J.; Navas, J. 1982. Metodología para la determinación de pérdidas de suelo por erosión hídrica pluvial. ICA. Bogotá. 10 p.
- FAO. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. *Boletín de suelos #66*.
- FAO. 1993. Anuario de fertilizantes. Roma. Vol. 43.
- FAO. 1994. Principios y prácticas de prueba y evaluación de maquinaria y equipos agrícolas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO Número 110. Roma. 274 p.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas # 8*. 164 p.
- García, B. 1990. Cambios de algunas características químicas de los suelos de la zona Andina de Nariño a través del período de 1964 – 1988. *En: Informes anuales de actividades*, ICA. Nariño. p. 8-11.
- García, B. y Pantoja, C. 1995. Fertilización y manejo de suelos en el cultivo de papa. Departamento de Nariño. Boletín técnico N° 222: 29.
- Gomez, A. 1999. Reducción de labranza como una opción para la conservación del suelo y la disminución de costos en los cultivos de la zona Andina de Nariño. *En: Informe anual CORPOICA*. Nariño. 69 p.
- GIZ, KFW y CAR. 2000. Cultivar sin Arar. Labranza mínima y siembra directa en Los Andes. Proyecto Checua. Colombia. 146 p.
- GIZ, KFW y CAR. 1996. Productividad responsable en el campo. Proyecto Checua. Colombia. 158 p.
- Guerrero, R. 1996. Fertilización del cultivo de la papa. Fertilización de cultivos en clima frío. Abonos Nutrimón. Divulgación técnica. Bogotá. 426 p.
- Guerrero, J. 1990. Las propiedades físicas de los suelos colombianos y su relación con labores de labranza. *En: Montenegro y Malagón. 1990. Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá. p. 697-728.
- Herrera, P.P. 1999. Aproximación a los problemas de degradación en el suelo y posibles soluciones: mecanización y labranza de conservación. CORPOICA–SENA. Bogotá. p. 29–64.
- Montenegro, H. y Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”. Bogotá. 814 p.
- Murcia, G. 2001. Conservación de suelos de ladera bajo el sistema de producción de papa (*Solanum tuberosum*). CORPOICA. Bogotá. 148 p.
- Murcia, G. 2002. Potencialidad del uso de los abonos verdes en la recuperación y conservación de suelos de ladera bajo el sistema de producción de papa (*Solanum tuberosum*). Boletín técnico CORPOICA. Bogotá. 48 p.
- Navas, J. y Amezquita, E. 1989. Plan nacional de manejo y conservación de suelos. Documento Interno ICA. Presentado a PROCIANDINO. p. 25.
- Rodríguez, M. 1984. Influencia de operaciones de labranza sobre propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía. Trabajo de tesis para optar al título de Magister Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. Pasto. 127 p.
- Rodríguez, P. 1996. La papa y el desarrollo económico en Colombia. CORPOICA. Bogotá. 72 p.

Introducción

La caracterización química de los suelos agrícolas en Colombia, actividad que data de más de medio siglo, es una herramienta necesaria para el manejo adecuado y eficiente de la nutrición de los cultivos, incluido el de papa. Durante este lapso, en general, hay que aceptar que su utilización ha mantenido una tendencia positiva, tanto en lo que atañe a la solicitud de servicios por el agricultor, como en lo relativo a la oferta de los mismos por el número de laboratorios en actividad.

Metodologías e interpretación

La metodología utilizada para la caracterización de la fertilidad de suelos en Colombia es muy conocida y, a la fecha, poco variable en los diferentes laboratorios. Incluye la textura (Bouyoucos), Carbono orgánico (Walkley Black), pH – agua, C.I.C. (cloruro de amonio), P – aprovechable (Bray - II), aluminio cambiante (cloruro de potasio), cationes cambiante: Ca, Mg, K, Na (acetato de amonio), S – disponible (fosfato monocálcico – turbidimetría), N total, cuando se incluye, (Kjeldhal).

La interpretación de los resultados que genera el laboratorio, como se sabe, está encaminada a calificar los datos de disponibilidad de los elementos en deficiente (D), bajo (B), medio (M), alto (A) y excesivo (E) y, con esa base, efectuar las recomendaciones debidas para el control de la nutrición del respectivo cultivo.

Uso y resultados

Como ya se mencionó, la demanda de la caracterización de los suelos agrícolas, con fines prácticos, ha tenido un crecimiento incuestionable y sus resultados han sido utilizados, no solamente con fines de diagnóstico, sino para evaluar en forma global la fertilidad de los suelos (Lora, 1990).

En el caso de los suelos cultivados con papa, las tendencias que se observan en el transcurso del tiempo se manifiestan en: (1) un aumento del porcentaje de suelos con contenidos medios y altos de fósforo, potasio, materia orgánica y azufre y (2) menor frecuencia de suelos con contenidos medios y altos de magnesio, situación que explica las respuestas positivas que se han encontrado mediante la aplicación de fertilizantes magnésicos al cultivo de la papa en diferentes regiones, en tanto que el comportamiento del pH y el calcio se ha mantenido estable (Tabla 1).

¹ Ing. Agr., M. Sc. en Ciencia del Suelo. Profesor emérito de la Universidad Nacional de Colombia y Consultor Privado.

Tabla 1. Distribución porcentual de diferentes parámetros de fertilidad en suelos paperos de Cundinamarca y Boyacá, según análisis realizados por Corpoica - Tibaitatá (462 muestras), entre 1998 y 2004 (actual) y la información de Guerrero, 1998 y Niño y Romero (2001).

Parámetro	Categoría	Actual %	1980
PH	Bajo <5,5	71,2	77,5
	Medio 5,6-7,3	28,1	22
	Alto >7,3	0,6	0,5
M.O. (%)	Bajo <5	30,6	45
	Medio 5-10	30,4	32
	Alto >10	39,0	23
P (ppm)	Bajo <40	46,9	70
	Medio 40-60	19,5	8,5
	Alto >60	33,6	21,5
K (meq/100g)	Bajo <0,3	24,1	45,5
	Medio 0,3-0,6	35,6	34,5
	Alto >0,6	40,3	20

Parámetro	Categoría	Actual %	1980
Ca (meq/100g)	Bajo <3	37,1	32*
	Medio 3-6	26,2	37*
	Alto >6	36,7	31*
Mg (meq/100g)	Muy Bajo <5	29,2	16*
	Bajo 0,5-1,2	33,1	38*
	Medio 1,2-1,8	26,4	21*
S (ppm)	Alto >1,8	11,3	26*
	Muy Bajo <5	8,2	38
	Bajo 5-10	15,1	41
	Medio 10-15	13,8	14
	Alto >15	63,0	7

* Niño y Romero (2001)

Por otra parte, el trabajo de Niño y Romero (2001) muestra que, en los suelos "paperos" de Boyacá, el grado de aptitud agrícola, calificado como bajo y medio (70,8%), supera al de categoría alta (29,2%).

Limitantes

En el caso de la producción tecnificada de papa, las limitantes del análisis químico de suelos, en lo tocante a su alcance práctico, pueden estar asociadas con diferentes temáticas, entre otras las siguientes:

a. Dificultades para el diagnóstico.

Motivados principalmente por el hecho de que los "niveles críticos" necesarios para la "interpretación de los análisis", se han quedado rezagados en el lapso del tiempo, en particular si se toma en cuenta el hecho de que la diferencia de los mismos no ha superado aún el esquema simple de la geografía política (Nariño, Boyacá, Cundinamarca, etc.). Esta situación, desde luego, no descalifica el esfuerzo realizado en su época por el ICA (1990).

b. Uso cuantitativo inadecuado

Se refiere al hecho de que profesionalmente la información de los resultados analíticos se está utilizando para convertirla en cifras que pretenden cuantificar ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) la capacidad de los suelos para suministrar los diferentes nutrientes al cultivo, cuando en realidad solamente reflejan un índice (alto, medio, bajo) de su disponibilidad (Guerrero, 2005).

c. Diagnóstico con exclusividad química.

La disponibilidad y la asimilación de nutrientes no depende solamente de los factores químicos, sino que está asociada también (y en gran medida) con los factores relativos a la física (agua, aire, temperatura, etc.), la biología (microorganismos, actividad microbiana, etc.) y de la misma planta o cultivo, en particular aquellos inherentes a su sistema radical y aquellos tocantes a su habilidad para la asimilación de nutrientes.

Claro está, que si los niveles críticos utilizados para el diagnóstico han sido obtenidos debidamente en condiciones de campo, se da por supuesto que tales factores si fueron tomados en consideración.

d. La escasa confiabilidad en el muestreo de suelos

Lo que de suyo conlleva a pensar que, salvo excepciones, la obtención de las muestras en el campo no se somete al control debido y, por tanto, su homogeneidad estará alejada del nivel requerido, dando lugar a análisis sesgados desde el primer momento.

Recomendaciones

El uso apropiado del análisis de suelos en el cultivo de la papa requiere con urgencia la actualización de los "niveles críticos", mediante programas de investigación sostenibles, tocantes a los estudios de calibración, organizados con base en las condiciones edáficas, climáticas y genéticas.

Entre tanto, el uso y la interpretación adecuada de los análisis debe ajustarse obligatoriamente, con la solvencia y la experiencia profesional de quien lo realice, y la valiosa ayuda que puede brindar el uso apropiado del análisis foliar, o de los peciolos.

Investigación requerida

Las principales líneas o temas de investigación que se consideran obligantes efectuar, sobre el tema que nos ocupa, son las siguientes:

1. El estudio de las variantes en su fertilidad que han sufrido los suelos cultivados con papa durante el lapso de los 20 a 30 últimos años, en las diferentes zonas paperas, utilizando para ello información almacenada por CORPOICA, IGAG y otros laboratorios del país que deseen colaborar.
2. Los trabajos a la identificación y selección más refinada de metodologías apropiadas y/o novedosas para la extracción y determinación de la disponibilidad de nutrientes en los diferentes tipos (órdenes) de suelos cultivados con papa.
3. Con base en lo anterior, llevar a cabo un trabajo investigativo y confiable encaminado a la calibración de tales metodologías, con el objeto de identificar los niveles críticos confiables conducentes a la formulación de los planes apropiados de un abonamiento eficiente del cultivo en los diferentes suelos, y para las diferentes variedades, tanto con los elementos mayores como con los secundarios y menores.
4. Incluir también los trabajos de investigación que se requieren para identificar los niveles críticos confiables (foliar o en peciolos) para los diferentes nutrientes y, de esta manera, poder realizar una calificación confiable al estado nutricional del cultivo.
5. Llevar a cabo las investigaciones detenidas para evaluar el papel de la fertilidad física del suelo, su efecto y control en el cultivo de la papa.

Bibliografía

Guerrero, R. (en prensa). El diagnóstico cuantitativo de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Boletín informativo "La opinión de los socios". Bogotá.

Guerrero, R. (Ed). 1998. Fertilización de Cultivos en clima frío. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Bogotá. 425 p.

Lora, R. 1990. La fertilidad de los suelos en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario, Programa Nacional de Suelos, Bogotá. 80 p.

Niño, J. 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 en la UPTC. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 177 p.

Estado del arte de la investigación

“La evolución del sector se veía favorable según las cifras que citaba el director económico de la SAC, Carlos Augusto Del Valle. No obstante, había que analizar el cultivo de la papa, el más común en el Páramo de Guerrero. «Vemos que el tema de los costos es el que más ha afectado», asintió Del Valle ante las opiniones expresadas por los asistentes, todos productores del tubérculo. También resaltó la afectación por la tasa de cambio. «Cuando sube el dólar, los insumos importados se vuelven más costosos y, a la inversa, cuando éste baja se espera que sean más baratos. Pero no, siguen más caros. La baja del dólar no se ha reflejado todavía en los costos de producción».

El presidente de la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), Augusto Del Valle Estrada, presente en el auditorio, intervino: «Desde agosto pasado, está subiendo el precio de los fertilizantes y la papa se mantiene a buen precio. Se juntaron los dos factores. Como suben los fletes, se están escaseando el fósforo y el nitrógeno. Pero haya o no haya insumos, aquí siembran».

Un agricultor, en el costado opuesto a la puerta, también terció en el debate. «Lo que pasa es que uno no hace las cuentas desde el principio, porque si las hace se vuelve loco», dijo el agricultor Eurípides Rodríguez.

La profesora de manejo contable continuó, sin embargo: «El recibo de caja me sirve para saber cuánto vendí y a quiénes. Estos registros nos van a servir para tomar las decisiones». Afuera, en los alrededores de la Escuela, se escuchaban algunos perros ladrar.

Los productores deben valorar los costos de producción y el ingreso justo que se merecen por su trabajo, indicó el director económico de la SAC, Carlos Del Valle. «Al comparar los dos aspectos pueden saber si están ganando o perdiendo y, por tanto, qué decisiones tomar», precisó.

El seminario, realizado por la SAC y el SENA a finales de marzo de 2004 incluyó un ejercicio de costos, que en el caso de la papa reveló inversiones de cinco millones de pesos por fanegada para un ingreso de cuatro millones de pesos, es decir, 25% menos de lo que se invirtió.”

Con esta introducción tomada del diario La República se quiere manifestar la importancia que tiene el análisis de costos sobre la actividad productiva y la relación que tiene la fertilización con la rentabilidad del cultivo.

El cultivo de papa en Colombia ha gozado de buena investigación debido principalmente, entre otros factores, a que hace parte de Sistemas de Producción típicos en Colombia, es un producto de la canasta familiar y a que es generador de empleo. Se han adelantado trabajos en manejo fitosanitario, fertilización, caracterización de suelos, producción de material de propagación, entre muchos otros temas de investigación. En Colombia, instituciones como Fedepapa, Corpoica, ICA, Universidades como la Nacional de Bogotá, la U.D.C.A., la U.P.T.C. en Tunja, la Universidad de Nariño, algunos

¹ Ing. Agr. Esp. Docente Investigador. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. fcolorad@udca.edu.co

investigadores como los Drs. Hugo Castro, Héctor Villamil, Rodrigo Lora, Hugo Ruiz e ing. Pedro Porras, se han ocupado del tema de nutrición y fertilización del cultivo de papa.

Cada una de las personas y entidades arriba mencionadas han llevado y vienen adelantando investigaciones en este componente del sistema productivo ya que es uno de los que más costos genera y donde hay investigación abierta.

A continuación paso a enumerar algunos de los trabajos que se vienen llevando a cabo, corriendo el riesgo de dejar otros por fuera:

1. 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 U.P.T.C.
2. Evaluación de alternativas para aumentar la eficiencia de fertilización fosfórica en el cultivo de la papa. José Miguel Cotes Torres, Carlos Eduardo Núñez López, Sonia Lucia Navia.
3. Suelos y nutrición en el cultivo de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk). Rodrigo Lora Silva.
4. Análisis económico de la utilización de insumos en el cultivo de papa. Fernando Colorado López.

En la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. se está realizando desde el año 1999 un proyecto de investigación encaminado a trabajar tres puntos importantes en este sistema productivo y en el componente nutricional: suelos andinos, fuentes fertilizantes y especie de papa. El Anexo 1 es un cuadro resumen de algunos de estos trabajos con los resultados obtenidos.

Las siguientes tablas muestran algunos resultados obtenidos sobre el uso de fertilizantes, la eficiencia agronómica obtenida y un acercamiento a la evaluación económica:

Tabla 1. Efecto de la aplicación foliar y al suelo de boro sobre papa criolla en un andisol de la Calera, Cundinamarca. 2003

Tratamiento			Cantidad de producto (Kg/ha ⁻¹)	Ingresos (Miles de pesos)	Producto Marginal (Kg/ha ⁻¹)	Valor de Producto Marginal (Miles de pesos)	Costos Variables (Miles de pesos)	Utilidad Marginal (Miles de pesos)
1	0*		6220	3981	0			
2	0.20%**	Fertilizante A foliar	10000	6400	2419	1548.16	16	1532.16
3	0.40%	Fertilizante A foliar	9560	6184	2203	1409.92	32	1377.92
4	0.20%	Fertilizante B foliar	10450	6668	2687	1719.68	33.3	1686.38
5	0.40%	Fertilizante B foliar	14890	9529	5548	3550.72	66.8	3483.92
6	0.36%	Fertilizante C suelo	6890	4409	428	273.92	34.3	239.62
7	0.72%	Fertilizante C suelo	7333	4693	712	455.68	65.5	390.18
8	1.08%	Fertilizante C suelo	8670	5550	1569	1004.16	102.8	901.36
9	0.36%	Fertilizante D suelo	8780	5620	1639	1048.96	6.5	1042.46
10	0.72%	Fertilizante D suelo	6780	4340	359	229.76	13	216.76
11	1.08%	Fertilizante D suelo	7560	4840	859	549.76	19.5	530.26

*Indica el tratamiento sin aplicación foliar con boro

**Indica la concentración de boro dentro de la solución de acuerdo al tratamiento

Tabla 2. Comportamiento de la papa criolla a dosis de Ca y B en un suelo de Cundinamarca. 2002.

No	Tratamiento		Cantidad de producto (Ton/ha ⁻¹)	Ingresos (Miles de pesos)	Producto Marginal (Ton/ha ⁻¹)	Valor de Producto Marginal (Miles de pesos)	Costos Variables (Miles de pesos)	Utilidad Marginal (Miles de pesos)
	Boro	CaNO ₃						
1	0	0	23.6	7434	5.6	1764	0	1764
2	0	75 **	29.2	9198	0.5	157.5	90.375	67.125
3	0	150	24.1	7591.5	6.6	2079	180.75	1898.25
4	0	225	30.2	9513	0.4	126	271.1	-145.1
5	0.5% *	0	24	7560	6.6	2079	17.5	2061.5
6	0.5%	75	30.2	9513	0.4	126	107.9	18.1
7	0.5%	150	24	7560	-0.3	-94.5	198.3	-292.8
8	0.5%	225	23.3	7339.5	-10.9	-3433.5	288.6	-3722.1
9	1%	0	12.7	4000.5	-2	-630	35	-665
10	1%	75	21.6	6804	1.1	346.5	125.3	221.2
11	1%	150	24.7	7780.5	5.9	1858.5	215.7	1642.8
12	1%	225	29.5	9292.5	1.4	441	306.1	134.9
13	1.5%	0	25	7875	-6.9	-2173.5	52.5	-2226
14	1.5%	75	16.7	5260.5	0.3	94.5	143	-48.5
15	1.5%	150	23.9	7528.5	-3.5	-1102.5	233.2	-1335.7
16	1.5%	225	20.1	6331.5				

*Indica la concentración de boro dentro de la solución de acuerdo al tratamiento

**Cantidad de Ca en Kg/ha⁻¹

Las tablas se trabajaron bajo el concepto de Utilidad Marginal, donde se cuantificó el Ingreso Marginal obtenido por la utilización del fertilizante y el costo de implementar la práctica para obtener la diferencia. Sin embargo, el análisis se queda corto debido a que no se tienen en cuenta otros factores que pueden estar afectando el resultado final, como son mercados inestables, variabilidad en los sistemas de producción, ecofisiología del cultivo asociada, entre otros.

El análisis económico que se presenta a continuación se basó en un estudio realizado durante un espacio de tiempo de tres años en el municipio de Cogua, Cundinamarca, trabajando fertilización química con dos fuentes fertilizantes a dosis variables en el cultivo de papa criolla.

De la metodología empleada se destacan los siguientes puntos:

- Se utilizaron dos fuentes: 13-26-6 y 10-30-10, fertilizantes paperos por excelencia.
- Se tomaron los *costos de producción* del cultivo durante cinco ciclos de cosecha, estimando periodos futuros.
- Los ingresos se pronosticaron de acuerdo a técnicas de *series de tiempo*.
- Se tuvo en cuenta el *costo de oportunidad* del dinero, de acuerdo a tasas de interés representativas de mercado.
- Se construyeron funciones de producción para ambas fuentes, para comprobar los rendimientos decrecientes.
- Igualmente, como resultados puntuales, se elaboró un análisis marginal.

- Se construyeron estados financieros durante los cinco periodos y se aplicaron los indicadores financieros.
- Se realizó *análisis de sensibilidad* variando la fuente de financiamiento del productor.
- Se trabajó con productores pequeños.

La siguiente tabla resume los resultados agronómicos obtenidos en el municipio de Cogua, Cundinamarca, trabajando con 13-26-6 a dosis variables en el cultivo de papa criolla.

Tabla 3. Rendimiento de la papa criolla a diferentes dosis de fertilizante 13-26-6. Factibilidad Económica y Financiera de un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) con aplicaciones de NPK en el municipio de Cogua, Cundinamarca. (Pérez, Y; Riaño, A; Colorado, F. 2001)

Tratamiento	Dosis	Rendimiento	Tamaño (%)		
	(Kg/ha ⁻¹)	(ton/ha ⁻¹)	Primera	Segunda	Tercera
Testigo	0	19.42	48	39	13
T1	200	18.15	38	45	17
T2	400	18.87	51	34	15
T3	600	19.94	49	31	20
T4	800	22.37	64	29	7
T5	1000	27.06	47	39	14
T6	1200	23.92	56	35	9
T7	1400	26.23	69	26	5

De la tabla se pueden destacar varios puntos:

1. La fertilización aumenta los rendimientos del cultivo.
2. Dichos rendimientos están cuantificados por tamaños ya que en el análisis se debe tener en cuenta la diferencia de precios según la calidad.
3. Es la base del análisis: de ella parte el análisis marginal y las funciones de producción que se presentan a continuación.

La Tabla 4 muestra el análisis marginal para el fertilizante 13-26-6. Es importante resaltar: a) las dosis utilizadas en el estudio apuntan a investigar sobre la cantidad necesaria de fertilizante que se requiere en el cultivo, b) el ingreso se calculó con precios de mercado y teniendo en cuenta la calidad de la producción y c) para la construcción de los costos se tuvieron en cuenta tres puntos de vista: los incurridos en el estudio, los consultados de fuentes secundarias como la Federación que agrupa los productores y fuentes primarias como lo son los productores de la zona.

Tabla 4. Análisis Marginal. Factibilidad Económica y Financiera de un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) con aplicaciones de N P K en el municipio de Cogua, Cundinamarca. (Pérez *et al.*, 2001)

Tratamiento	Dosis Kg/ha ⁻¹	Rendimiento Cargas	Ingreso Total	Producto Marginal	Valor Prod Marginal	Costo Marginal	Costo Fijo	Costo Total	Ingreso Neto
0	0	155.5	7982	0	0	0	4153	4153	3829
1	200	145	7460	-10.5	-522	120	4153	4273	3187
2	400	151	7756	6	296	240	4153	4393	3363
3	600	160	8195	9	439	360	4153	4513	3682
4	800	179	9194	19	999	480	4153	4633	4561
5	1000	217	11122	38	1928	600	4153	4753	6369
6	1200	191.5	9831	-25.5	-1291	720	4153	4873	4958
7	1400	210	10781	18.5	950	840	4153	4993	5788

A la luz de este análisis, el tratamiento 5 resultó ser el mejor debido a que el valor del producto marginal fue mayor al costo marginal y se dio el mayor ingreso neto.

Las siguientes figuras describen el comportamiento de la producción cuando se varió el nivel de 13-26-6 utilizado en el estudio. La figura 1 indica el grado de polinomio que se alcanza para que la ecuación describa adecuadamente el comportamiento de la variable rendimiento, gracias a la influencia de la fertilización; mientras que la figura 2 muestra la misma función de producción, pero explicada por un modelo diferente, ya que la función es lineal.

El primer modelo indica el ideal de la relación entre las dos variables, de difícil aplicabilidad porque hay que recordar que hay otros factores que inciden en la respuesta del cultivo, factores que no están siendo explicados por la ecuación; mientras que el segundo modelo es el que normalmente se toma. La importancia de construir estos modelos radica en el hecho que permiten ver la relación existente entre variables de estudio o dependientes con variables independientes o de prueba, en este caso rendimiento de un cultivo a dosis variables de un fertilizante. Estadísticamente es importante y válido visualizar esta información, aunque llevada a la práctica o campo hay que tener cuidado a la hora de interpretarla y utilizarla en decisiones de investigación y producción.

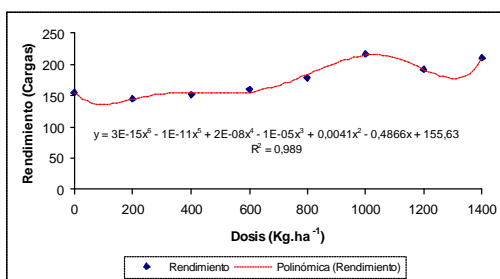


Figura 1. Modelo matemático polinómico y gráfica que describe el comportamiento del rendimiento de papa criolla a dosis variables de fertilizante 13-26-6.

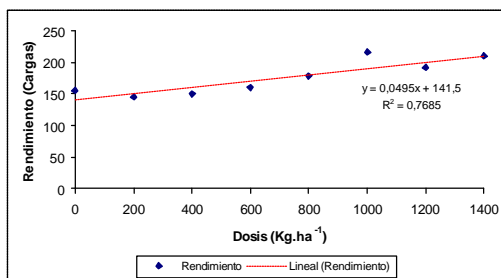


Figura 2. Modelo matemático lineal y gráfica que describe el comportamiento del rendimiento de papa criolla a dosis variables de fertilizante 13-26-6.

Los modelos matemáticos se pueden utilizar para estimar comportamientos: hay que tener cuidado al manejarlos por el alcance limitado de los mismos, ya que existen factores controlables que no cubre el modelo y factores no controlables que introducen sesgos importantes.

Hasta este punto el estudio no difiere de un análisis marginal. Ahora se presenta información del análisis económico donde, como fortaleza, se evaluó la inversión en fertilización con su costo de oportunidad.

La Tabla 3 sintetiza los estados financieros aplicados al cultivo durante cinco periodos en un Flujo de Fondos Financieros y el resultado de los Indicadores Financieros.

Tabla 3. Flujo de Fondos Financieros. Factibilidad Económica y Financiera de un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) con aplicaciones de NPK en el municipio de Cogua, Cundinamarca. (Pérez et al., 2001) (En miles de pesos)

Flujo	0	1	2	3	4	5
Ingresos		5791	9912	9405	10533	9743
Capital Trabajo	-3854					
Costos Fijos		-540	-543	-545	-543	-543
Costo Variables		-4454	-4477	-4501	-4701	-4479
U.A.I.		797	4892	4359	5289	4721
Impuestos		-278.95	-1712.2	-1525.65	-1851.15	-1652.35
U.D.I.		518.05	3179.8	2833.35	3437.85	3068.65
Recuperación del capital de trabajo						3854
FNE	-3854	518.05	3179.8	2833.35	3437.85	6922.65
VPN (14%) =	6590.5039					
TIR =		54%				
RBC(14%) =					2.710043	

Comentarios:

- El estudio demostró las posibilidades de la fertilización ya que los indicadores financieros así lo dicen.
- La tasa de interés de oportunidad (TIO) del 14% semestral, utilizada para evaluar la inversión, es solo una referencia ya que cada productor puede tener su propia tasa, anotando que a mayor TIO la inversión es más sensible.

- Los costos variables de producción son los que se deben manejar, como en este caso de la fertilización, ya que en rendimientos decrecientes la rentabilidad del cultivo se ve afectada.
- El estudio se diferencia de un análisis de marginalidad en su profundidad, detalle, que es económico y que toma el Costo de Oportunidad en cuenta.
- El análisis de sensibilidad indicó que dependiendo de la TIO y las tasas de interés crediticias, es factible financiar la inversión.

Identificación del problema

Desde el punto de vista económico, la utilización de insumos, entre los que se destacan los fertilizantes, los sistemas de producción asociados a la papa y las prácticas de cultivo, han llevado a que en Colombia se presente un problema de incompatibilidad entre la utilización de fertilizantes y la rentabilidad esperada, entre otras causas por:

- Alto costo de los fertilizantes de síntesis química e ineficiencia en el uso del análisis de suelo.
- Baja eficiencia de la planta para la absorción de nutrientes de la solución del suelo.
- Suelos andinos asociados a deficiencias nutricionales.
- Diferentes sistemas de producción y diferentes productores, dando origen a paquetes tecnológicos y resultados esperados diversos.
- Ecosistemas diversos.
- Estacionalidad marcada de los precios del producto final.
- Transferencia de tecnología no actualizada.
- Carencia de análisis económicos.

Necesidades de investigación

La siguiente es una matriz sugerida para encaminar la investigación en esta área durante los próximos años:

Investigación	Escenario de tiempo	Justificación	Impacto esperado
Evaluación agronómica y económica del análisis de suelo como herramienta de fertilización en sistemas de economía campesina	Mediano plazo Entre 3 y 5 años	? Poca implementación ? Repercusión en los costos y en la eficiencia de la fertilización	? Racionalidad ? Manejo del suelo ? Economía
Estudio de la relación entre los agroecosistemas paperos y los sistemas de producción del cultivo existentes desde el punto de vista de la nutrición	Mediano plazo Entre 3 y 5 años	? Vocación de los suelos ? Material de propagación ? Sistemas de producción ? Limitantes del cultivo ? Vocación de los lotes entre especies	? Caracterización agroecosistemas ? Eficiencia de la fertilización ? Vocación de la finca y del productor
Adopción, evaluación e implementación de un sistema de BPA en el cultivo de papa de acuerdo al mercado del producto	Largo plazo Entre 5 y 10 años	? Uso racional de insumos ? Normatividad ? Externalidades	? Medio ambiente y valor agregado ? Especialización de los productores ? Cadena productiva
Análisis económico del cultivo de papa con relación a la utilización de insumos	Largo plazo Entre 5 y 10 años	? Análisis de costos ? Alternativas ? Sistemas de producción	? Toma de decisiones ? Rentabilidad

Anexo 1

Cuadro resumen de la investigación en nutrición de papa que se viene llevando a cabo en la U.D.C.A.

Trabajo	Autores	Año	Objetivos	Resultados
Respuesta de la papa criolla a la aplicación de N y S en el departamento de Cundinamarca	Rodrigo Lora Ricardo Guerrero Riascos. U.D.C.A. Monómeros Colombo-Venezolanos	1999	? Determinar el efecto de cada una de las dosis de N y S sobre el rendimiento total del tubérculo ? Establecer la relación N/S adecuada	? 120 Kg·ha ⁻¹ de N ? 20 Kg·ha ⁻¹ de S
Efecto a la aplicación del grado fertilizante 12-34-12 sobre rendimiento y calidad de papa criolla en un Humic Pachif Dystrudept de Cundinamarca	Rodrigo Lora U.D.C.A	2002	? Establecer la dosis adecuada del grado 12-34-12, bajo las condiciones del suelo en estudio. ? Obtener la RBC	? 450 Kg·ha ⁻¹ del fertilizante para 19 ton·ha ⁻¹
Efecto de dosis y relaciones de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O sobre el rendimiento y la calidad en papa criolla	Rodrigo Lora Miltón Perez U.D.C.A	2003	? Evaluar el efecto sobre la calidad y rendimiento de las relaciones N, P ₂ O ₅ y K ₂ O bajo los grados 2:4:1, 1:3:1, 1:2:2 y 1:1:1 ? Realizar el análisis económico de las interacciones	? 13-26-6 (2:4:1) con dosis de 750 y 1000 Kg·ha ⁻¹ ? Análisis con base en funciones de producción
Respuesta de la papa criolla a fuentes y dosis de abono orgánico y a un fertilizante mineral	Rodrigo Lora Marco Cabezas U.D.C.A	2003	? Encontrar la dosis más adecuada de los diferentes abonos empleados. ? Realizar la correspondiente evaluación económica	? 750 Kg·ha ⁻¹ de 13:26:6 ? 3 Kg·ha ⁻¹ de gallinaza ? Análisis marginal
Efecto de la dosis y la fuente de N en el rendimiento y la calidad de papa para industria en la variedad Diacol Capiro	Rodrigo Lora Héctor Villamil U.D.C.A. Congelagro	2004	? Determinar y evaluar la dosis y la fuente adecuada de dos fertilizantes nitrogenados en rendimiento y calidad ? Evaluar económicamente la RBC en la dosis del N	? Nitrato de amonio a dosis de 300 Kg·ha ⁻¹ de N
Aplicación de diferentes dosis de P y efecto en la calidad y el rendimiento de la papa R 12 negra	Rodrigo Lora Héctor Villamil U.D.C.A. Congelagro	2004	? Determinar la dosis óptima de P aplicada al suelo en forma de P ₂ O ₅ que permita alcanzar el máximo rendimiento en R 12 negra ? Establecer la RBC	? 420-700 Kg·ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ? RBC: 280 Kg·ha ⁻¹ de P ₂ O ₅
Comportamiento de la papa criolla a la aplicación de elementos menores en suelos de la serie Bermeo	Rodrigo Lora Imelda Montañez U.D.C.A.	2004	? Determinar el efecto en rendimiento total a la aplicación de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo. ? Realizar Análisis Marginal	? Efecto significativo de los tratamientos con B y Zn sobre las variables rendimiento y calidad ? Mejor RBC con B
Factibilidad económica y financiera de un cultivo de papa criolla con aplicaciones de N, P, K en el municipio de Cogua, Cundinamarca	Fernando Colorado U.D.C.A.	2001	? Establecer una estructura de costos que relacione Factor-Producto ? Establecer Funciones de Producción y de Ingresos ? Evaluar la Rentabilidad	? Técnicas de análisis de precios y uso de estados financieros ? Construcción de funciones polinómicas ? Realización de un Análisis Integral económico

Estado del arte en la investigación

En Colombia, en las zonas frías de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Caldas y Norte de Santander, la papa es uno de los cultivos más importantes, no solo por el área sembrada sino por los aspectos socio-económicos articulados al mismo. La mayoría de los suelos cultivados con esta especie vegetal son derivados de cenizas volcánicas, caracterizados por buenas propiedades físicas: ácidos, ricos en materia orgánica, medio a bajo contenido de fósforo, bases intercambiables y boro. Igualmente es notable la elevada capacidad de fijación de aniones como fosfatos, boratos y molibdatos principalmente (Cuchimaque y Sierra, 1998; Barrera, 1998; Páez y Guzmán, 2002).

Por otra parte, las necesidades de fertilización son elevadas, dependiendo principalmente de la altitud y la especie (*Solanum tuberosum* o *Solanum phureja*). En general, las cantidades aplicadas son del orden de 750 a 2.000 Kg ha⁻¹ de los grados con relaciones 1:3:1 ó 2:4:1 principalmente (García y Pantoja, 1998; Barrera, 1998; Rodríguez, 2002; Muñoz y Rojas, 2003). Es importante anotar que, del total de fósforo aplicado a al cultivo, solamente se absorbe cerca del 30%, debido posiblemente a un sistema radicular poco desarrollado.

La residualidad de la fertilización se interpreta como la prolongación de su efecto al cultivo o cultivos subsiguientes al que se le practicó el abonamiento. La solubilidad inherente del producto y la cantidad aplicada del mismo pueden influir en la magnitud de este efecto. En forma general, una mayor velocidad está asociada con una baja residualidad, en tanto que una lenta disolución, como es el caso de rocas fosfóricas y escorias Thomas, suelen exhibir un adecuado efecto residual, al punto de que, con frecuencia, su acción benéfica se expresa con mayor incidencia en el cultivo que sigue al que recibió la fertilización (Guerrero, 1994; Páez y Guzmán, 2002; Gómez y Pérez 1999).

El efecto residual de los nutrimentos aplicados como fertilizantes tiene dos aspectos: (1) la transformación en el suelo del nutrimento aplicado y (2) la disponibilidad del nutrimento fijado o transformado por cosechas sucesivas. Por tanto, es necesario tomar en cuenta las interacciones del medio. Gran parte del nitrógeno aplicado como fertilizante se pierde rápidamente por lixiviación, volatilización y denitrificación. Por su parte, el efecto residual del potasio está relacionado casi exclusivamente con las transformaciones que este elemento sufre en el suelo.

El fósforo es el elemento que mayor interés presenta desde el punto de vista de su efecto residual debido a que el elemento, dependiendo del suelo, puede ser rápidamente fijado en virtud de la formación de compuestos de la variscita (AlPO₄·2H₂O) y estrengita (FePO₄·2H₂O) (Bohn, 2001). La fijación de fósforo en andisoles no solo es debida a las superficies activas de la alofana y la imogolita, en donde hay procesos de quemiaadsorción, desplazamiento de silicio estructural y precipitación, sino que se ha reconocido la importancia de los complejos humus-aluminio en estos suelos (Espinosa, 1998).

¹ Ingeniero Químico. Profesor Investigador. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. 2005. rloras@udca.edu.co

Para la papa el efecto residual de la fertilización es muy bajo para los cultivos subsiguientes de este cultivo. En andisoles del Ecuador en *Solanum tuberosum* el efecto residual del fósforo es bajo, tal como aparece en la Tabla 1, debido posiblemente a la fijación del elemento, indicando la necesidad de aplicar el nutrimento para cada ciclo del cultivo (Espinoza, 1998). Por su parte, en la Tabla 2 aparece el efecto residual de fuentes y dosis de fósforo aplicado al primer ciclo para papa criolla, donde en el segundo ciclo el rendimiento se redujo considerablemente (Páez y Guzmán, 2002). El suelo era derivado de cenizas volcánicas y clasificado taxonómicamente como Pachic Haplustand.

Tabla 1. Efecto residual de fósforo en el rendimiento de papa y la relación en el contenido de fósforo según el análisis de un Udand de la Sierra Alta de Ecuador. (Espinoza, 1998)

Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3		Nivel de P* (ppm)
P ₂ O ₅ (Kg/ha ⁻¹)	Rendimiento (ton/ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (Kg/ha ⁻¹)	Rendimiento (ton/ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (Kg/ha ⁻¹)	Rendimiento (ton/ha ⁻¹)	
0		0	6.04	0	6.37	28
0	3.09	0	5.9	300	32.39	41
0		300	39.34	300	31.19	46
150		0	9.9	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	7.9	27
300	27.6	300	36.54	0	12.44	38
300		300	39.86	300	32.63	64
450		0	18.84	0	13.21	34
450	27.273	450	42.55	0	24.09	59
450		450	45.12	450	28.28	89

Tabla 2. Efecto residual del fósforo y rendimiento total en papa criolla en un andisol de Cundinamarca (Páez y Guzmán, 2003). Taxonomía del suelo: Pachic Haplustand.

Tratamiento P ₂ O ₅ (Kg/ha ⁻¹)	Ciclo uno (ton/ha ⁻¹)*	Ciclo dos (ton/ha ⁻¹)*	Efecto Residual (%)	Fósforo final (ppm)
100 (R.P.A.)	13.7 d	3.4 a	28	26
200 (R.P.A.)	15.2 dcb	4.2 a	28	15
300 (R.P.A.)	16.1 dcb	4.3 a	26	14
400 (R.P.A.)	17.0 dcb	5.5 a	32	7
Promedio	15.5 -A	4.4 -B	27.8	-16
100 (R.N.)	6.8 f	3.2 a	47	37
200 (R.N.)	7.0 f	3.7 a	52	14
300 (R.N.)	7.6 f	4.2 a	54	19
400 (R.N.)	8.3 f	5.8 b	70	30
Promedio	7.4 -A	4.2 -B	55.6	-25
100 (R.D.F.)	13.5 ed	2.8 ab	20	19
200 (R.D.F.)	13.5 ed	4.3 a	31	19
300 (R.D.F.)	15.0 dc	4.6 a	31	8
400 (R.D.F.)	16.8 dcb	6.1 b	36	14
Promedio	15.0 A	4.1 -B	30	-15
100 (S.T.)	15.8 dcb	4.6 a	29	20
200 (S.T.)	19.3 cba	4.8 a	25	15
300 (S.T.)	20.3 ba	4.6 a	22	26
400 (S.T.)	23.2 a	7.0 a	30	37
Promedio	19.7 -A	5.3 -B	27	-25
0	7.7 f	3.20 a	-	20

Contenido inicial de P: 4 ppm

*Cantidades en las mismas letras no difieren estadísticamente (Tukey <5%).

Igualmente en un suelo clasificado como Pachic Haplustand localizado en el municipio de Subachoque se determinó para papa criolla que, para el segundo ciclo, el efecto de dosis variables de fósforo y gallinaza el rendimiento se disminuyó considerablemente (Gómez y Pérez, 1999). En el municipio de Pamplona, Norte de Santander, en suelos derivados de cenizas volcánicas, se evaluó en la variedad ICA-Guativa el efecto de fuentes y dosis de fósforo durante tres ciclos, siendo el nutrimento aplicado solamente al primer ciclo, y se encontró disminución del rendimiento, especialmente en el tercer ciclo.

Finalmente, se ha evaluado el efecto residual en otras especies vegetales. Los resultados han mostrado buen efecto con esta práctica tal como aparece en la Tabla 3, en donde el fertilizante aplicado a la papa sirvió posteriormente para maíz y frijol. Esta práctica ha sido empleada, aun cuando no muy bien evaluada, por agricultores cultivadores de papa en algunas zonas del país. Para programas de fertilización y efectos residuales es necesario conocer el estado de fertilidad del suelo (Lora, 2003).

Tabla 3. Efecto residual del fósforo aplicado únicamente a la papa en relevo con maíz y frijol voluble en un Andisol del Oriente Antioqueño (adaptado de Muñoz, R.)

P ₂ O ₅ (Kg/ha ⁻¹)	Papa R-12 (Kg/ha ⁻¹)*		Maíz (Kg/ha ⁻¹)*		Frijol (Kg/ha ⁻¹)*	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
0	5000 A	3000 A	2100 A	1800 A	300 A	150 A
300	14000 B	6000 B	4900 B	4000 B	715 B	650 B
550	20000 C	7000 B	5000 B	4500 C	1050 C	850 C
Promedio	13000 a	5300 b	4000 a	3433 b	688 a	550 a

*Cantidades con las mismas letras no difieren estadísticamente (Tukey <5%).

Necesidades de investigación

Con base en la información presentada se recomiendan los siguientes tópicos de investigación:

1. Micorización en papa y su efecto en cultivos siguientes de papa y otros como cereales, leguminosas y pastos.
2. Evaluación de la reducción de la fijación de fósforo y boro sobre el efecto residual en papa y otros cultivos.
3. Rotaciones: papa-maíz-frijol-papa con fertilización fosfórica, potasio y nitrógeno.
4. Evaluación del efecto residual de elementos menores aplicados a papa, en varios cultivos incluyendo papa.
5. Evaluar el efecto residual de la fertilización aplicada a papa en papa y otros cultivos bajo diferentes condiciones agroecológicas.

Bibliografía

- Bohn, H.; McNeal, B. y O'Conor, G. 2001. Soil Chemistry, 3th Ed. New York. 307 p.
- Barrera, L. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en Cundinamarca y Boyacá. En: Fertilización de cultivos de clima frío. Ed. Ricardo Guerrero. Monómeros. Bogotá. p. 63-83.
- Chuchimaque, R. y Sierra, F. 1998. Evaluación de materiales fosfóricos parcialmente acidulados como complemento a la fertilización tradicional en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* variedad ICA morita) en Ventaquemada, Boyacá. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. UPTC. Tunja. p. 24-56.

- Espinosa, J. 1998. Fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas y fertilización fosfórica del cultivo de la papa. *En: Fertilización de cultivos de clima frío*. Ed. Ricardo Guerrero. Monómeros. Bogotá. p. 103-111.
- García, B. y Pantoja, C. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en el departamento de Nariño. *En: Fertilización de cultivos de clima frío*. Ed. Ricardo Guerrero. Monómeros. Bogotá. p. 23-41.
- Gómez, P. y Pérez, O. 1999. Efecto residual de la fertilización con fósforo y gallinaza, y fertilización con potasio en papa criolla en suelos derivados de cenizas volcánicas. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. U.D.C.A. Bogotá. p. 30-32.
- Guerrero, G. 1994. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. *En: Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y su control*. Tercera edición. SCCS. Bogotá. p.259-268.
- Lora, R. 2003. Las propiedades químicas del suelo y su fertilidad. *En: Manejo Integral de la fertilidad del suelo*. SCCS. Bogotá. p. 31-43.
- Muñoz, L. y Rojas, D. 2003. Efecto de dosis y relaciones N, P₂O₅, K₂O sobre el rendimiento y calidad en papa criolla. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. U.D.C.A. Bogotá. 108 p.
- Páez, D. y Guzmán, M. 2002. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) en calidad y rendimiento a fuentes y dosis de fósforo en Cundinamarca. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. U.D.C.A. Bogotá. 138 p.
- Rodríguez, F. 2002. Efecto de la aplicación del grado 12-34-12 sobre rendimiento y calidad de papa criolla *Solanum phureja* en un Humic Dystrudepts de Cundinamarca. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. U.D.C.A. Bogotá. 87 p.

Introducción

La fertilización constituye una de las prácticas más eficientes para asegurar a la planta la posibilidad de expresar su potencial genético, al poner a disposición de los cultivos las cantidades adecuadas de aquellos elementos esenciales, de tal forma que las plantas puedan realizar sus funciones fisiológicas importantes en la toma, transformación y producción de alimentos (Gómez, 2003).

El análisis de suelos es parte importante de la evaluación química de la fertilidad de suelos, cuya función es caracterizar el estado y disponibilidad de nutrientes. Esta herramienta de diagnóstico se emplea para la toma de decisiones en el manejo racional y eficiente de la fertilidad de los suelos si se estudia de forma integral, más aún cuando se trabaja con plantas que, como la papa, son de gran exigencia nutricional (500 a 600 Kg·ha⁻¹ de nutrientes en todo el ciclo de cosecha) y que se caracterizan por tener una baja tasa de eficiencia en la toma de nutrientes.

El diagnóstico químico de la fertilidad de suelo, para que sea adecuado y confiable, debe apoyarse en dos aspectos fundamentales (Guerrero, 1984):

- En el uso de soluciones extractoras de la fracción disponible adecuadas para los diferentes grupos de suelos por lo menos a nivel de suborden.
- En la utilización de niveles críticos (altos, medios y bajos) confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los grupos de suelos y según los cultivos.

La respuesta del cultivo de papa a la fertilización en suelos se optimiza con el estudio de niveles críticos de elementos, calibrados por tipo de suelos y variedades, usados como un factor clave para interpretar los resultados del análisis con miras a obtener recomendaciones acertadas y evitar pérdidas de nutrientes.

El análisis de suelos permite efectuar un monitoreo y seguimiento del estado y variaciones de fertilidad en áreas de suelos donde se establecerán cultivos o en los ya establecidos, de tal manera que el técnico y agricultor tengan una herramienta de diagnóstico e interpretación para proyectar los planes de fertilización en busca de optimizar los costos y producción de los cultivos bajo el concepto de agricultura específica y sostenible.

Identificación del problema

El análisis de suelos ha sido considerado como una herramienta esporádica en la evaluación de la fertilidad del cultivo de papa, esto implica que el agricultor y el técnico no lo incluyen regularmente dentro de la proyección del cultivo. De esta forma, no se tiene un historial o registros del estado nutricional, respuestas agronómicas de lotes con variaciones en rendimiento a nivel de la finca que sirvan para la toma de decisiones acertadas al establecer planes de fertilización.

En muchos casos se convierte en la única herramienta de decisión para recomendación de fertilizantes sin integrar otros medios de diagnóstico (análisis foliar, análisis visuales de síntomas

¹ Ing. Agr. Candidato a Magister Scientiae en Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Director de Investigación y Desarrollo Microfertisa S.A. migomez@microfertisa.com.co

de deficiencia, registros de cosecha), ni considerar factores relacionados con la disponibilidad de elementos a nivel de suelo y de manejo agronómico del cultivo.

Por otro lado se vienen cometiendo errores en el muestreo con respecto a la época y toma de la muestra. En primer lugar se realiza sin asumir el manejo de enmiendas y, en cuanto a la toma de la muestra, no se tienen en cuenta las variaciones presentes en el suelo (relieve, color, textura, manejo del cultivo) y los cuidados en la manipulación de las muestras.

En muchos casos no correlacionan las respuestas agronómicas del cultivo de papa frente a los criterios de interpretación de análisis actuales. No existe una calibración consistente de análisis de suelos: muchas de las metodologías de extracción no fueron homologadas y se estudiaron en suelos con una realidad química y mineralógica diferente a la que existe en el país. Igualmente, muchos de estos suelos fueron calibrados en áreas no representativas de los suelos agrícolas actuales, y no ha sido un proceso continuo con demostraciones en invernadero y campo.

Los problemas en la calibración de análisis están relacionados específicamente con los criterios de selección de las soluciones extractoras, concierne a las condiciones de disponibilidad del elemento en el suelo, a la relación con la extracción del cultivo de papa y a criterios de interpretación de niveles críticos que determinen eficientemente la verdadera respuesta agronómica.

Se ha comprobado que desbalances nutricionales con NPK, afectan directamente la calidad y expresión del potencial genético del cultivo de la papa en diferentes zonas productoras del país (Cundinamarca, Boyacá y Nariño). Los elementos relacionados con estos desordenes son principalmente elementos secundarios Mg, S y Ca y elementos menores como B, Mn, Zn y Cu, que generalmente aparecen deficientes, debido a que no se aplican apropiadamente en los planes de fertilización.

Con las interpretaciones deducibles del análisis de elementos de manera individual se incurre en errores de interpretación porque no se tienen presentes las relaciones iónicas, que determinan la mayor disposición y eficiencia de absorción del nutriente con un manejo oportuno del fertilizante.

Por lo anterior, en el caso de los cationes intercambiables, además de las concentraciones de elementos reportados del análisis, se debe tener en cuenta en el diagnóstico la saturación individual relacionada con la capacidad de intercambio. Este concepto, sin duda, integra las propiedades de intercambio con la especificidad y concentración de los cationes, factores generalmente regulados por el balance de elementos y equilibrio iónico.

Los fertilizantes en el cultivo de papa representan entre un 25 a 30% del costo económico total del cultivo; el uso excesivo de los fertilizantes sin una evaluación de la fertilidad adecuada repercuten directamente en el aumento de los costos de producción e impactos ambientales por eutrofización o toxicidades. Para el agricultor, los nutrientes perdidos significan dinero desperdiciado.

Marco de referencia y estado de arte

La evaluación de la fertilidad del suelo requiere un enfoque unificado que implica una serie de pasos (Nelson, 1999). Los resultados pueden ser exitosos solamente si la evaluación es considerada como un proceso; los pasos de este proceso se puede resumir en el diagnóstico de problemas nutricionales, interpretación de la dinámica de elementos y la recomendación de fertilizantes. En este sentido, el análisis de suelos juega un papel fundamental para asistir en el manejo de la fertilidad para cultivos como la papa.

La principal ventaja del análisis de suelos es determinar el estado de los nutrientes del suelo antes de la siembra del cultivo. El objetivo de un análisis de suelos es obtener un valor que

ayude a estimar la cantidad de nutrientes necesarios para suplementar la provisión natural del suelo. Para el agricultor, el objetivo es mantener los niveles de nutrimentos necesarios para sostener la productividad y rentabilidad; esto significa que los nutrientes no pueden ser un factor limitante en ningún estado, desde la emergencia de las plantas hasta la madurez (Havlin *et al.*, 1999).

El análisis de suelos es una herramienta que integra tres componentes importantes: toma de muestras, análisis de laboratorio e interpretaciones basadas en correlación de campo (Figura 1), importantes para evaluar el grado de deficiencia y disponibilidad de los nutrimentos y determinar las cantidades de fertilizantes que se deben aplicar (Kidder y Espinoza, 2002).

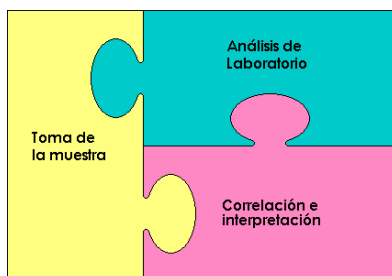


Figura 1. Elementos que integra un Análisis de suelos (Kidder y Espinoza, 2002)

Los resultados no son la parte más importante del análisis. En realidad, se tendrá una idea del potencial nutritivo del suelo cuando todos los elementos del análisis sean incorporados. A continuación se explica y analiza la implicación de cada uno de estos componentes en el manejo agronómico del cultivo de papa y se exponen avances al respecto.

Muestreo de suelos para análisis

Esta etapa requiere habilidad para correlacionar los rasgos indicadores observados en el campo en la etapa de muestreo con los resultados analíticos y poder así llegar a un diagnóstico acertado de la fenomenología físico-química del suelo y de su posible efecto sobre la nutrición de las plantas (García, 2003).

Es la parte en la que las fallas en el análisis de suelos son más probables (Adepetu *et al.*, 2000). En este caso los errores se presentan porque no se tienen en cuenta características asociadas a la pedogénesis del suelo y prácticas del cultivo.

Los suelos cultivados en papa en el país presentan distintas variaciones porque se ubican en diversos paisajes, predominando el montañoso y de ladera; existe heterogeneidad en las clases texturales de suelos (francos a arcillosos), y en los minerales constitutivos (amorfos y cristalinos) que se refleja en cambios de color. También, es posible la ocurrencia de procesos dominantes como andolización, erosión, lixiviación, fijación, acidificación y, en menor grado, salinización y oxidoreducción (Gómez, 2004).

La muestra de suelo a nivel de predio debe ser representativa y específica del área por zonas de manejo, cada muestra no debe representar más de 5 hectáreas y se deben realizar mínimo 20 submuestreos de manera aleatorizada evitando mezclar diferentes tipos de suelos (Stark *et al.*, 2004). Si en un campo alguna área del suelo parece diferente (color, textura) o si el crecimiento cultivo es significativamente diferente del resto, se debe tomar una muestra

separada de dicha área. Se debe tener en cuenta también el tratamiento agrícola de los últimos años (enmiendas orgánicas, calcáreas y fertilizantes).

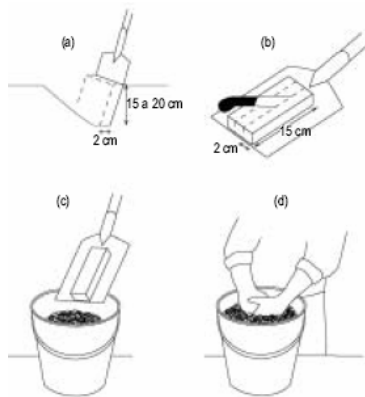


Figura 2. Toma de Muestra de suelo (FAO, 2002)

Es necesario dividir la finca en áreas que contemplen estas variaciones para coleccionar las muestras. La gente no siempre es cuidadosa en tener en cuenta estos cambios para la toma de las muestras; así, es común encontrar que las personas encargadas de hacerlo no tienen ninguna capacitación ni reciben instrucciones adecuadas para ello. De esta forma, un análisis de suelo no puede ser mejor que la muestra analizada.

Para el cultivo de papa se debe tomar la muestra con un mes de anterioridad, o después de la cosecha, de acuerdo a una planeación y prever así el manejo de enmiendas y labores físicas. La muestra se realiza a una profundidad entre 15 a 20 cm, con implementos de toma y empaque adecuados como se ilustra en la Figura 2 (FAO, 2002).

Análisis químicos de laboratorio

El método químico realizado en la caracterización de nutrientes en el laboratorio extrae y mide la cantidad de elementos disponibles para los cultivos de una pequeña muestra representativa de suelo (Adepetu *et al.*, 2000).

Tabla 1. Metodologías de análisis de suelos utilizadas en Colombia para la determinación de elementos disponibles.

Parámetros	Extracción	Nombre	Fuente
Fósforo (P) disponible	Bicarbonato de Sodio	Olsen	IGAC, 1990
	Método de Hunter	Olsen modificado	IGAC, 1990
	Fluoruro de Amonio, HCl 0,1N	Bray II modificado	ICA, 1989
	Fluoruro de Amonio, HCl (diluido)	Bray I	IGAC, 1990
Ca, Mg, K, Na	Método de Acetato de Amonio pH 7 1N.	Lindsay y Norvell	ICA, 1989 IGAC, 1990
Azufre (S)	Fosfato monocalcico	-	ICA, 1989
Boro (B)	Agua Caliente	-	IGAC, 1990
	Fosfato monobásico de calcio	-	ICA, 1989
		-	IGAC, 1990
Cu, Fe, Mn y Zn	Bicarbonato de Na y EDTA	Olsen modificado	IGAC, 1990
	Método de DTPA	-	ICA, 1989
Carbono orgánico	Solución de HCl y H ₂ SO ₄	Melich	IGAC, 1990
	Ácido sulfúrico y dicromato de potasio (titulación o calorimétrico)	Walkey Black	IGAC, 1990

Actualmente en el país se utilizan diversas metodologías como lo referencian distintos autores (ICA, 1989; IGAC, 1990; Zapata, 2003) resumidas en la Tabla 1. La mayoría no se encuentran calibradas ni estandarizadas a la respuesta específica del cultivo de papa, a excepción del método de Olsen modificado para P para Andisoles (Espinosa, 2004), y de Boro con fosfato monobásico de calcio (Lora, 1991), pero con mucha variabilidad en respuesta por las diferentes clases de suelos.

Consideraciones metodológicas relacionadas con la extracción de elementos en el suelo y los laboratorios.

Ha sido difícil desarrollar un análisis confiable de N en virtud a la naturaleza especialmente orgánica y a su dinámica en el suelo. Como resultado, no se acostumbra determinar la cantidad de N en los análisis de fertilidad del suelo. Además, su determinación se estima por la relación con el carbono orgánico del suelo.

Los reactivos usados para extraer las bases (Ca, Mg, K, Na) deben disturbar tan poco como sea posible la condición natural del suelo ya que se debe minimizar cualquier cambio en función de los componentes del suelo si se quiere tener determinaciones reales de la composición iónica. (Sposito, 1981; Eckert, 1987).

Para fines de diagnóstico de la fertilidad de suelos, la disponibilidad del Ca, Mg y K se determina extrayendo su fracción cambiante en una solución de sal neutra, el uso de esta solución ofrece un buen margen de seguridad y de eficiencia para el caso de suelos tropicales (Eckert, 1987; Zapata, 2003)

En la determinación de la CIC y las bases, es posible la interacción entre las soluciones usadas en cada una de las etapas (saturación, lavado, extracción), lo cual puede causar alteraciones en los resultados (ICA, 1989). En suelos tendientes a la neutralidad, pueden causar la dilución de Ca y Mg de las formas de carbonatos e yesos no disponibles (García, 2003), y en Inceptisoles y Andisoles, donde están ubicados principalmente los cultivos de papa, se puede sobreestimar esta medida por la carga variable que presentan estos suelos.

De acuerdo al ICA (1989), en general el P extraíble de suelos ácidos con soluciones ácidas se puede correlacionar con la respuesta de la fertilización fosfatada al extraer fosfatos de calcio, pero en suelos neutros o alcalinos la correlación no es adecuada porque no disuelve fosfatos de hierro y aluminio, por ello se deben utilizar soluciones alcalinas.

Para la determinación de S, investigaciones realizadas por Guerrero y Burbano (1979) en suelos de la Sabana de Bogotá, han determinado el nivel crítico entre 7-10 ppm de azufre disponible, presentado una adecuada correlación con el extractante fosfato de calcio; en este caso el anión fosfato desplaza fácilmente al fosfato adsorbido.

En la determinación de elementos menores existe mucha variabilidad en la relación de la extracción y respuesta en campo, con las metodologías de Olsen modificado y doble ácido. Por ello es necesario realizar ajustes para las condiciones de suelos cultivados en papa, especialmente para Zn, B y Mn que han mostrado deficiencias en algunas zonas del país (Gómez, 2004).

Los buenos laboratorios de análisis de suelos cuentan con personal capacitado que sabe como controlar la calidad del análisis y aseguran resultados confiables. En el país existe el Control Analítico de Laboratorios de Suelos (CAL), supervisada por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, cuyos laboratorios inscritos están regidos bajo metodologías de extracción y determinación estandarizada. Es importante tener precaución con laboratorios de análisis de suelos que no interpretan los resultados.

Calibración e interpretación de análisis

La calibración de análisis de suelos consiste en establecer correlaciones entre los datos de los laboratorios y las respuestas de los cultivos. Es el puente entre el laboratorio y el campo (Nelson, 1999). Este proceso se debe constatar a través de varios años por las experiencias realizadas en un trabajo continuo a medida que se dispone de información.

La calibración no es útil para determinar la cantidad de fertilizante a aplicar en un cultivo dado, solo indica si el contenido de un nutriente es deficiente o suficiente y pronostica la probabilidad de respuesta de la aplicación del nutriente (Corey, 1987; Zapata, 2003)

Una adecuada calibración debe considerar dos aspectos (Guerrero, 1984): el uso de soluciones extractoras adecuadas de la fracción disponible de los suelos y la utilización de niveles críticos confiables.

Selección de la solución extractora

El seleccionar cualquier solución extractora para un elemento dado se basa en la mayor o menor asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. Esta solución será apropiada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción del elemento; igualmente, cuando los valores bajos de extracción coincidan con una baja absorción del elemento por la planta. Si estos supuestos no se cumplen, la eficiencia de la solución será muy baja o nula (Bertsch, 1995, Guerrero, 1984). Se evalúa en términos de correlación estadística entre las concentraciones determinadas en el suelo bajo distintos extractantes y la asimilación del nutriente en la planta.

Los avances al respecto en el cultivo de papa se relacionan con el comportamiento del potasio en estudios que se iniciaron en el 2004 como parte de proyecto de tesis de la Universidad Nacional de Colombia realizado por Jiménez (2004) sobre la dinámica de este elemento en Andisoles e Inseptisoles en el altiplano Cundiboyacense, donde busca evaluar la relación entre las diferentes formas del K en el suelo, los índices de disponibilidad del potasio en el suelo, la producción y calidad de tubérculos.

Determinación de niveles críticos

La obtención de los niveles críticos se realiza para las metodologías de extracción que hayan tenido mejor correlación con la extracción de los nutrientes por parte de la planta. Para conducir estudios de calibración, según Nelson (1999), se requieren las siguientes consideraciones:

- Calibración de la solución extractora.
- Selección de lugares por unidades de suelos para tener un rango del contenido de nutriente desde bajo hasta alto, con continuidad en los niveles del nutriente.
- El rango donde debe haber la mayor cantidad de sitios es alrededor del punto crítico esperado.
- No se deben tener demasiados sitios con contenido alto de nutrientes.
- Experimentos replicados de respuesta de fertilizantes, preferiblemente en 20 o más sitios con uno o más nutrientes.
- En los sitios escogidos se establecen los estudios con los niveles de nutriente a calibrarse y en las parcelas individuales se mide el rendimiento y concentración del tejido foliar, parámetros útiles en la calibración.

Con el objetivo de separar suelos deficientes o suficientes en un nutriente dado se ha propuesto el llamado "nivel crítico". Concentraciones de un nutriente por debajo del nivel crítico implican deficiencia y alta probabilidad de aumentar el rendimiento con la aplicación de fertilizantes; por encima del nivel crítico hay suficiencia y baja probabilidad de obtener respuesta a la fertilización (Corey, 1987, Guerrero, 1984).

Interpretación y uso práctico de los análisis de suelos

Para la determinación e interpretación de niveles críticos se utilizan los modelos exponencial, logarítmico, cuadrático, Cate-Nelson, Incremento en rendimiento, superficie respuesta, continuos no paramétricos y mediante estimativos estadísticos de correlación y covarianza (Nelson, 1999).

Los niveles críticos permiten agrupar los suelos en categorías, dependiendo si el nivel de disponibilidad del nutrimento es alto, medio o bajo, pero la interpretación debe ir un poco más allá, en el sentido de relacionar esa clasificación con los conceptos de suficiencia y respuesta a la fertilización (Guerrero, 1984; León, 1994)

Muchos laboratorios clasifican el nivel de fertilidad del suelo como muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, basándose en los resultados de los análisis, pero hay que tener en cuenta que éstos son términos relativos al cultivo en cuestión y que, por ejemplo, lo que es alto para papa es bajo para maíz, lo que es bajo para un suelo arcilloso es alto para uno arenoso. Por lo que el agricultor debe conocer el significado de los resultados y su contexto (Ortega, 2000).

Algunos laboratorios han adoptado un índice de fertilidad expresado como un porcentaje sobre un rendimiento máximo. Esto constituye una primera aproximación entre el porcentaje sobre rendimientos obtenidos de experiencias de campo y los valores hallados en los análisis de suelo (Ortega, 2000).

Los índices de fertilidad señalan la respuesta de nutriente y se han definido algunos parámetros regionales para elementos secundarios y menores en suelos cultivados en papa de los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca (Figura 3), donde se demuestra alta probabilidad de respuesta en elementos como Mg, Mn y B; en una menor proporción Zn, S, Cu y Ca, y muy baja para Fe. Estos índices se ha determinado con investigaciones de respuesta a nivel de campo hechas por MICROFERTISA (Gómez, 2004) en papa de variedades Diacol Capiro y parda pastusa para Mg, S, B, Zn y Mn, y se corroboran con resultados obtenidos por CORPOICA (Barrera, 1998); UPTC (Castro, 1998) y MON@ MEROS (Guerrero *et al.*, 2000).

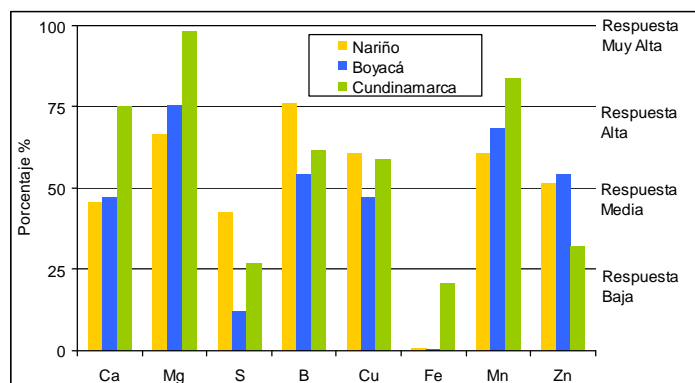


Figura 3. Distribución porcentual de la respuesta de aplicación de elementos secundarios y menores en el cultivo de papa para suelos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca (Gómez, 2004).

Otro efecto práctico del uso de análisis de suelos es utilizar las bases de datos y correlacionar con unidades geográficas y de suelo para evaluar patrones espaciales del suelo, determinando mapas de fertilidad, mediante SIG o estudios de suelos regionales. Una primera aproximación de la utilidad de la base de datos a nivel regional es la consecución de un mapa a escala 1:250.000 que ilustra la disponibilidad de elementos menores en zonas productoras de papa, desarrollado en marco de la investigación CORPOICA-CEVIPAPA (2002): *Proyecto de evaluación de abonos verdes, elementos menores, microbiología de suelos y abonos orgánicos en el cultivo de papa*.

Este estudio demuestra la probabilidad de una respuesta media a alta para elementos tales como B, Cu, Mn y Zn y una muy baja respuesta para Fe, resultados que contrastan con la tendencia representada en la Figura 3.

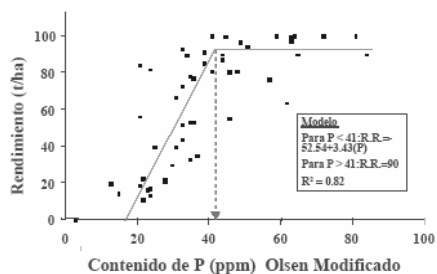


Figura 4. Determinación del nivel crítico de P y ajuste de datos de la respuesta de papa en Andisoles con el modelo discontinuo (Tomado de Espinosa, 2004).

En andisoles se han obtenido niveles críticos en papa para P disponible (Olsen modificado) , con una respuesta positiva de aplicación de este nutriente a valores menores de 40 ppm de acuerdo a la Figura 4.

En la Figura 5 se ajusta el nivel crítico de la relación Mg/K en la respuesta de papa variedad Diacol Capiro a la aplicación de magnesio para integrados a Andisoles (Andic Eutrudepts) en la Sabana de Bogotá (Gómez, 2004), donde se establece un rango bajo (< 7) con alta respuesta a Magnesio, medio (entre 7-10) y alto (>10) con baja respuesta a Mg y deficiencia de K. Al mismo tiempo se comprueba que la extracción con acetato de amonio para estos suelos correlaciona significativamente.

Las relaciones iónicas estimadas a través de la interpretación del análisis de suelos pueden explicar que el desequilibrio iónico a nivel edáfico limita la absorción de nutrientes y expresión del rendimiento genético de un cultivo.

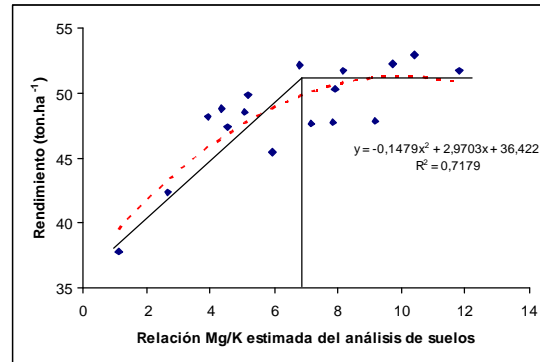


Figura 5. Determinación del nivel crítico de la relación Mg/K y ajuste de datos de la respuesta de Papa variedad Diacol Capiro a la aplicación de Mg en Andic Eutrudepts con el modelo discontinuo y cuadrático. (Gómez, 2004).

Otro efecto práctico de la interpretación es deducible a partir de la estimación por covariables y correlación para estimar variables indirectas (Nelson, 1999). Esta aplicación se observa en el caso de andisoles de Nariño cultivados en papa (Gómez, 2004), donde se ajusta la relación P/Zn con una relación óptima en el suelo de 10:1 a 12:1, partiendo del nivel crítico de 40 ppm de P, ya calibrado (Figura 6). Por encima de este rango en campo se identifican deficiencias severas de Zn a pesar de los contenidos medios presentados que comprueban la relación fisiológica antagonica de estos elementos (Loué, 1988). Lo anterior se explica por las aplicaciones excesivas tradicionales de P en las que incurren los agricultores cuando realizan la fertilización edáfica del cultivo.

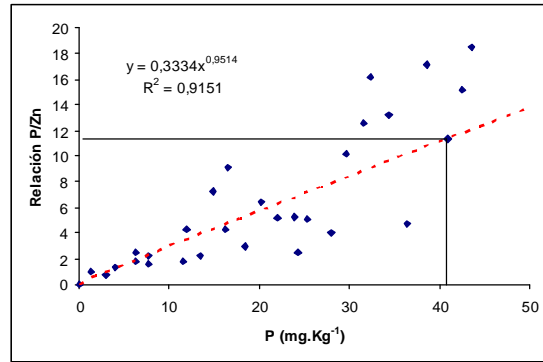


Figura 6. Estimación de la relación P/Zn a partir de la correlación de variables de análisis en andisoles. Departamento de Nariño (Gómez, 2004).

Necesidades de investigación

Linea de acción	Objetivos	Justificación
Importancia del análisis de suelos en planes de fertilización	<ul style="list-style-type: none"> ? Concientizar de la importancia práctica del análisis de suelos (agronómica, económica y ambiental) ? Incentivar el uso de análisis de suelos como herramienta integral de diagnóstico por parte del agricultor y técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> ? Desconocimiento del uso de herramientas de diagnóstico de fertilidad por parte del agricultor y técnicos ? Se incurre en desbalances nutricionales en la fertilización
Metodología de muestreo y monitoreo de análisis de suelos	<ul style="list-style-type: none"> ? Establecer técnicas de muestreo representativas ? Instruir sobre la metodología de muestreo ? Implementar registros históricos de producción y fertilización 	<ul style="list-style-type: none"> ? Errores en el muestreo de suelos ? No existe una evaluación registrada de la respuesta de fertilización para la toma de decisiones en el uso de fertilizantes
Selección de soluciones extractoras	<ul style="list-style-type: none"> ? Determinar la solución extractora que cuantifique la fracción disponible del elemento en el suelo ? Correlacionar la solución extractora con la demanda nutricional de la especie y variedad ? Estandarizar metodologías de extracción y determinación en laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> ? No existe relación entre la extracción química usada del elemento y la absorción por parte del cultivo ? Se utilizan diversas metodologías de análisis sin tener en cuenta criterios edafotécnicos aplicados a nuestro medio
Determinación de niveles críticos	<ul style="list-style-type: none"> ? Separar suelos deficientes o suficientes en un nutriente ? Determinar dosis óptimas de nutrientes ? Correlacionar resultados de análisis con variables respuesta en laboratorio y campo ? Establecer niveles críticos con respecto a la relación iónica de nutrientes y saturación de elementos en los suelos 	<ul style="list-style-type: none"> ? Existe variabilidad en la respuesta agronómica con los niveles actuales ? Se han validado indistintamente niveles hallados en otras condiciones de suelo, planta y ambiente ? Las últimas investigaciones en Colombia se remontan a las décadas de los 70s para algunos elementos y sin una calibración continua
Interpretación y recomendación de análisis de suelos	<ul style="list-style-type: none"> ? Ajustar modelos de interpretación y de correlación estadística ? Establecer índices de fertilidad (respuesta alta, media, baja) ? Optimizar la práctica de fertilización en el cultivo (dosis, época, fuente, balance) ? Estudiar la variabilidad espacial de la fertilidad en suelos cultivados en papa 	<ul style="list-style-type: none"> ? La evaluación de la fertilidad no se realiza de manera integral ? Se desconoce las respuestas y requerimientos de elementos secundarios y menores a nuestras condiciones ? Se hace interpretación individual de elementos sin tener en cuenta las interacciones

Bibliografía

- Espinosa, J. 2004. Dinámica del P en Andisoles. *En: Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Conferencia dictada Mayo 20 y 21. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá.* 10 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO y Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. 4ª ed. Roma. 77 p.
- García, A. 2003. Un sistema de interpretación del análisis de suelos basado en la concepción causa y efecto. SCCS. Palmira. 16 p.
- Gómez, M.I. 2003. Fertilización estratégica en el manejo eficiente de la variable nutricional de los cultivos. Seminario de Investigación. Curso Fertilidad de Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC. 41 p.
- Gómez, M.I. 2004. Evaluación química e investigación de la respuesta de elementos secundarios y menores en papa cultivados en suelos de Nariño, Cundinamarca y Boyacá. MICROFERTISA S.A . 100 p.
- Guerrero, R. y Burbano, H. 1979. Fracciones de azufre y niveles críticos de disponibilidad para la planta en suelos de los llanos orientales y la Sabana de Bogotá. p. 233-244. *En: Silva, M. 1979. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Revista Suelos Ecuatoriales 10(2). Bogotá.* 257 p.
- Guerrero, R. 1984. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. p. 141-199. *En: Silva, M. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de Suelos: diagnóstico y control. Segunda edición. Bogotá.* 418 p.
- Havlin, J.; Beaton, J.; Tisdale, S. y Nelson, W. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall, Upper Saddle River. 500 p.
- ICA. 1989. El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de Asistencia Técnica No. 47. Bogotá.
- Instituto Colombiano Agropecuario –IGAC–. 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. 5a Edición. Bogotá. 499 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario –IGAC–. 1992. Fertilización de Diversos Cultivos. Quinta Aproximación. Manual de asistencia técnica N° 25. Bogotá. 64 p.
- Jiménez, F. 2003. Calibración de análisis de suelos. Seminario de Investigación. Curso Fertilidad de Suelo. Maestría Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia. 29 p.
- Jiménez, F. 2004. Dinámica del potasio en suelos Andisoles e Inceptisoles dedicados al cultivo de papa en el altiplano Cundiboyacense. Proyecto de tesis para optar al título de Magister Scientiae en Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia. 32 p.
- Kidder, G. y Espinoza, L. 2002. Fertilidad de suelos y el uso de fertilizantes. Departamento de Suelos y Agua. Servicio de Extensión Cooperativa, Instituto de Ciencias Agrícolas y Alimentarias. Universidad de La Florida. Gainesville. 33 p.
- León, A. 1994. Evaluación de la Fertilidad del Suelo. *En: Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá.* p. 155-186.
- Lora, R. 1991. Análisis de suelos para microelementos. p. 215-226. *En: Silva, M. 1991. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Segunda edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá.* 323 p.
- Loue, A. 1988. Los microelementos en la agricultura. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 354 p.
- Nelson, L. 1999. Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes. Inpofos. Canadá. 66 p.

Ortega, J. La importancia del muestreo y la calibración en los análisis de suelos. *En:* www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/otros/articulo13.pdf

Sposito, G. 1981. The operational definition of the zero point of charge in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:292-297.

Stark J, Westerman D, Hopkins. 2004. Nutrient management guidelines for russet Burbank potatoes. University of Idaho. <http://info.ag.uidaho.edu>. College of Agricultural of life Sciences. Moscú. 11p.

Zapata, R. 2003. Extractantes químicos para evaluar la fertilidad del suelo y su calibración. *En:* Curso Teórico Practico Sobre Interpretación de Análisis de Suelos. Centro de Extensión y Oficina del Egresado de La facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín. p. 2-26.

Listado de asistentes

Nombre	Entidad	Teléfonos	Fax	Dirección electrónica
Alarcón Pedro Alfonso	Universidad de Cundinamarca	8735212 ext. 146		pedroalarcong@hotmail.com
Alvarado G. Alvaro E.	UPTC	8-7438328	8-7424321	aalvarado89@latinmail.com
Alvarado Luis Felipe	Corpanar – Pasto	2-7311545	2-7333061	semillasn@telecom.com.co
Arguello Montañez Gabriel	Independiente	8-7782703		gaarguello@yahoo.es
Arias Rojas Luis Gerardo	Copaboy	8-7433834	8-7449069	copaboy7@yahoo.es
Barreto R. Ricardo	ICA	2884800	2322031	rbarreto@andinet.com
Becerra José Fernando	Ecolagro Ltda.	8-7616071		ingeferbe@yahoo.com
Bendeck Myriam	AgriLab	3681499	3684654	agrilab@tutopia.com
Bonilla C. María Hersilia	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	2437919	2828173	producti@minagricultura.gov.co
Cabezas Gutiérrez Marco	UDCA	6684700 ext. 127	6761132	ingagro@udca.edu.co
Camargo Jaime	Consejo Reg. de la Papa de Ant.	311 2022687		jaimecamargo@yahoo.com
Casiera Posada Fanor	UPTC	8-7424321		fanor@gmx.net
Castro F. Hugo E.	UPTC	8-7422175-76	8-7424321	hcastrofranco@yahoo.com.mx
Colorado López Fernando	UDCA	6684700 ext. 127	6761132	fcolorad@udca.edu.co
Corchuelo R. Germán	Independiente	2698704		gercorro@hotmail.com
Del Valle Estrada Augusto	Fedepapa	2142989	2152600	fedepapa@sky.net.co
Flórez R. Víctor J.	Universidad Nacional de Colombia	3165010 ext. 19028		vjfllorez@unal.edu.co
Forigua Víctor Eduardo	Ecas – Fedepapa	6784061		vforigua@hotmail.com
Garzón Edna Margarita	Universidad Nacional de Colombia	4114292		edmargarzon@yahoo.com
Gómez Carvajal Nelson	Yara de Colombia Ltda.	8-7443030	8-7443030	nelson.gomez@yara.com
Gómez Clemencia	Corpoica	4227300 ext. 1394	4227373 ext. 1370	cgomez@corpoica.org.co
Gómez S. Manuel Iván	Microfertisa	4244990 ext. 113	4122100	migomez@microfertisa.com.co
González Pinzón Milthon	Fedepapa-Zipaquirá	1-8526226	1-8526226	miltongonzalez@latinmail.com
Guerrero J. Laureano	Universidad Nacional de Colombia	2717059		lguerreroj@unal.edu.co
Guerrero Riasco Ricardo	Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo	6472291		chautala@cable.net.co
Gutiérrez Restrepo Iván	CEVIPAPA	6293012 /13	5225620	direccion@cevipapa.org.co
Henao Toro Martha Cecilia	Universidad Nacional de Colombia	3165000 ext. 19097		mchenaoto@unal.edu.co
Herrera H. Carlos A.	Corpoica	4227300 ext. 1438	4227300 ext. 1180	herreracarlos@etb.net.co
Lago Castro Luis	Congelagro S.A.	7247700 ext. 207	7247700	mccainll@aolpremium.com
Lora Silva Rodrigo	UDCA	6520383		rodrigorasilva@yahoo.com
Medina Torres Amparo	Univ. Jorge Tadeo Lozano - CIAA	8650218 / 19 / 239		amparo.medina@utadeo.edu.co
Mendoza Fredy	Abocol S.A.	2882911		fmendoza@abocol.com
Moya P. Héctor J.	Sena	2153145		hector4748@hotmail.com
Murcia Gilberto	Corpoica	4227300 ext. 1213	4227300 ext. 1215	gmurcia@corpoica.org.co
Narváz Caicedo Damaris	Consejo Reg. de la Papa Nariño	7297774		danaca78@yahoo.com
Núñez L. Carlos E.	Universidad Nacional de Colombia	3165000 ext. 19078		cenuztezl@unal.edu.co
Ordóñez Castillo Eduardo	Fedepapa-Regional Nariño	315 5668286		
Ortega Mora Nohora Lucia	Yara de Colombia Ltda.	1-8572035	1-8572035	nohoraluaciaortega@yara.com
Pineda Ramón	Secretaría de Agricultura de Cundinamarca	4261070		rpineda@cundinamarca.gov.co
Porras Rodríguez Pedro David	Fedepapa	2142989	2152600	fedepapatecnico@yahoo.com
Ramírez César A.	ICA	4227388	4227366	cesar_ramirez@colombia.com

Nombre	Entidad	Teléfonos	Fax	Dirección electrónica
Roa Rodríguez Carolina	Universidad Nacional Australiana	6274813	26151507	carolina.roa@anu.edu.au
Rodríguez Luis Ernesto	Universidad Nacional de Colombia	3242539	3167146	lerodriguezmo@unal.edu.co
Rojas Leyla Amparo	Corpoica	4227300 ext. 1406	4227300 ext. 1370	leyla_amparo_rojas@hotmail.com
Ruiz Eraso Hugo	Universidad de Nariño	2-7313315	2-7313315	hugoruize@yahoo.com
Saavedra Rodríguez Jorge A.	Congelagro S.A.	7247700	7251188	judasa_us@yahoo.com
Saboyá López Sandra E.	Ecas – Fedepapa	2147788	1-8565523	sesrom@latinmail.com
Sánchez Ortega Gloria Patricia	Colinagro	6194300 ext. 231	6194355	gpsanchezo@etb.net.co
Santa Palomo Alberto	Consejo Reg. de la Papa C/marca	4261070	4261075	asanta@cundinamarca.gov.co
Soler B. Nelson O.	Ecolagro Ltda.	8-7604595	8-7601281	nelsonsoler2004@yahoo.com
Torres Bazurto Jaime	Universidad Nacional de Colombia	3165005 ext. 19065	3165000 ext. 19061	jttoresb@unal.edu.co
Uribe Vélez Daniel	Universidad Nacional de Colombia – IBUN	3165000 ext. 16975	3165415	duribev@unal.edu.co
Valero Muñoz Joaquín Anibal	Ecas – Fedepapa	6177863	8565440	anibal599@yahoo.com.mx
Villamil M. Héctor J.	Congelagro S.A.	7247700 ext.629	7112588	hvillamil@mccain.com.co
Villaneda Vivas Edgar	Corpoica	4227300 ext. 1404		evillaneda@corpoica.org.co
Villarreal M. Héctor J.	Consejo Nacional de la Papa	3686350 ext. 102	3686209	consepapa@cevipapa.org.co
Viteri Silvio E.	UPTC	6305641		sivioedgar@hotmail.com