

44476

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.

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. McIague
Boro	1923	K. Warington
Zinc	1926	A.L. Sommers, C.B. Lipman
Cobre	1931	C.B. Lipman y G. Mackinney
Molibdeno	1938	D.I. Aron 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 (Aron & 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 remplazado 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

30

CE PAPA

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	
		$\mu\text{mol/g}^1$	mg/Kg ¹	%	Promedio	Máximo	Óptimo	
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.

¹ En peso seco

¹ 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 periodo 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 P₂O₅/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.

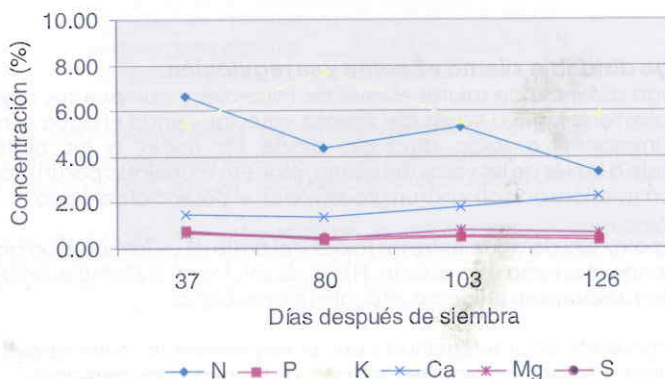


Figura 1. Comportamiento de macronutrientes en el follaje de la papa, cv D.Capiro. Congelagro S.A.

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

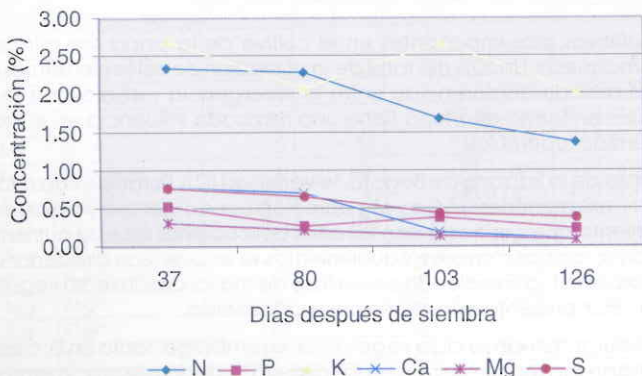


Figura 2. Comportamiento de macro nutrientes en el sistema radical de la papa, cv D. Capiro. Congelagro S.A.

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 tonha⁻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 ⁻	***	***	***		
Moviliización 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

36

CEPAPA

- 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 Dystrocept 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.