



IV. FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE LA PAPA

Juan Inostroza F.
INIA Carillanca

Los principios de la nutrición mineral de los cultivos fueron establecidos por el químico alemán Justus von Liebig a mediados del siglo XIX, quien definió el fenómeno conocido como la «Ley del mínimo», según el cual el grado de crecimiento de la planta está regulado por el factor que está presente en menor cantidad. De acuerdo a la interpretación de la ley del mínimo, los rendimientos estaban en relación directa al factor limitante, hasta el punto en que este se hacía favorable y otro factor se manifestaba como limitante. Los principios enunciados por Liebig, así como los trabajos proseguidos en la misma época por Boussingault, en Francia, y por J.B. Lawes en Inglaterra, tuvieron una influencia considerable sobre el desarrollo de la agricultura moderna.

Posteriormente se concluyó que existía un balance armónico entre los diferentes nutrientes o factores limitantes y que el mayor aumento de rendimiento solo se obtenía mejorando todos los factores que lo limitaban seriamente. En este caso era necesario trabajar con dos o más factores (nutrientes) para lograr rendimientos máximos.

4.1 CONCEPTO DE FERTILIDAD Y PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS

El suelo es el medio en el cual los cultivos crecen y se desarrollan, siendo vital su fertilidad desde el punto de vista productivo. Sin embargo, factores como mal drenaje, insectos,

sequía, enfermedades y otros pueden limitar la producción de los cultivos, aún cuando el suelo tenga una fertilidad adecuada.

Para comprender la productividad del suelo, se debe reconocer las relaciones suelo-planta existente. Algunos de los factores externos que controlan el crecimiento de las plantas son: aire, calor (temperatura), luz, soporte mecánico, nutrientes y agua. La planta depende del suelo en forma total o parcial para el suministro normal de éstos, con excepción de la luz. Cada uno de ellos afecta en forma directa el crecimiento de la planta y además se relacionan entre sí. Tanto el agua como el aire ocupan los espacios porosos del suelo, por lo cual aquellos factores que afecten las relaciones hídricas necesariamente influenciarán el aire del suelo. A su vez los cambios en la humedad también afectarán la temperatura de éste. La disponibilidad de los nutrientes está afectada por el balance existente entre el agua y suelo y la temperatura de éste. El crecimiento radicular también es influenciado por la temperatura, aire y agua del suelo.

4.2 NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS

Se conocen 16 elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas, divididos en dos grupos principales; no minerales y minerales.

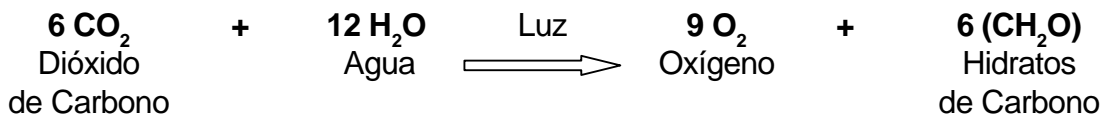




4.2.1 NUTRIENTES NO MINERALES.

Corresponden a carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Estos nutrientes se encuentran

en la atmósfera y en el agua y son utilizados en la fotosíntesis en la siguiente forma:



Los productos de la fotosíntesis son los responsables de la mayor parte del aumento en crecimiento de las plantas. Cantidades insuficiente de dióxido de carbono, agua o luz reducen el crecimiento de ellos. La cantidad de agua utilizada en la fotosíntesis es tan pequeña que las plantas mostrarán primero síntomas de carencia de agua antes de que dicho elemento sea lo suficientemente escaso como para afectar la tasa de la fotosíntesis.

Micronutrientes

Boro	(B)	Molibdeno	(Mo)
Cloro	(Cl)	Zinc	(Zn)
Cobre	(Cu)	Hierro	(Fe)
Manganeso	(Mn)		

La carencia de nutrientes secundarios y micronutrientes es menos frecuente, pues las plantas los utilizan en menor cantidad. Sin embargo, éstos son **tan importantes** como los primarios para una fertilización adecuada de ellas.

4.2.2 NUTRIENTES MINERALES.

Corresponden a 13 elementos que provienen del suelo y se dividen en tres grupos: primarios, secundarios y micronutrientes.

El conocimiento de la composición mineral de las plantas permite determinar la extracción por las cosechas, lo que relacionado con la información del análisis químico del suelo permite efectuar fertilizaciones conducentes a aumentar la productividad de éstas.

Nutrientes primarios

Nitrógeno (N) Fósforo (P) Potasio (K)

Por lo general son los primeros en carecer en el suelo puesto que las plantas lo utilizan en cantidades relativamente altas.

En el cuadro 1 es posible apreciar las cantidades de minerales absorbidos para un rendimiento medio de distintos cultivos en una misma condición de suelo.

Nutrientes secundarios

Calcio (Ca)
 Magnesio (Mg)
 Azufre (S)





Cuadro 1. Elementos extraídos por las cosechas (kg/ha)

Nutriente	Trigo 35 qq/m	Avena 30 qq/m	Centeno 30 qq/m	Arroz 4 ton	Maíz grano 50 qq/m	Maíz Forrajero 50 ton.
N	95	85	95	55	110	110
P ₂ O ₅	45	40	40	35	45	50
SO ₃	30	25	25	15	30	50
K ₂ O	120	110	100	50	90	120
CaO	35	30	30	35	25	45
MgO	15	10	10	18	25	

	Papa 30 ton	Remolacha azucarera 40 ton.	Tomate 20 ton	Espárragos 7 ton	Raps 30 qq/m	Alfalfa 70 qq/m heno
N	130	180	100	65	140	180
P ₂ O ₅	55	70	35	15	70	70
SO ₃	20	35	25	20	170	35
K ₂ O	250	250	200	65	230	250
CaO	125	60	93	25	200	60
MgO	25		15	55	20	

Fuente: Demolon, 1966.

4.3 ROL DE LOS NUTRIENTES EN LA PLANTA

Las cifras antes señaladas muestran un orden de magnitud entre las diferentes variaciones que pueden mostrar los cultivos. Es necesario señalar que desde el punto de vista cuantitativo, las exigencias nutricionales de los cultivos, se relacionan con los rendimientos a alcanzar. Del cuadro anterior se puede observar que la relación media de los tres elementos N, P y K es de 1, 0,5 y 1,2, pero con un margen de variación importante. En el caso de papa, esta relación es de 1: 0,4 : 1,9. Trabajos realizados por Miguel Fernández en INIA Carillanca y Remehue, señala una relación 1: 0,4 : 1,6.

Existe un grupo de elementos que tienen el rol de formar las estructuras de las plantas. Ellos son el Carbono, Hidrógeno y Oxígeno (**C,H,O**), base de toda estructura orgánica, a los que se agregan otros elementos tales como : Nitrógeno (**N**), que participa en la estructura de la molécula proteica, en la formación de aminoácidos, ácidos nucleicos y coenzimas; Fósforo (**P**), elemento de vital importancia en el proceso de transferencia energética dentro de la planta en forma de adenosín-trifosfato (ATP) y como elemento constituyente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas y ésteres fosfatados; Azufre (**S**), que forma parte de la estructura de





las proteínas como parte integrante de los aminoácidos azufrados, así como de algunas vitaminas y coenzimas y finalmente Calcio (**Ca**), que se encuentra en la unión de las paredes celulares en forma de pectato de calcio, es importante en la formación de membranas celulares y de estructuras lipídicas.

En términos generales se puede señalar que del contenido total de materia orgánica de las plantas, el carbono representa del 48% a 50%; el hidrógeno el 6% a 7%, el oxígeno el 41% a 43% y el nitrógeno el 1,4% a 1,6%, y a pequeñas cantidades de azufre, fósforo y calcio.

Otro grupo de elementos tienen un rol a nivel de enzimas, ya sea participando como ligandos en los quelatos, Cobre, Magnesio, Sodio, Hierro, Manganeso, Zinc, Molibdeno, Calcio (**Cu, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Mo, Ca**), siendo un ejemplo típico la formación de la molécula de clorofila con **Mg** como ligante; o bien, desempeñando el papel de activadores enzimáticos, entre los que se encuentran el Boro, Magnesio, Cloro, Manganeso, Potasio, Hierro, Calcio, Zinc y Cobre (**B, Mg, Cl, Mn, K, Fe, Ca, Zn y Cu**). El manganeso es un factor esencial para la respiración y el metabolismo del nitrógeno; el cobre es parte importante de los coenzimas; el zinc, participa en el metabolismo de las plantas como activador de diversas enzimas que actúan en la descomposición del ácido carbónico, en el transporte del fosfato, y en la síntesis de proteínas; a su vez, el molibdeno participa en la fijación simbiótica del nitrógeno y en la asimilación de nitratos.

Por último, existen roles específicos para algunos elementos, como el **B**, en la germinación y crecimiento de los tubos polínicos y en el transporte de azúcares. El **K**, elemento fundamental del componente osmótico, principalmente en tejidos especializados como

son las células de guarda de los estomas, y como activador del metabolismo proteico. El **Ca**, de importancia en el crecimiento del tubo polínico y el **Fe**, que estimula una tuberización temprana y, por el contrario, altas concentraciones de fertilizantes especialmente **N**, favorecen el desarrollo de un abundante follaje, retardando la formación de tubérculos. La persistencia de una superficie foliar activa durante un largo período de tiempo, es capaz de sostener un crecimiento constante de los tubérculos, asegurando así un alto rendimiento del cultivo.

La mayor parte de los tubérculos que se desarrollarán hasta tamaño comercial aparecen en un período aproximado de dos semanas luego de iniciada la formación de estolones. Su ritmo de crecimiento, a partir de entonces, es de tipo exponencial durante las primeras tres semanas, el que más adelante es casi lineal o constante. En esta fase se produce un descenso en la producción de follaje y hay un aumento gradual de la senescencia de las hojas basales o más viejas, a causa de una traslocación de **N, P y K** desde el follaje a los tubérculos, los que, por consiguiente, aumentan su peso seco.

Lo anterior pone de manifiesto la importancia que reviste la producción de una gran área foliar previo a la tuberización para lograr altos rendimientos. Esta condición se favorece con tubérculos-semilla mantenidos en latencia hasta la plantación; la que debe hacerse en un suelo con suficiente humedad y usando una buena fertilización, especialmente nitrógeno. Por el contrario, una producción temprana se puede lograr con tubérculos-semillas prebrotados, de brotes bien desarrollados y usando una menor fertilización nitrogenada para obtener un área foliar más reducida y acelerar así la tuberización.





4.4 EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR LA PAPA

La capacidad de absorción de elementos nutritivos de la papa está fuertemente relacionada con el desarrollo radicular, es decir, con el volumen de raíces, profundidad que ellas alcanzan y época en que éstas se desarrollan. Una abundante masa radicular puede explorar un amplio volumen de suelo, asegurando de este modo el abastecimiento de nutrientes de la planta. Debido a su limitado sistema radicular (en relación a otras especies vegetales), la papa extrae desde los primeros 30 cm la mayor proporción de los elementos nutritivos que requiere. Otra característica del sistema radicular de la papa es que durante los primeros cincuenta días se desarrolla principalmente en forma horizontal, cubriendo aproximadamente un radio de 40 cm desde el tallo. En consecuencia, existe un gran volumen de raíces cercano a la superficie, que posteriormente crecen en profundidad. Esta condición hace deseable que el volumen superior del suelo sea

lo suficientemente rico en nutrientes minerales para asegurar un abundante desarrollo de raíces y vegetación.

La necesidad de fertilizar el cultivo de papa obedece, a una demanda de nutrientes minerales generada por el cultivo, debido a un bajo suministro de éstos desde el suelo. La papa como la mayoría de las especies vegetales demanda una gran cantidad de nutrientes, los cuales se encuentran en cantidades variables en los suelos, dependiendo del manejo histórico y de corto plazo de ellos, así como de las características mineralógicas. Estos factores determinan que la disponibilidad de los nutrientes sea muy variable, siendo la fertilidad de los suelos y la fertilización de éstos diferente de un suelo a otro. La mejor forma de establecer un diagnóstico de la fertilidad de los potreros es mediante un adecuado muestreo de los suelos y posterior análisis completo de fertilidad del mismo, todo ello asociado con una óptima interpretación de estos análisis.

Cuadro 2. Extracción de algunos nutrientes por el cultivo de papa

Tubérculos Ton/ha	Kg / ha de						Referencia
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	CaO	S	
20	110	20	140	20	50		Boguslawski, 1981
25 t+f	108	43	175				Gruner, 1963
25 t+f	120	45	200				Jacob y Uexkull, 1964
30	140	26	200	25	60		Boguslawski, 1981
30 t+f	150	56	270				Gruner, 1963
30	150	60	350	30	90		Beukema, 1979
38 t+f	224	67	336				Dahnke y Nelson 1976
40	170	32	300	30	70		Boguslawski, 1981
40 t+f	120	55	221				Kupers, 1972.
63	288	128	396	35	26		Tisdale y Nelson, 1975.
Follaje	168	90	296	13	1		
Tubérculos	114	38	100	22	13		

t = tubérculo ; f = follaje
Fuente: citado por Contreras, A. 1991





En la literatura se señala una diferente extracción de nutrientes, dependiendo del autor en referencia, esto se debe a los diferentes ambientes de estudio y a cambios en las variedades utilizadas. Sin embargo es posible señalar que el potasio es extraído en mayor cantidad por la papa, con 175 a 396 unidades de K_2O , luego sigue nitrógeno 108 a 288 U. de N y finalmente el fósforo con 43 a 128 U. de P_2O_5 . En las condiciones de siembra de la región de la Araucanía el nutriente más utilizado es el fósforo debido fundamentalmente a los problemas de fijación de este en los suelos del sur de Chile. Sin embargo, la fertilización nitrogenada y potásica también es importante debido a los altos niveles de extracción del cultivo. Además, de los datos obtenidos por Tisdale y Nelson se desprende que la devolución de nutrientes al suelo vía follaje es importante y representa alrededor de un 60% del nitrógeno, 70% del fósforo, 75% del potasio, 35% del magnesio y de un 50% del azufre.

4.5 ESTIMACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

La fertilización de un cultivo depende de la demanda del cultivo, que se estima según el rendimiento esperado; y, el suministro del suelo, que se puede estimar mediante análisis de suelo, considerándose que los fertilizantes aplicados al cultivo presentan una determinada eficiencia de utilización.

4.5.1 NITRÓGENO

El nitrógeno es uno de los nutrientes de mayor impacto en la producción y representa un elemento necesario para la multiplicación celular y el desarrollo de los órganos vegetales. En las plantas, el nitrógeno forma parte de los aminoácidos, compuestos nitrogenados que se

unen entre sí para formar las proteínas. El nitrógeno es adsorbido por la planta en forma nítrica, nitratos (NO_3^-), presentes en el suelo, y en menor grado en forma amoniacal (NH_4^+).

En la papa el nitrógeno se concentra principalmente en los tubérculos, estimándose que el 80% del nitrógeno adsorbido se vuelve a encontrar en ellos. La extracción del nutriente por el cultivo fluctúa entre los 96 y 120 kg/ha.

El nitrógeno es uno de los elementos más difícil de precisar en cuanto a su dosificación, debido a que el suministro de este es fuertemente afectado por la temperatura del suelo; y además, la mineralización del N es un proceso biológico. Por lo general los suelos con mayores contenidos de materia orgánica (trumaos) requerirán menos nitrógeno. Sin embargo no solo la materia orgánica afecta el suministro de N sino que el uso del suelo y el tipo de cultivo.

Ensayos realizados en la década del 60 en el Centro Regional INIA Carillanca señalaban respuesta a la fertilización nitrogenada con dosis de 100 unidades. Sin embargo, estas siembras eran realizadas a una distancia de 80 cm entre hileras y 50 cm sobre la hilera, lo que da una población de 25.000 plantas/ha, lo cual producía rendimiento bajos (15 a 20 ton/ha). Además, al no contar con adecuados controles de malezas, especialmente cuando se usaba una fertilización alta en nitrógeno estos problemas aumentaban. Ensayos posteriores realizados por Banse y Santander en papa para semilla en la Centro Regional INIA Remehue señalan rendimientos más altos con niveles de 100 U/ha de nitrógeno. La variedad utilizada fue Arka y se obtuvo una población promedio de 40.000 plantas/ha.





Cuadro 3. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento total, comercial y de semilla de papa.

Fertilización	RENDIMIENTO (Ton/ha)		
	Total	Semilla	Comercial
N 0	41,8	27,5	37,4
N 100	48,7	31,0	42,9
N 200	43,9	27,6	36,9

Fuente : Banse, J., 1977

En la actualidad se ha establecido que la fertilización nitrogenada del cultivo de papa es muy compleja y que ella esta determinada principalmente por el tipo de suelo y el rendimiento esperado del cultivo; además para efectuarla correctamente es necesario considerar la presencia de otros nutrientes en forma equilibrada.

Cuadro 4. Estimación de la fertilización nitrogenada según manejo y tipo de suelo y rendimiento esperado.

TIPO DE SUELO Y SU MANEJO	Rendimiento esperado Ton / ha			
	25	35	45	55
	Dosis de nitrógeno kg / ha			
Rojo arcilloso con pradera degradada	90	140	210	300
Rojo arcilloso con prad. leguminosa 3 años.	60	100	180	250
Trumao con pradera degradada.	50	75	160	220
Trumao con pradera leguminosa de 3 años.	40	60	75	140

Fuente: Carlos Sierra B. 1993.

Cuadro 5. Estimación de la fertilización nitrogenada bajo condiciones de riego.

Rendimiento Esperado ton/há	Dosis de N/há (kg)
60	90
70	130
80	170
90	210

Fuente: Hernán Pinilla Q. 2009





La fertilización nitrogenada del cultivo varía de acuerdo al manejo y tipo de suelo (cuadro 4). Cuando el rendimiento esperado es mayor, ya sea porque aplicaremos riego o porque la zona agroecológica en que se ubica el predio y el potrero tiene un mayor potencial (borde costero), es necesario aumentar las dosis de nitrógeno. Sin embargo, dosis muy altas de nitrógeno en área de suelos rojos arcillosos sin riego pueden producir un efecto depresivo sobre la calidad de los tubérculos y retardar la madurez y cosecha.

El nitrógeno en dosis medias y bajas debe aplicarse todo a la siembra, localizado, en banda, bajo y al lado de la semilla. Evaluaciones realizadas en el sector de Tranapunte (comuna de Carahue, Región de la Araucanía) indicaron que mayores fertilizaciones del nutriente realizadas con tres parcializaciones iguales (plantación, emergencia y preaporca) permitían aumentar el rendimiento del cultivo. En dosis superiores a 180 U/ha de N, se recomienda aplicar una fracción en preabonadura con el último rastraje (40% del total), y por ser la papa de rápido crecimiento inicial, y en particular con plantaciones tardías, no se recomienda fraccionar demasiado el N, aplicándose a la aporca no más del 20% del total. Esta última práctica se recomienda para cultivos de alto rendimiento y con dosis altas de N. Se ha

observado que las fuentes de N a las que mejor responden la papa, son las nítricas más amoniacales; es el caso de los nitratos de amonio y la urea. Esto se debe a que las fuertes lluvias de primavera pueden lixiviar el N nítrico en el perfil del suelo. A la aporca es recomendable utilizar nitrógeno 100% a la forma nítrica pues será aprovechado más rápidamente por las plantas. Otras fuentes de nitrógeno son los fosfatos amoniacales (Fosfato diamónico y monoamónico) los que bien manejados también pueden ser una buena alternativa. Para este cultivo su uso se limita por la condición de acidez del suelo.

4.5.2 FÓSFORO

El fósforo es un elemento constitutivo de los tejidos vegetales y forma parte de los ácidos nucleicos. Estimula el crecimiento inicial de las plantas y la formación de las raíces; acelera la madurez y estimula la producción de semillas. Las necesidades de fertilización fosfatada aumentan cuando el crecimiento de las plantas ha de efectuarse en tiempo frío, cuando las plantas tienen un desarrollo radicular limitado y cuando se requiere un crecimiento inicial rápido de la parte aérea de la planta.

En el caso de papa la absorción de fósforo es muy elevada durante todo el período vegetativo, siendo muy débil solamente durante las 6 semanas antes de la cosecha.

Cuadro 6

Exportación de fósforo por algunas plantas	P ₂ O ₅ Total exportado (kg)
Cereales (por qqm de grano y paja)	0,9 a 1,6
Remolacha Azucarera (por ton. de raíces y hojas)	1,2 a 1,8
Papa (por ton de tubérculo)	1,2 a 1,9





La omisión de la fertilización fosfatada puede disminuir el rendimiento de papa entre un 30 a 50% los rendimientos en papa.

El fósforo es un elemento generalmente deficiente en la gran mayoría de los suelos de la zona sur del país, debido principalmente a la escasa fertilización realizada para este cultivo y a la fijación de este por el suelo, en especial en los suelos trumaos. Esto unido a la deficiente densidad radicular de la papa y por lo tanto a

su baja capacidad de exploración del suelo, determina que para lograr altos rendimientos se requieren niveles altos de fósforo; estimándose que del efecto total producido por los fertilizantes entre el 50 al 70% corresponde al del fósforo. La aplicación del fósforo debe ser localizado en dos bandas, bajo y al lado de la semilla. Cuando se usa en altas cantidades es recomendable aplicar una parte al voleo (no más del 30% de la dosis).

Cuadro 7. Estimación de la fertilización fosfatada en suelos trumaos según diferente disponibilidad de fósforo y rendimiento esperado.

Nivel de P - OLSEN	Rendimiento esperado ton / ha			
	25	35	45	55
Ppm	Dosis de P ₂ O ₅ kg / ha			
5	200	330	460	600
10	100	200	360	470
15	80	120	250	350
20	60	70	150	240
25	50	60	100	140

Nota: Usar la tabla con valores de pH entre 5,4 y 6,5

Fuente: Carlos Sierra B. 1993.

Cuadro 8. Estimación de la fertilización fosfatada en suelos rojos arcillosos según diferente disponibilidad de fósforo y rendimiento esperado.

Nivel de P - OLSEN	Rendimiento esperado ton / ha			
	25	35	45	55
Ppm	Dosis de P ₂ O ₅ kg / ha			
5	160	250	360	440
10	90	170	280	360
15	70	110	200	280
20	50	75	110	190
25	40	60	70	110

Fuente: Carlos Sierra B. 1993.





Cuadro 9. Estimación de la fertilización fosfatada en suelos rojos arcillosos según diferente disponibilidad de fósforo y rendimiento esperado.

Nivel de P - OLSEN	Rendimiento esperado ton / ha				
	15	25	35	45	55
Ppm	Dosis de P ₂ O ₅ kg / ha				
2	100	175	250	325	400
4	50	125	200	275	350
6	25	75	150	225	300
8	25	25	100	175	250
10	25	25	175	125	200
12	25	25	50	150	250
16	25	25	25	100	200
20	25	25	25	50	150

Fuente, Rodríguez, 1995

Cuadro 10. Estimación de la fertilización fosfatada en suelos Trumao según diferente disponibilidad de fósforo y rendimiento esperado.

Nivel de P - OLSEN	Rendimiento esperado ton / ha				
	15	25	35	45	55
Ppm	Dosis de P ₂ O ₅ kg / ha				
2	150	300	450	600	750
4	75	225	375	525	675
6	25	150	300	450	600
8	25	75	225	375	525
10	25	25	150	300	450
12	25	25	75	225	375
16	25	25	25	150	300
20	25	25	25	75	225

Fuente, Rodríguez, 1995





Cuadro 11. Estimación de la fertilización fosfatada en suelos de secano costero según diferente disponibilidad de fósforo y rendimiento esperado.

Nivel de P - OLSEN	Rendimiento esperado ton / ha				
	15	25	35	45	55
Ppm	Dosis de P ₂ O ₅ kg / ha				
2	100	175	250	325	400
4	50	125	200	275	350
6	25	75	150	225	300
8	25	25	100	175	250
10	25	25	50	125	200
12	25	25	25	75	150
16	25	25	25	50	100
20	25	25	25	50	50

Fuente, Rodríguez, 1995

Cuadro 12. Estimación de la fertilización fosfatada bajo condiciones de riego

Rendimiento Esperado ton/há	Disponibilidad de P Olsen (mg/kg)		
	8	12	16
60	330	230	130
70	420	320	220
80	510	410	310
90	600	500	400

Fuente: Hernan Pinilla Q. 2009

4.5.3 POTASIO

Este nutriente actúa en la formación de carbohidratos y en la transformación y el movimiento del almidón desde las hojas a los tubérculos de la papa. También es importante en el control del movimiento de estomas y del agua de la planta.

El potasio interviene en la presión osmótica, disminuye la transpiración y contribuye a conservar la turgencia celular. El efecto útil del potasio sobre la economía del agua se manifiesta particularmente en los años secos, sobre todo en suelos sueltos o livianos, donde





el aporte de potasio confiere a las plantas cierta resistencia al marchitado y a una desecación precoz, situación que a menudo se observa en las papas. El potasio también interviene en el metabolismo del nitrógeno, favoreciendo la elaboración de proteína a partir del nitrógeno mineral. La escasez de potasio frente a grandes cantidades de nitrógeno determina en las hojas la acumulación de nitrógeno mineral no utilizado en su desarrollo, de nitrógeno orgánico en forma de aminoácidos y de glúcidos; lo que puede producir disminución de los rendimientos. Lo mismo se observa con un exceso de potasio frente a pequeñas dosis de nitrógeno. Por lo tanto, una estrecha relación entre estos dos elementos, los que deben aumentar simultáneamente si se quiere asegurar su buena utilización por la planta. El empleo de grandes cantidades de nitrógeno necesita un aumento paralelo de las cantidades de potasio. Según los autores, la relación N/K, correspondiente al óptimo de asimilación para las plantas de cultivo, varía de 1:1 a 1:2,5. En el caso de papa se señala que el potasio puede disminuir el ennegrecimiento de la pulpa, al evitar la acumulación de los aminoácidos, cuya oxidación causa esta coloración. Este fenómeno no se produciría cuando la materia seca de la papa contiene más del 18% de K_2O .

Nutrición potásica de las plantas

Las células vegetales ofrecen una permeabilidad elevada al ión K. Por lo general, en el suelo hay absorción preferente de K, fenómeno atribuido a la mayor velocidad de difusión de las sales de potasio. La papa es un cultivo que extrae grandes cantidades de potasio del suelo, calculándose que extrae alrededor de 0,4 kg. de K_2O por cada qqm de producción; estando presente en forma importante, tanto en los tubérculos como en el follaje.

La fertilización potásica depende principalmente de dos factores, el rendimiento esperado del cultivo y el contenido de potasio disponible en el suelo.

El potasio debe aplicarse en dosis altas cuando su disponibilidad en el suelo es muy baja y se pretende cosechar altos rendimientos. Cuando el rendimiento esperado es bajo, y el nivel del suelo es alto, el cultivo puede no requerir fertilización potásica. Sin embargo, se debe aplicar una fertilización de mantenimiento del elemento para evitar una pérdida de fertilidad.

Las principales fuentes potásicas son el sulfato de potasio, el cloruro de potasio (muriato de potasio), el nitropotasio y el salitre potásico; siendo todas igualmente adecuadas. El cloruro de potasio debe ser usado con moderación, para evitar intoxicaciones con cloro, usándose niveles hasta de 100 U. en forma localizada.

Antagonismo K - Ca y sus manifestaciones:

El ión calcio ejerce una acción importante en la fijación y en la movilidad del ión potasio en los suelos. Además, en las plantas el potasio y el calcio varían en sentido inverso. Se ha observado en cultivos realizados en medio líquido, que el potasio frena la absorción del calcio, pero no se observa en cambio el efecto contrario, las sales solubles de calcio no perjudican la absorción de potasio. En la práctica se debe considerar que:

- En un suelo cuyo complejo coloidal ha sido enriquecido con fertilizante potásico, las sales solubles de calcio, tales como el yeso, liberan potasio intercambiable desde éste.
- El antagonismo Ca/K no ocurre cuando la concentración de potasio en la solución del suelo es suficiente, la del calcio interviene poco en su absorción por la planta. Sin embargo, el





encalado puede ir acompañado de un aumento de las necesidades de potasio y requerir un aporte de este elemento.

Se puede resumir que el calcio no afecta la absorción del potasio, siendo antes que nada la nutrición potásica función del porcentaje de K_2O en la solución del suelo y de la relación $(Ca+Mg)/K$. El aporte de grandes cantidades de sales potásicas da lugar a una acción

antagónica frente a la absorción del Na, Mg y Ca.

Al establecer la absorción de potasio de las plantas, en función del tiempo, se comprueba que este ocurre casi a la par con la formación de materia seca, siendo más rápida al principio del período vegetativo, continuando más allá del período de mayor crecimiento y llegando a la cosecha.

Cuadro 13. Exportaciones medias de K_2O por algunas plantas de cultivo (por qqm de grano o ton. de raíz o tubérculo).

Cultivo	Exportación (kg de K_2O)
Trigo (Incluido paja)	2,0 a 5,0
Avena (Incluido paja)	3,5 a 10
Remolacha (Incluido hojas)	5,5 a 7,5
Papas (Incluido Tallos y hojas)	6,7 a 9,2

Fuente: Demolon, 1966.

Los resultados demuestran que las raíces y tubérculos son más exigentes en potasio (cuadro 13).

Papel de los fertilizantes potásicos.

Los cultivos se benefician con el aporte de fertilizantes potásicos cuando el suelo no suministra la cantidad adecuada para ellos, cosa que ocurre siempre hoy en día en situaciones de cultivo intensivo. A medida que los rendimientos van aumentando con la práctica de la fertilización nitrogenada, la fertilización potásica es cada vez más necesaria. Esto es particularmente importante en plantas calificadas como «plantas con dominante potásica», como la papa, la viña, el trébol; donde el potasio es un elemento regulador del rendimiento (especialmente en la papa).

La aplicación de potasio se regulará según la exigencia del cultivo, la productividad esperada y las reservas del suelo; y, manteniendo entre el nitrógeno y el potasio una relación favorable.

Deficiencia de potasio.

La papa es el cultivo que manifiesta más rápido anomalías en las hojas (deseccación precoz) y modificación en la composición del tubérculo, por causa de falta de potasio.

Los síntomas de deficiencia en la papa se manifiestan en anomalías en la pigmentación de las hojas, las que inicialmente son de un color verde oscuro, luego adquieren de un color castaño, se arrugan y se desecan tempranamente. Por lo general la sintomatología no es muy específica pues





cambia con la condición del medio y de la absorción de los demás elementos. Por lo general manifiestan desequilibrios y no carencias verdaderas.

La papa es considerada como uno de los cultivos más sensibles al cloro, ha resistido sin daño cantidades que llegan a los 400 kg. KCl cuando la aplicación ha sido efectuada uno o dos meses antes de la plantación.

Cuadro 14. Fertilización estimada de Potasio en suelos Trumaos según diferente disponibilidad de Potasio inicial y diferente rendimiento esperado.

Potasio Disponible	Rendimiento esperado ton / ha			
	25	35	45	55
ppm	Dosis de K ₂ O kg / ha			
50	140	250	360	460
100	100	140	250	350
150	80	120	160	240
200	60	100	120	180
250	50	80	100	120

Fuente: Carlos Sierra B. 1993.

Cuadro 15. Estimación de la fertilización potásica en suelos trumaos y rojos arcillosos según diferente disponibilidad de potasio en el suelo y rendimiento esperado.

Indice de suministro K-intercambio (ppm)	Rendimiento esperado ton / ha				
	15	30	35	40	45
Ppm	Dosis de K ₂ O kg / ha				
30	75	125	200	275	350
60	75	125	175	225	300
90	75	125	175	225	275
120	75	125	175	225	275
150	75	125	175	225	275
180	75	125	175	225	275
210	75	125	175	225	275

Fuente, Rodriguez, 1995





Cuadro 16. Estimación de la fertilización potásica bajo condiciones de riego.

Potasio Disponible (mg/kg)	Rendimiento Esperado ton/há			
	60	70	80	90
100	285	385	480	560
150	130	230	330	430
200	0	80	180	275
250	0	0	25	120

Fuente: Hernán Pinilla Q. 2007

4.5.4 AZUFRE

El azufre es un constituyente de tres de los aminoácidos esenciales (cistina, cisteína, metionina), siendo en consecuencia esencial en la síntesis de proteínas. Por su contenido de aminoácidos la papa es valiosa para la nutrición humana.

El contenido de azufre de la planta no depende exclusivamente del suministro del suelo, sino que también está relacionado con las necesidades fisiológicas propias de cada especie.

Cuadro 17. Azufre en la composición de algunos cultivos.

Cultivo	Azufre como (%) de la Mat. Seca	Relaciones	
		S/P	S/N
Trigo (grano)	0,16	0,335	0,120
Centeno (grano)	0,15	0,328	0,092
Maíz(grano)	0,20	0,368	0,092
Cebada (grano)	0,25	0,455	0,073
Papa (tubérculo)	0,17	0,459	0,127
Papas (hojas) *	0,25		

Fuente: Demolon, 1966

(*) CIP 1984

En consecuencia, las cantidades de azufre extraído por el cultivo es considerable (alrededor de 10 kg. de azufre por hectárea).

La deficiencia de este nutriente retarda el crecimiento de la planta, las que se ponen uniformemente cloróticas, raquílicas y alargadas con tallos débiles.

4.5.5 CALCIO Y MAGNESIO

El calcio es absorbido por las plantas en forma de ion Ca^{++} . Constituye una parte esencial de la estructura de la pared celular, y su presencia es indispensable para la formación de nuevas células. Está relacionado con la neutralización y la insolubilización de ciertos ácidos orgánicos de la planta.





Las cantidades exportadas de calcio por las cosechas son particularmente bajas en relación con su presencia en la mayoría de los suelos; es por ello que se ha atribuido al calcio una importancia secundaria en la nutrición de las plantas. Sin embargo el calcio cumple un papel fisiológico cuya importancia no se mide con la cantidad presente en la planta. Lo mismo puede mencionarse del magnesio.

El calcio disminuye la absorción de agua y aumenta la transpiración, comportándose así de manera opuesta al potasio; por ello el mecanismo de regulación va ligado a las variaciones de la relación K/Ca. Cuando la concentración de potasio aumenta en el medio, la absorción de calcio por la planta siempre disminuye. Siempre es necesario una cierta cantidad de calcio para el desarrollo normal del sistema radicular. Además, el ión calcio tiene un papel antitoxico frente a los iones K, Na y

Mg. Aunque las plantas cultivadas pueden tolerar en el suelo una elevada proporción de calcio, el sobre encalado tiene una acción depresiva en la nutrición y en el rendimiento del cultivo.

Deficiencia de calcio. El calcio es un elemento inmóvil. Si existe una deficiencia el nuevo tejido meristemático no tiene acceso a la cantidad requerida para su adecuado desarrollo. La deficiencia llega a manifestarse en la falta de desarrollo de las yemas terminales.

El magnesio es absorbido por la planta como ion Mg^{++} , y por ser el único mineral constituyente de la clorofila, este elemento es esencial para la fotosíntesis. Es necesario para la activación del metabolismo de los carbohidratos y la respiración de la célula. También es un activador de muchas enzimas requeridas en los procesos de crecimiento de las plantas.

Cuadro 18. Cantidades de calcio y magnesio extraído por la cosecha (como % de la M. Seca).

Cultivo		CaO	MgO
Cereales	Grano	0,7 a 0,19	0,15 a 0,2
	Paja	0,2 a 0,6	0,09 a 0,15
Remolacha	Raíces	0,25 a 0,5	0,25 a 0,5
	Hojas		
Papas	Tubérculos	1,1 a 0,18	0,12 a 0,2
	Hojas	3,8 a 4,5	0,5 a 0,9

Fuente: Demolon, 1966





Cuadro 19. Cantidades de calcio y magnesio extraído por la cosecha (por unidad de producto).

Cultivo	CaO	MgO
Cereales por qq de trigo (Incluido Paja)	0,6 a 1,15	0,3 a 0,45
Remolacha por ton. Raíces (Incluido. Hojas)	1,2 a 4,2	0,55 a 1,1
Papas por ton. de Tubérculos (Incluido Hojas)	2,7 a 4,7	0,7 a 1.0

Un cultivo promedio de papa extrae entre 50 a 89 kg de CaO y de 15 a 25 kg de MgO por hectárea.

La deficiencia de Mg conduce a una clorosis intervenal en las hojas del cultivo, y solo las venas permanecen verdes. Las hojas inferiores presentan primero los síntomas de la deficiencia, porque el Mg es traslocado con facilidad a las nuevas zonas de crecimiento.

Bibliografía

C. Sierra, J. Santos, J Kalazich. 2002. Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Boletín INIA N° 76.

Vander Zaag P. 1986. Necesidades de fertilidad de suelos para la producción de papa. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Centro Internacional de la Papa.

