

# 4. Antecedentes sobre Fertilización del Cultivo de Papa

---

Patricio Méndez Leal  
Ing. Agrónomo  
Sebastián Meier Romero  
Ing. Agrónomo Dr.  
INIA Carillanca



## 4.1 Generalidades

Uno de los manejos críticos en el cultivo de papa es la fertilización del cultivo. Es así como existe la necesidad de contar con la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de cada etapa fenológica, permitiendo de esta forma alcanzar los objetivos productivos propuestos. La importancia de los elementos en la nutrición depende de la cantidad requerida o extraída por el cultivo. En tal sentido es que los nutrientes son definidos como macronutrientes (primarios y secundarios) y micronutrientes (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Nutrientes esenciales en el cultivo de papa y forma de absorción por la planta**

Macronutrientes (6)		Micronutrientes (8)	
Nutrientes primarios(3)	Nutrientes secundarios (3)	Metales (6)	No Metales (2)
<b>Nitrógeno</b> -absorbido como $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$	<b>Azufre</b> -absorbido como $\text{SO}_4^{2-}$	Hierro absorbido como $\text{Fe}^{2+}$ y $\text{Fe}^{3+}$	Boro-absorbido fundamentalmente como $\text{H}_2\text{BO}_3^-$
<b>Fósforo</b> -absorbido como $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ y $\text{HPO}_4^{2-}$ en suelos alcalinos	<b>Calcio</b> -absorbido como $\text{Ca}^{2+}$	Manganeso absorbido como $\text{Mn}^{2+}$	Cloro absorbido principalmente como $\text{Cl}^-$
<b>Potasio</b> -absorbido como $\text{K}^+$	<b>Magnesio</b> -absorbido como $\text{Mg}^{2+}$	Zinc absorbido como $\text{Zn}^{2+}$	
		Cobre absorbido como $\text{Cu}^{2+}$	
		Molibdeno absorbido en solución del suelo principalmente $\text{MoO}_4^{2-}$	
		Níquel $\text{Ni}^{2+}$	

### 4.1.1 Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo se entiende como la capacidad de éste para suministrar los nutrientes necesarios para las plantas en cada etapa de desarrollo, en la cantidad necesaria y forma química asimilable. Además, se deben considerar otros factores tales como: clima, genotipo, estado fenológico de la planta, las propiedades físico químicas y biológicas del suelo y las prácticas culturales de manejo que determinan su absorción.

#### 4.1.2 Análisis del suelo

La fertilidad del suelo se puede medir a través de un análisis químico, herramienta de diagnóstico que entrega información para determinar la disponibilidad de nutrientes. Esto es la base para elaborar un plan de fertilización para el establecimiento y manejo de un cultivo.

**Cuadro 2. Características químicas del suelo apropiadas para el cultivo de la papa (Hirzel, 2011)**

Elemento o variable analizada	Unidad de medida	Nivel adecuado según textura	
		Franco arenosa a franco limo arenosa	Franco limosa a franco arcillosa
Materia orgánica	%	Mayor a 1.5	Mayor a 1.5
pH	---	6.0 – 7.0	5.6 – 6.8
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	Menor a 1.5	Menor a 1.5
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	8 – 15	15 - 30
Nitrógeno	mg kg <sup>-1</sup>	15 – 30	20 - 40
Fósforo	mg kg <sup>-1</sup>	Mayor a 15	Mayor a 20
Potasio	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	0.3 – 0.5	0.4 - 0.6
Calcio	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	7 – 10	8 - 12
Magnesio	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	1.0 – 1.5	1.2 – 2.0
Sodio	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	0.03 – 0.3	0.05 – 0.6
Suma de bases	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Mayor a 8	Mayor a 10
Relación de Calcio sobre la CIC	%	60 – 65	55 - 65
Relación de Magnesio sobre la CIC	%	12 – 15	10 - 15
Relación de potasio sobre la CIC	%	2 – 3	3 - 4
Saturación de Aluminio	%	Menor a 5%	Menor a 5%
Azufre	mg kg <sup>-1</sup>	Mayor a 8	Mayor a 10
Hierro	mg kg <sup>-1</sup>	2 – 4	2 - 10
Manganeso	mg kg <sup>-1</sup>	1 – 2	2 - 5
Zinc	mg kg <sup>-1</sup>	0.8 – 1.5	1 - 2
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	0.5 – 1	0.5 - 1
Boro	mg kg <sup>-1</sup>	0.8 – 1.5	1 - 2

### 4.1.3 Requerimientos nutricionales del cultivo

La papa es un cultivo con alta respuesta a la aplicación de fertilizantes debido a que posee un alto índice de cosecha (76%), una baja densidad radical que limita su eficiencia de absorción de nutrientes (Cuadro 3) y un ciclo de desarrollo corto (90-160 días). Por lo anterior, existe una alta demanda de nutrientes, necesarios para alcanzar un óptimo desarrollo.

**Cuadro 4.3** Densidad radical de algunos cultivos (Sierra *et al.*, 2002)

Cultivo	Densidad radical (cm/cm <sup>3</sup> )
Pradera de ballica establecida	15,0
Pradera de alfalfa establecida	10,0
Cebada	5,5
Pradera de trébol establecida	5,0
Avena	5,0
Trigo	5,0
Maíz	3,0
Raps	2,2
Papa	1,7

De manera adicional, los nutrientes requeridos por el cultivo dependerán en forma muy especial del potencial de rendimiento (determinado por el genotipo vegetal), de la tecnología que utilice el productor y de las condiciones ambientales donde se desarrolle éste.

## 4.2 Factores que afectan los requerimientos de nutrientes

### 4.2.1 Rendimiento potencial de tubérculos

Para alcanzar el potencial de rendimiento se requiere cumplir condiciones técnicas, ambientales y ausencia de estreses bióticos y abióticos. Bajo esta premisa se puede definir el requerimiento nutricional de un cultivo.

### 4.2.2 Suelo y factores ambientales

Las características químicas y físicas del suelo ejercen un efecto en la disponibilidad de nutrientes en la planta. Restricciones en el crecimiento de las raíces por compactación o poca profundidad de suelo reducen la captación y extracción de nutrientes por el cultivo (Stark *et al.*, 2004).

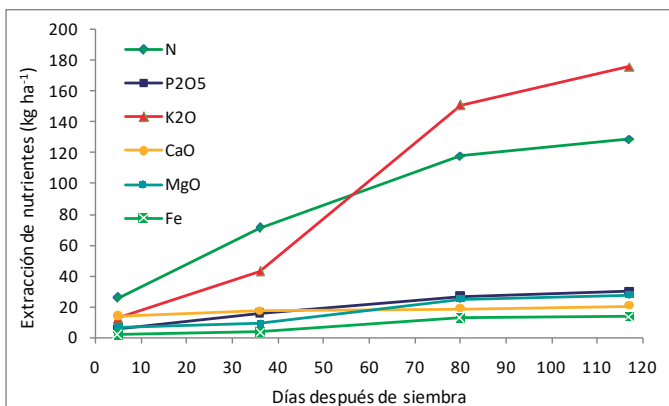
Bajas temperaturas del suelo durante estadios de crecimiento reducen la actividad fisiológica de raíces y su crecimiento, disminuyendo la extracción de nutrientes. Este efecto es particularmente significativo para el fósforo que es poco móvil en el suelo y requiere raíces con una alta eficacia para su extracción. Por lo tanto, la distribución del fertilizante debe ser lo más cercano al área de las raíces o en su defecto se debe aplicar mayores cantidades para compensar, en parte, el efecto de la baja temperatura del suelo. Estas condiciones también pueden reducir la tasa de mineralización de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno N) desde la materia orgánica haciendo más lenta la conversión de amonio a nitrato (Stark *et al.*, 2004).

### **4.2.3 Enfermedades**

Enfermedades tales como *Rhizoctonia solani* y *Pectobacterium sp.*, que atacan tejido de raíces y tallos, pueden reducir significativamente el consumo y transporte de nutrientes dentro de la planta. Por lo tanto, se requiere el uso de estrategias de control apropiadas para patógenos manteniendo raíces sanas capaces de consumir nutrientes de manera óptima (Stark *et al.*, 2004). Para mayor información ver capítulo de enfermedades del cultivo.

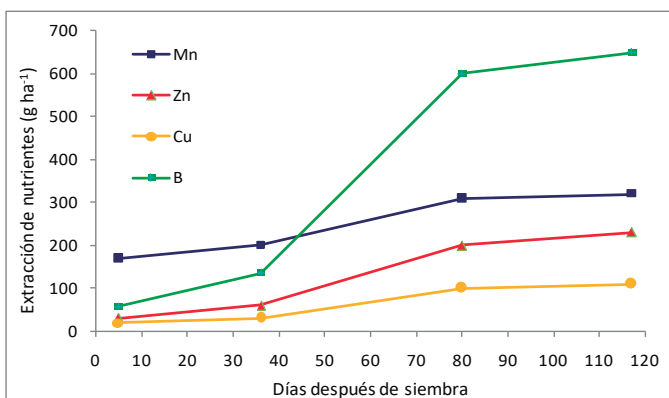
### **4.3 Criterios para el manejo de nutrientes**

La extracción de nutrientes minerales en el cultivo de papa está determinada principalmente por el rendimiento potencial del cultivo (Rodríguez, 1990). Entre los principales nutrientes destacan (por la cantidad extraída) el potasio y nitrógeno, le siguen en importancia el fósforo, calcio, magnesio y azufre. Los elementos menores que pueden ser importantes en la zona sur son el boro y el zinc. Los micronutrientes cuantitativamente menos importantes son el molibdeno y el cloro.

**a**

La extracción de nutrientes de este cultivo en su período de máxima acumulación por cada tonelada de producción corresponde a:

- 2,8 kg N
- 0,64 kg P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>
- 3,8 kg K<sup>2</sup>O
- 0,45 kg CaO
- 0,6 kg MgO
- 0,3 kg Fe

**b**

La extracción de micronutrientes de este cultivar en su período de máxima acumulación para una tonelada de producción corresponde a:

- 300 gr Fe
- 7,0 gr Mn
- 5,0 gr Zn
- 2,4 gr Cu
- 14,1 gr B

**Gráfico 1. Extracción de nutrientes del cultivo de papa var. Desirée para un rendimiento de 46 ton/ha. a) Extracción de macronutrientes b) Extracción de micronutrientes (Undurruga e Hirzel, 2011)**

### 4.3.1 Fertilización del cultivo

La fertilización del cultivo se define de acuerdo a factores que deben evaluarse de manera particular. **No es posible referirse a una dosis única, ni al uso de “recetas universales”,** ya que la dosis de fertilizantes a aplicar dependerá de factores tales como:

- **Aporte de nutrientes del suelo:** el suelo es la fuente más importante de nutrientes para el desarrollo del cultivo, los cuales son cuantificados a través de un análisis químico de suelo.

- **Rotación de cultivos:** se debe considerar la rotación de cultivos, dado que entrega información a considerar, como el aporte residual de nutrientes que ayuda a planificar la estrategia de fertilización para el siguiente cultivo.
- **Objetivo productivo:** en el cultivo existen cuatro tipos de producción como son: papa guarda, papa temprana, papa para la industria y papa para semilla. Cada uno, tiene distintos requerimientos de fertilización.
- **Variedad utilizada:** los requerimientos de fertilización serán diferentes de acuerdo a la variedad (genotipo) o cultivar utilizado.
- **Rendimiento esperado:** la fertilización es función del rendimiento esperado. En la medida que se esperen rendimientos mayores, los requerimientos de fertilización deben ser incrementados para satisfacer las demandas del cultivo.
- **Condición de riego:** la humedad del suelo es fundamental para el transporte de nutrientes. Este aspecto debe ser considerado dado que en general en suelos con riego la movilidad de nutrientes aumenta y con esto la eficiencia en la absorción de nutrientes.

#### 4.3.2 Dosis de fertilización de acuerdo al método racional

Según Rodríguez (2001), las interacciones del sistema clima-suelo-cultivo-fertilizante han sido simplificadas a tres componentes para la formulación de la dosis: requerimiento del nutriente, suministro del nutriente y eficiencia de la fertilización.

Así, la ecuación general para la estimación de la fertilización es la siguiente:

$$\text{Dosis de fertilización} = \frac{\text{Requerimiento del nutriente} - \text{Suministro del nutriente}}{\text{Eficiencia de la fertilización}}$$

- a) **Demanda de nutrientes:** los factores de demanda de nutrientes del suelo varían y no existe uniformidad entre los distintos estudios y autores evaluados, por lo cual se ha establecido un factor de demanda medio de 3,0 kg de N, 0,50 kg de P y 5,0 kg de K por cada tonelada de papa a producir (Sierra, 1985; Pinilla, 2009; Undurraga e Hirzel, 2011). Por lo tanto, si un productor estima una producción de 60 ton/ha, la demanda de N sería 180 kg/ha (60 ton/ha x 3,0 kg N/ton), mientras que en el caso del fósforo el cultivo demandaría 48 kg/ha (60 ton/ha x 0.8 kg P/ton). Finalmente, la demanda por potasio sería de 300 kg/ha (60 ton/ha x 5,0 kg K/ton).

- b) **Suministro de nutriente:** es la cantidad de nutriente que puede ser aportado por el suelo durante el desarrollo del cultivo. Para esto es **FUNDAMENTAL** realizar un análisis químico de suelo previo a la plantación. En el caso del N, diferentes estudios plantean un aporte anual promedio de 90 kg N/ha para la zona sur del país. En el caso del P hay que tener en cuenta la capacidad del cultivo de absorber P (factor de absorción). En distintos experimentos se ha observado que, en promedio, el factor de absorción de P para suelos del sur de Chile es de 1.0 kg de P por cada unidad de P-Olsen que entrega el análisis de suelo (Pinilla, 2011). Finalmente, el suministro de potasio se obtiene a través del producto del K intercambiable que entrega el análisis de suelo en mg de K/kg multiplicándolo por el factor 1,5.
- c) **Eficiencia de fertilización:** corresponde a la fracción del nutriente total aplicado que será absorbido por el cultivo, la que dependerá del tipo de suelo y de la tecnología de fabricación y aplicación del fertilizante. En el caso del N se ha establecido que la eficiencia de fertilización nitrogenada fluctúa entre 50 y 55%. En cuanto al fósforo, la eficiencia de fertilización para los suelos presentes en el sur de Chile es de un 9%. Finalmente, para el potasio K, se han observado eficiencias de fertilización de alrededor de un 60%.

Para una fertilización fosforada y potásica eficiente, se recomienda localizar e incorporar los fertilizantes en el surco previo a la plantación del tubérculo semilla.

Una producción rentable y sustentable en el cultivo de papa requiere de un manejo razonado de la fertilización. Por lo tanto, la dosis de fertilización debe ser establecida a partir del balance entre **demanda, suministro del nutriente y eficiencia de fertilización**.

#### 4.3.3 Ejemplo de cálculo de fertilización usando el modelo racional

Supongamos que se quiere producir 65 ton/ha en base al siguiente análisis de suelo:

Fósforo (ppm)	18
Materia orgánica (%)	9
pH H <sub>2</sub> O	5.7
Potasio (ppm)	98
Nitrógeno	14
Suma de bases (cmol+/kg)	9.06



### Dosis de Nitrógeno

Demanda = (65 ton/ha x 3.0 kg N/ton) = 195 kg N/ha

Suministro = 90 kg N/ha

Dosis = (195 -90)/0.6 = 175 kg N/ha

### Dosis de fósforo

Demanda = (65 ton/ha x 0.5 kg P/ton) = 33 kg P/ha

Suministro = 18 mg P/kg x 1 kg P mg P/ ha = 18 kg P/ha

Dosis = (33-18)/0.08 = 188 kg

Dosis de  $P_2O_5$  = 188 x 2.29 = 430 kg  $P_2O_5$

### Dosis de potasio

Demanda = (65 ton/ha x 5 kg K/ton) = 325 kg K/ha

Suministro = (98 mg K  $kg^{-1}$  x 1,5) = 147 kg K/ha

Dosis = (325 - 147)/0,55 = 324 kg K/ha

Dosis de  $K_2O$  = 388 kg  $K_2O$ /ha

## 4.4 Manejo del nitrógeno

El nitrógeno influye en la producción de biomasa, calibre de tubérculos, gravedad específica (que es una comparación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua) y su calidad tanto interna como externa (Stark *et al.*, 2004). La deficiencia de este elemento afecta el desarrollo de la planta, manifestándose en primer lugar en hojas viejas que se vuelven cloróticas desde la punta hasta extenderse a la totalidad a través de la nervadura central. Las hojas adquieren un color verde amarillento y en los casos más graves la planta se marchita y muere (fisiopatía provocada en las plantas por falta de clorofila). En general, una deficiencia de nitrógeno tiende a producir un adelantamiento de la madurez del cultivo, sin embargo, excesos producen una coloración verde intensa y un tono brillante y verde muy oscuro, determinando un retraso en la madurez del cultivo.

### 4.4.1 Consumo de nitrógeno

El nitrógeno es acumulado inicialmente en el follaje hasta los primeros 80 días. Luego de esto comienza el crecimiento de los tubérculos y es movilizado desde la parte aérea concentrándose así en los tubérculos. Por lo anterior, una adecuada cantidad de nitrógeno debe estar disponible en estadios tempranos para una adecuada formación de la canopia o cierre de hilera. No obstante, una excesiva disponibilidad de nitrógeno previo al inicio de tuberización puede retardar el llenado de tubérculos. El exceso de nitrógeno en los primeros estados de desarrollo puede incrementar la susceptibilidad a mancha café y corazón hueco (Stark *et al.*, 2004).

#### 4.4.2 Fuentes de nitrógeno disponible

El cultivo puede obtener nitrógeno desde varias fuentes, tanto inorgánicas (nitrato y amonio), nitrógeno mineralizado a partir de materia orgánica provenientes de residuos de cultivo anteriores, residuos animales y/o nitrógeno presente en agua de riego (Stark *et al.*, 2004).

El amonio es un ion cargado positivamente, atraído por las cargas superficiales negativas de las arcillas y materia orgánica. El nitrato es un ion cargado negativamente, repelido por la materia orgánica y las arcillas con carga superficial negativa. Por esta razón el nitrato se mueve fácilmente en la solución del suelo. El amonio en el suelo es rápidamente transformado a nitrato mediante bacterias (proceso conocido como nitrificación). El nitrato es la principal forma de N absorbida por las plantas, pero también es la forma más lábil. El N puede perderse desde el sistema suelo/planta de varias maneras, incluyendo volatilización, desnitrificación y lixiviación.

#### 4.4.3 Recomendaciones de fertilización nitrogenada

Dada la movilidad que presenta el nitrógeno en el suelo, la fertilización con este nutriente debe ajustarse al rendimiento esperado y al objetivo productivo. Por ejemplo: el estándar de aplicación en papa semilla va desde 60 a 80 unidades N/ha y en papa consumo (guarda) desde 120 a 180 unidades de N/ha, dependiendo de la variedad, del tipo de suelo y de la condición de riego o seco. Existen variados estudios de calibración de dosis de referencia de nitrógeno que establecen dosis de acuerdo a la disponibilidad que presenta el suelo y la zona agroclimática, como se puede observar en el cuadro 4.

**Cuadro 4. Dosis de fertilización de referencia para N, según rendimiento a alcanzar y disponibilidad del nutriente según análisis de suelo**

Rendimiento esperado Ton/ha	Dosis de N (kg/ha) N Disponible en el suelo (mg N/kg)						
	5	10	15	20	25	30	50
40	100	90	75	60	50	40	0
60	190	180	160	150	140	130	80
80	280	270	260	250	234	223	170

Fuente: Sandaña, P. (2015)

#### 4.4.4 Parcialización de nitrógeno

Evaluaciones realizadas en INIA Carillanca (Campillo, 2003) indican que el manejo eficiente del nitrógeno implica la parcialización de este en tres estados de desarrollo del cultivo (30% a la siembra, 35% a la emergencia y 35% previo a la aporca). Lo anterior es concordante con lo planteado por Lauer, 1984; indicando que no se debe aplicar más de un tercio del total de N requerido por la planta en pre-plantación.

En la actualidad, por razones económicas, la mayoría de los productores realizan dos aplicaciones, una a la siembra (50%) y otra previa a la aporca coincidiendo con la aparición y llenado de tubérculos.

Se debe evitar aplicar dosis altas de nitrógeno en los primeros estados de desarrollo (plantación/emergencia), debido a que favorecería una proporción desbalanceada de raíces y brotes, retrasando la madurez del cultivo, resultando en una menor producción de tubérculos (Lang *et al.*, 1999). Finalmente, la correcta parcialización del nitrógeno incrementa la eficiencia de absorción y reduce las pérdidas a través de lixiviación, mejorando la producción y calidad.

#### 4.5 Manejo del fósforo

Según Rosen *et al* (2014), el fósforo acelera el desarrollo del cultivo, la división celular de tejidos radicales, tuberización y síntesis de almidón. Es esencial para optimizar el rendimiento de tubérculos, contenido de sólidos, calidad nutricional y resistencia a algunas enfermedades.

Su déficit produce plantas pequeñas de color violáceo o amarotado (por efecto de la acumulación de antocianinas) debido a la detención del crecimiento celular (Marschner, 1986). Además, conduce a un débil desarrollo de la planta, tanto de su parte aérea como del sistema radical. Por otro lado, es difícil encontrar casos de exceso de P en las plantas debido principalmente a la naturaleza de nuestros suelos (sobre trumaos).

El fósforo es un elemento poco móvil en el suelo por lo cual necesita ser adecuadamente incorporado para facilitar su absorción por parte del sistema radical de la planta. Por lo anterior, el P no es fácilmente lixiviado, sin embargo, puede ser perdido en áreas con pendientes y propensas a erosión, vía escurrimiento superficial cuando la aplicación de P coincide con eventos de alta pluviometría.

#### 4.5.1 Consumo de fósforo

Según Stark *et al.*, (2004), la cantidad de fósforo en la solución del suelo es usualmente menor que 1.12 kg P/ha (0.01 a 0.3 ppm) por lo tanto, necesita ser constantemente incorporado desde fuentes de fósforo lábiles. El fósforo lábil del suelo consiste en minerales y fuentes orgánicas que se disuelven o mineralizan fácilmente. El consumo diario de fósforo requerido va desde 0.33 a 0.56 kg P/ha/día.

La papa tiene un bajo requerimiento de fósforo (25 a 45 kg P/ha), pero se requiere una alta disponibilidad de este elemento en el suelo lo que indica una baja eficiencia de consumo asociada a su baja densidad radical (Cuadro 4.3). En este sentido, la papa tiene un sistema radical relativamente superficial, encontrándose la mayoría de las raíces en los primeros 30 cm de suelo, donde los pelos radicales alcanzan un 21% del total de la masa de raíces, comparada con un 30 a 60% en otros cultivos. Un estudio sugiere que los pelos radicales representan hasta el 90% de la absorción total de las plantas cuando la concentración de fósforo en el suelo es baja. El sistema de raíces de la papa tiende a disminuir en el final de la temporada cuando la demanda de fósforo es más alta, una respuesta que está en contraste con muchas otras especies que acumulan el fósforo temprano en la temporada de crecimiento (Fixen y Bruulsema, 2014). Las raíces de la papa generalmente detienen su desarrollo entre 60 y 90 días post plantación, aspecto estrechamente vinculado con la maduración de la canopia del cultivo y la finalización del desarrollo foliar. A medida que la planta desvía recursos al desarrollo de tubérculos, el sistema radical comienza a deteriorarse a pesar de que el requerimiento en el consumo de nutrientes es todavía relativamente alto.

La absorción de fósforo progresa de forma continua a lo largo de la temporada, mientras que el nitrógeno muestra poca o ninguna absorción adicional después de unos 80 días después de la emergencia (Kelling *et al.*, 1998). Esta situación es una desventaja significativa para el cultivo, especialmente a la luz de su susceptibilidad a los patógenos que pueden degradar los sistemas radicales y vasculares, afectando negativamente la absorción y translocación del fósforo.

#### 4.5.2 Fertilización fosfatada en papa

Los niveles de fertilización recomendados de este nutriente son altos ya que se aprovecha solo el 30% del fósforo aplicado como fertilizante. Según Sierra (2002), el fósforo debe aplicarse localizado en bandas para mejorar su eficiencia de utilización principalmente en suelos con niveles deficientes. Lo anterior concuerda con lo planteado por Rosen (2014), indicando que el fertilizante fosfatado se usa más eficientemente cuando es aplicado en banda al momento de la siembra (a 5 cm a cada lado de la papa semilla).

La cantidad de fertilizante utilizado puede ser superior a 400 kg de  $P_2O_5$ /ha en la temporada, en un escenario de alto rendimiento, mientras que la mayoría de las otras especies de cultivos requieren alrededor de la mitad de la cantidad de P que la papa requiere. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la gran mayoría de la producción de papa se produce en los Estados del noroeste. En dichos Estados la proporción máxima de fertilizante recomendada es de 134 kg de  $P_2O_5$ /ha para el maíz (Brown *et al.*, 2010), mientras que la tasa máxima para papa va desde de 252 a 493 kg de  $P_2O_5$ /ha (Lange *et al.*, 1999; Stark *et al.*, 2004).

### 4.5.3 Criterios de fertilización fosfatada en papa

#### 4.5.3.1 Método racional

Estudios realizados por INIA en el sur de Chile plantean dosis de aplicación de acuerdo al método racional de cultivos de Rodríguez (1993), donde bajo una condición de suelo sin problemas de acidez se determinan las dosis requeridas para un determinado estándar productivo (Cuadro 5 y 6).

**Cuadro 5. Dosis de fertilización de referencia para P ( $P_2O_5$ ) por el método racional, según rendimiento a alcanzar y disponibilidad del nutriente de acuerdo al análisis de suelo para variedades Karú INIA y Patagonia INIA**

Tipo de suelo	Rendimiento esperado (t/ha)	Nivel de P-Olsen (mg/kg) (análisis de suelo a 20 cm de profundidad)					
		8	10	12	14	16	18
Trumao	25	0	0	0	0	0	0
	30	40	0	0	0	0	0
	40	183	86	0	0	0	0
	50	326	229	132	34	0	0
	60	469	372	275	178	80	0
Rojo Arcilloso	25	0	0	0	0	0	0
	30	36	0	0	0	0	0
	40	162	76	0	0	0	0
	50	290	204	117	30,5	0	0
	60	417	331	244	158	71,2	0

Se utiliza un factor de demanda de 0,5 kg por tonelada de rendimiento, un factor de absorción de 1,7 kg de P/ppm de P-Olsen y una eficiencia de fertilización fosfatada de 0.08 para suelo trumao y 0.09 para rojo arcilloso

Fuente: Sandaña, P. (2012)

**Cuadro 6. Dosis de fertilización de referencia para P(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), por el método racional, según rendimiento a alcanzar y disponibilidad del nutriente de acuerdo al análisis de suelo para la variedad Desirée, utilizando un factor de demanda de 0,35 kg por tonelada de rendimiento**

Tipo de suelo	Rendimiento esperado (t/ha)	Nivel de P-Olsen (mg/kg) (análisis de suelo a 20 cm de profundidad)						
		8	10	12	14	16	18	20
Trumao	25	22	0	0	0	0	0	0
	30	72	14,3	0	0	0	0	0
	40	171	115	57	0	0	0	0
	50	272	215	157	100	43	0	0
	60	372	314	257	200	143	86	29
Rojo Arcilloso	25	19	0	0	0	0	0	0
	30	64	13	0	0	0	0	0
	40	153	102	51	0	0	0	0
	50	242	191	140	89	38	0	0
	60	331	280	229	178	127	76	25

Factor de absorción de 1 kg de P/ppm de P-Olsen y una eficiencia de fertilización fosfatada de 0.08 para suelo trumao y 0.09 para rojo arcilloso

Fuente: Pinilla, H. (2015)

#### 4.5.3.2 Fertilización fosfatada de mantención

En casos que la dosis de recomendación sea igual a cero, se debe realizar una fertilización de mantención. Para la papa se debe considerar un factor de demanda de 0,35 para la variedad Desirée y 0,5 para las variedades Karú INIA y Patagonia-INIA, el cual se multiplica por las toneladas esperadas y se divide por el tipo de suelo (0,08 para un trumao y 0,09 para un rojo arcilloso, respectivamente) y el resultado se multiplica por 2,29 (factor de conversión de P a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Como se ve en el siguiente ejemplo:

#### Ejemplo de fertilización de mantención, para un suelo sin problemas de acidez

Variedad: Desirée

Rendimiento esperado: 40 Ton/ha

Suelo: rojo arcilloso

Nivel de fósforo: 15 ppm

Fertilización de mantención =  $((40 \times 0,35 - 15)/0,09) \times 2,29$

Fertilización de mantención =  $(1/0,09) \times 2,29$

Fertilización de mantención = 25 unidades P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## 4.6 Manejo del Potasio

La papa requiere altos niveles de potasio en concentraciones comparables e incluso mayores que el nitrógeno (Tindall, 1992; Tindall and Westermann, 1994). Elemento que es captado por las raíces desde la solución del suelo como ion potasio ( $K^+$ ).

La disponibilidad de potasio influye en la producción y tamaño de tubérculos en el peso específico, color y calidad de almacenamiento. Las deficiencias de potasio disminuyen la actividad fotosintética, reduciendo la producción de materia seca y almidón. Cuando la absorción de K es excesiva, este superávit se trasloca a los tubérculos causando una mayor absorción de agua y disminuyendo la gravedad específica.

### 4.6.1 Consumo de potasio

Según Stark *et al.*, (2004) la concentración de K óptima para la producción de tubérculos es de 1,8%. A esta concentración se requiere aproximadamente 0,22 kg de  $K_2O$  para producir 100 kg de papas. Un aumento en el volumen del cultivo a los 1.729 kg/ha/día requiere alrededor de 4.81 kg de k/ha/día, para mantener una óptima producción de materia seca. Los programas de fertilización de potasio deben ser diseñados para proporcionar suficiente cantidad a fin de mantener una concentración de K a un nivel óptimo en la planta durante todo el período de desarrollo de los tubérculos.

Según Sierra 2003, la cantidad total de potasio absorbido es más alta que la cantidad de nitrógeno, alcanzando a 480 kg de  $K_2O$  a los 77 días después de la siembra, para un rendimiento de 94 ton  $ha^{-1}$  en el cv Desirée. Esto equivale a tener una concentración de 250 mg  $kg^{-1}$  de potasio (K) en los primeros 20 cm de suelo, de los cuales el 65% se encuentra en el follaje y el 35 % restante en los tubérculos.

### 4.6.2 Recomendación de fertilización con potasio

La fuente de K tiene poco efecto en el rendimiento total, aunque el sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) tiende a producir ligeramente un mayor número de tubérculos y gravedades específicas más altas que el cloruro de potasio (KCl), particularmente cuando la fertilización potásica es aplicada en alta cantidad poco antes de la siembra. Las tasas de K deben mantenerse por debajo de 56 kg  $K_2O/ha$ , para evitar daños a los cultivos debido a los efectos de la sal del fertilizante. Las aplicaciones de fertilizante superior a 336 kg/ha deben dividirse entre aplicaciones de otoño y primavera para evitar las pérdidas de rendimiento (Stark *et al.*, 2004).

### 4.6.3 La fertilización potásica de acuerdo al método racional

Estudios realizados en INIA indican requerimientos de potasio en valores de 4,3 kg de K por tonelada, un factor de absorción de 1,15 kg K/mg K kg<sup>-1</sup> y una eficiencia de absorción de fertilización de un 60%. Otros autores como Pinilla indican valores 4,5 kg de K por tonelada, un factor de absorción de 1,5 y una eficiencia de absorción de fertilización de un 55%.

**Cuadro 7. Dosis de referencia de K<sub>2</sub>O, por al método racional. Considerando un factor de demanda de 4,3 kg de K por tonelada, un factor de absorción de K de 1,15 kg de K/mg de K kg<sup>-1</sup> y una eficiencia de absorción de fertilizante de 60%**

Rendimiento (t/ha)	K intercambiable (mg/kg)								
	25	50	75	100	125	150	175	200	225
25	158	100	43	0	0	0	0	0	0
30	201	143	86	28	0	0	0	0	0
40	287	229	172	114	57	0	0	0	0
50	373	315	256	200	143	85	26	0	0
60	459	401	344	286	229	171	114	56	0

En aquellas situaciones con “dosis cero” de potasio (Cuadro 7) se recomienda una fertilización de mantención equivalente a 3 kg K/tonelada cosechada, es decir, 3.6 kg de K<sub>2</sub>O/ton.

### 4.7 Calcio

El calcio es un macronutriente esencial que se requiere para el crecimiento vegetal y un factor que influye en la calidad del tubérculo. Aunque la relación entre el calcio y la calidad del tubérculo tiene un interés significativo, la investigación no ha establecido una relación directa. Clough (1994) y Olsen *et al.*, (1995) sugieren una posible relación entre la baja disponibilidad de calcio y la severidad de la mancha parda interna de los tubérculos. Bajo algunas condiciones de campo esta enfermedad se ha reducido por la fertilización con calcio.

El calcio es inmóvil en tejidos vegetales, y para ser trasladado a los tubérculos durante el crecimiento del cultivo, debe ser tomado por los estolones y/o raíces de los estolones. Por lo tanto, cualquier programa de fertilización con calcio debe estar diseñado para aumentar su concentración en la zona de formación de tubérculos. Para mantener la disponibilidad en esta zona debe considerarse la solubilidad y el potencial de lixiviación de los fertilizantes que aportan calcio. Según Stark *et al.*, (2004) a concentraciones de Ca intercambiable menores de 1,49 meq/100 g de suelo, indicaría una necesidad de suplementar con este elemento.



#### 4.7.1 Magnesio

Este elemento forma parte integral de la molécula de clorofila. La producción del cultivo depende en gran medida de su área fotosintética y que ella esté activa por largo tiempo, por lo que el aporte de este nutriente es básico para lograr dicho cometido. Además, este elemento es importante en las etapas de crecimiento del tubérculo ya que le otorga calidad durante el crecimiento.

Altas concentraciones de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  o  $NH_4^+$  en el suelo antagonizan la absorción de  $Mg^+$ , pudiendo inducir deficiencias de este nutriente (Ver Cuadro 2). Stark *et al.*, (2004) señalan que la concentración crítica de magnesio disponible en el suelo es de 100 mg  $kg^{-1}$  (0.83 cmol<sup>+</sup> de Mg intercambiable) bajo la cual este nutriente es limitante para el rendimiento del cultivo. Según Undurraga (2011), es importante considerar las relaciones entre cationes del suelo Ca/Mg, K/Mg, para evitar antagonismos entre los cationes que puedan interferir en la absorción. Se consideran estas relaciones adecuadas cuando el Ca/Mg se encuentra alrededor de 5 y K/Mg entre 0.2 y 0.3. De no ser así se recomienda balancear estas relaciones de modo que se acerquen a los valores definidos cuando se establece un programa de fertilización.

#### 4.7.2 Azufre

El azufre es un elemento esencial en el crecimiento y la producción de papa. La investigación indica que la relación entre tasa de aplicación y respuesta de la producción es limitada. Sulfato ( $SO_4^{-2}$ ) es un ion móvil y puede estar sujeto a lixiviación. Por lo tanto, la deficiencia de azufre puede ocurrir a principio de temporada, donde se podría lixiviar dado que el sulfato se movería por debajo de la zona radical (Lang *et al.*, 1999).

La aplicación de fertilizantes azufrados suele ser necesario en suelos donde los niveles de azufre, a profundidades de 0 a 30 cm, están por debajo de 15 ppm. Otras formas disponibles de la planta incluyen azufre mineralizado de la materia orgánica y de residuos de cultivos y azufre almacenado en forma de yeso ( $CaSO_4$ ) en la zona radical del cultivo (Stark *et al.*, 2004).

El sulfato de azufre ( $SO_4-S$ ) es fácilmente disponible para la absorción de la planta, pero es susceptible a lixiviación. El azufre elemental, por otra parte, necesita ser oxidado a  $SO_4$  antes de ser captado por las raíces. Cuando se aplica azufre elemental hay a menudo una demora significativa en la conversión a  $SO_4-S$  debido a la baja actividad de bacterias que transforman el S a sulfato. Este proceso es particularmente crítico bajo condiciones de suelos fríos y húmedos que retrasan aún más el proceso de oxidación. Una aplicación antes de la siembra de 34 a 45 kg  $SO_4-S$  / ha como sulfato de amonio o sulfato de potasio es suficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo (Stark *et al.*, 2004).

### 4.7.3 Micronutrientes

Aunque hay datos limitados para apoyar una respuesta económica a la aplicación de micronutrientes tales como boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn) o cobre (Cu), la idea de aplicar mezclas de fertilizantes completos que contienen estos nutrientes es atractiva para muchos productores. Dichos nutrientes son necesarios solo en pequeñas cantidades, pero son esenciales para el crecimiento vegetal (Lang *et al.*, 1999). Las concentraciones de zinc del suelo sobre 1,0 ppm (extraídas con DTPA) se consideran suficientes, mientras que las concentraciones de suelo <0,8 ppm pueden causar síntomas de deficiencia recomendándose aplicaciones de 11 kg Zn equivalente/ha (Lang *et al.*, 1999). La aplicación de boro se requiere en niveles bajos para un crecimiento óptimo. Un exceso de boro puede tener un impacto negativo en el crecimiento debido a la toxicidad para la planta y debe ser evitado. Las tasas de aplicación recomendadas varían de 0 a 5,6 kg B/ha (Lang y Stevens, 1997). El boro se debe aplicar en una aplicación incorporada y no en bandas.

### 4.8 Criterio de fertilización basado en tablas de fertilización referencial

Otro criterio ampliamente utilizado tiene que ver con el uso de tablas o valores de fertilización referencial, los cuales se basan en antecedentes experimentales donde se consideran condiciones de suelo, opinión de colaboradores técnicos, factores económicos, y también criterio de sustentabilidad de los recursos edáficos para mantener o incrementar la fertilidad de los suelos. Este criterio utiliza rangos de fertilización de acuerdo al **Sistema de Recomendación de Fertilización** para el cultivo de papa que utiliza en forma rutinaria el Laboratorio Central de Análisis de Suelos de INIA. Estas recomendaciones consideran las características propias de suelos y resultados experimentales de ensayos de fertilización de papa desde la década de los años 70's a la fecha. En el cuadro 8 se presentan fertilizaciones referenciales para la Región de La Araucanía con un rendimiento de papa de 35 a 45 ton/ha en suelos andisoles y ultisoles.

**Cuadro 8. Guía de fertilización del cultivo de papa en la Región de La Araucanía para un rendimiento potencial de ( 35-45 ton/ha). (Adaptado de Undurraga, P., e Hirzel, J.2011)**

Nutriente a aplicar	Parámetro de suelo o de manejo usado como indicador de dosis	Valor de referencia usado en la recomendación	Dosis referencial del nutriente (kg/ha) Andisol	Dosis referencial del nutriente (kg/ha) Ultisol
N	Pre cultivos y residuos de cosecha	Cultivos anuales	130 -145	140 -160
		Cultivos y praderas	110 -130	120 -140
		Pradera (> 4 años)	80 -105	95 -100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P Olsen (mg/kg)	<10	360 – 400	290 - 320
		10-16	280 – 340	225 - 260
		>16	190 – 240	145 - 190
K <sub>2</sub> O	K intercambiable (cmol/kg)	< 0,25	250 – 290	290 - 320
		0,25-0,5	190 – 240	240 - 280
		>0,5	130 -175	160 - 230
CaCO <sub>3</sub>	Sat. Al %	>10	3000 - 40000	2500 - 3000
		5-10	1500 - 2500	1200 - 2000
		<5	0 – 1200	0 - 1000
MgO	Mg intercambiable (cmol/kg)	<0.5	30 – 40	35 - 50
		0,5-1,0	20 – 30	25 - 35
		>1	5 – 15	10 - 25
S	S disponible (mg/kg)	< 10	40 – 45	40 - 55
		10-18	15 – 30	20 - 35
		>18	10 -15	10 - 20
B	B disponible (mg/kg)	<0,5	2,5 – 3,0	2.5 - 3.0
		0,5 - 1	1,5 – 2,5	1,5 – 2,5
		>1	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0
Zn	Zn disponible (mg/kg)	<0,5	1,5 – 2,5	1,5 – 2,5
		0,5 – 1	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5
		>1	0 – 1,0	0 – 1,0

#### 4.8.1 Fertilizantes utilizados en papa

En general, los fertilizantes son sales aplicadas al suelo para suplir la necesidad de un cultivo. Existen fertilizantes simples y compuestos, los primeros poseen en su concentración un elemento y los segundos poseen dos o más elementos nutritivos cuadro 9. Además, el mercado ofrece mezclas físicas que pueden incluir tres o más elementos, siendo útiles cuando se adaptan a las necesidades del cultivo.

#### 4.8.2 Conclusiones

Basados en la información presentada en el presente capítulo, **se establece que existe más de un criterio para definir un plan de fertilización para el cultivo de papa.** En tal sentido se cuenta con un método racional y un criterio de fertilización referencial. Definir cuál es más, o menos eficiente, no es tarea fácil, pero si se puede utilizar una mezcla de ambos criterios para definir una fertilización óptima y eficiente que cumpla las expectativas productivas del agricultor, y que además sea amigable con el medio ambiente, cuidando el recurso suelo/agua y haciendo sustentable el sistema productivo.

La realidad regional indica muchas veces **que no se utilizan bien las herramientas disponibles como criterio de fertilización, comprometiendo pérdidas económicas para el productor y daño para el medio ambiente. Por lo cual, la recomendación final debe considerar todos los factores relacionados, no existiendo una receta única de fertilización, pues cada sistema productivo es único.**

**Cuadro 9. Fertilizantes simples y compuestos**

Fertilizante	Nitrógeno ( N )	Fósforo ( P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio ( K <sub>2</sub> O )	Calcio ( CaO )	Azufre ( S )	Magnesio (MgO)	Boro (B)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)	Molibdeno (Mo)	Sodio Na	N-nitrógeno (%)
Nitrato de sodio	16												26	100
Complejo NK 15-0-14	15		14										18	100
Supernitro monogramo	25		0.35		0.1	0.2							18	50
Urea	46													
Sulfato de amonio	21				24									
Nitrato de amonio	33				0.1									50
Nitrato de amonio cálcico CAN27	27					14								50
Nitrato de amonio cálcico magnésico CAN 22	22			10		7								50
Nitrato de amonio cálcico magnésico CAN27	27			6		4								50
Superfosfato normal		22		28	12									

Fertilizante	Nitrógeno (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)	Calcio (CaO)	Azufre (S)	Magnesio MgO	Boro (B)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)	Molibdeno (Mo)	Sodio Na	N-nítrico (%)
Superfosfato triple		46		20	1									
Fosfato monoamónico	11	50		2.4	2	0.1								
Fosfato diamónico	18	46												
Cloruro de potasio			60											
Nitrato de Potasio	13.5		44											100
Nitrato de Potasio y magnesio	14		40			4								
Sulfato de potasio			50											
Sulfato de magnesio (kieserita)					20	25								
Óxido de magnesio						90-99								
Boronato calcita							10							
Ácido Bórico							17							
Óxido de zinc											78			
Sulfato de manganeso										32				

## Literatura consultada

Brown, B., J. Hart, D. Horneck, and A. Moore. 2010. Nutrient management for field corn silage and grain in the inland Pacific Northwest. PNW 615. Moscow: University of Idaho Agricultural Communications.

Clough, G.H. 1994. Potato tuber yield, mineral concentration, and quality after calcium fertilization. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:175-179.

Fixen, P.E., and T.W. Bruulsema. 2014. Potato Management Challenges Created by Phosphorus Chemistry and Plant Roots. *American Journal of Potato Research.* 91: 121-131.

Kelling, K.A., S.A. Wilber, R.F. Hensler, and L. M. Massie. 1998. Placement and irrigation effects on nitrogen use efficiency. *Proc. Wisconsin Annu. Potato Meet.* 11:79-88.

Lang N.S., Stevens R.G., Thornton R.E., Pan W.L. Victory S. 1999. Potato Nutrient Management For Central Washington. Cooperative Extension Washington State University [<http://potatoes.wsu.edu/wp-content/uploads/2014/11/lang.pdf>].

Lang, N.S. and R. G. Stevens. 1997. Survey of central Washington fertilizer recommendations. *Proc. Wash. State Potato Conf.* (In press).

Lauer, D.A. 1984. Response of RB potatoes to sprinkler – applied N fertilizer on Sandy soil. *Proc. Wash. State Potato Conf.* pages 39-49.

Marschner H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York. Pages 674.

Mikkelsen R., 2015. Phosphorus Management for Potatoes. *Better Crops/Vol. 99* (2015, N°4).

Olsen, N.L., L.K. Hiller, L.J. Mikitzel, R.E. Thornton, and W.L. Pan. 1995. Internal Brown spot (IBS) development in greenhouse grown 'Russet Burbank' tubers. *Proc. Wash. State Potato Conf.* Pages 29-35.

Rodríguez J., 1993. La fertilización de los cultivos un método racional. Publicación de la Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 291 p.

Rodríguez J., Pinochet D., Matus F., 2001. La fertilización de los cultivos, Santiago de Chile 117 p.

Rosen C., Kelling K., Stark J., Porter G., 2014. Optimizing Phosphorus Fertilizer Management in Potato Production. *Am. J. Potato Res.* (2014) 91:145-160.

Sandaña P., 2012. Fertilización del cultivo de papa. Ficha técnica 06 papa. INIA Remehue.

Sandaña P., Santos J., Orena S., Kalazich J., 2012 Fertilización Nitrogenada para el Cultivo de Papa en la Zona Centro-Sur de Chile. Informativo 108, INIA Remehue.

Sierra C., Santos R., Kalazich J., 2002. Manual de Fertilización del Cultivo de la Papa en la Zona Sur de Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 76. 104 p.

Stark J., Westermann D., Hopkins B., 2004. Nutrient Management Guidelines for Russet Burbank Potatoes. University of Idaho Extensión. Pages 12.

Undurraga P., Hirzel, J. 2011. Fertilización del cultivo de la papa. En Fertilización de Cultivos en Chile, Hirzel J (eds). Instituto de investigaciones Agropecuarias. 434p

