

# Capítulo VIII

## Fertilización y requerimientos nutricionales del cultivo de papas

### Autor:

Patricio Sandaña G.  
Ingeniero Agrónomo M.Cs. Ph. D.  
INIA Remehue

### INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa en Chile se concentra principalmente en la zona sur y se extiende hasta Magallanes. Es un cultivo que se realiza principalmente en condiciones de secano y es realizado por pequeños agricultores con rendimientos promedios de 25 ton/ha. Sin embargo, en muchas partes del país, el rendimiento que alcanzan los productores está muy por debajo de los rendimientos potenciales del cultivo (Haverkort et al., 2014). Para incrementar los rendimientos de este cultivo es necesario realizar una agronomía eficiente que permita incrementar los rendimientos con un uso eficiente de los recursos (agua y nutrientes). La correcta fertilización del cultivo es uno de los factores más importantes por su efecto directo en el rendimiento y en la sustentabilidad del cultivo (Sandaña y Kalazich, 2015b). Por lo tanto, aplicar la dosis mínima óptima es de gran importancia para alcanzar las metas de rentabilidad y sustentabilidad. El objetivo del presente capítulo es poder mostrar al lector las bases teóricas de una



fertilización racional basada en los conceptos de la demanda, suministro y eficiencia de fertilización para la estimación de la dosis de fertilización con los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio. Finalmente, se describe la calculadora de fertilización del cultivo de la papa, como una herramienta que engloba los conceptos anteriormente expuestos y que permite simplificar la estimación de las dosis de fertilización razonada en el cultivo de la papa.

### REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO

La disponibilidad de nutrientes en el momento, cantidad y forma aprovechable, de acuerdo a las necesidades del cultivo, es uno de los factores más importante que podrían limitar el rendimiento y calidad de los tubérculos. Al igual que en otros cultivos, los nutrientes esenciales son aquellos que:

- En su ausencia el cultivo es incapaz de completar su ciclo
- Cuya función no puede ser reemplazada por otro nutriente
- Deben estar involucrados en una función metabólica o formar parte de algún compuesto

Existen 16 nutrientes esenciales, los cuales son obtenidos desde el aire y el agua (Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O)) y desde el suelo (Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl)). Además, este último grupo de nutrientes se clasifican en macro y micronutrientes, donde los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) corresponden a aquellos que son requeridos por el cultivo en mayores concentraciones, mientras que los micronutrientes (Zn, Mn, Fe, Cu, B, Cl y Mo) son aquellos que son requeridos en concentraciones muy bajas (Cuadro 15). Por lo tanto, es más común encontrar suelos deficientes en macronutrientes.

Entre los macronutrientes, hay que tener especial cuidado con los nutrientes N-P-K, debido que N y K se absorben en grandes cantidades (por sus altas concentraciones en biomasa) ya que los suelos, en su forma natural, presentan bajos niveles de P y una alta capacidad de fijación de este nutriente (suelos de origen volcánico). Es por esta razón que, en general la fertilización se centra, principalmente, en los nutrientes N-P-K.

Una vez que las deficiencias nutricionales de estos nutrientes han sido subsanadas, es recomendable corregir las deficiencias de micronutrientes.

**Cuadro 15.** Macro y micronutrientes (concentración y absorción) de un cultivo de papa que produjo 56 ton/ha con una producción total (follaje más tubérculos) de materia seca equivalente a 15.000 kg de materia seca total por hectárea (adaptado de Westermann, 2005) am. J Pot. Res.

Nutriente	CONCENTRACIÓN EN MATERIA SECA TOTAL (%)	ABSORCIÓN TOTAL (Kg/ha)
<b>Macronutrientes</b>		
Nitrógeno (N)	1,57	235
Fósforo (P)	0,21	31
Potasio (K)	1,70	255
Calcio (Ca)	0,61	91
Magnesio (Mg)	0,42	63
Azufre (S)	0,15	22
<b>Micronutrientes</b>		
Zinc (Zn)	0,00080	0,12
Manganeso (Mn)	0,00667	1,0
Fierro (Fe)	0,01333	2,0
Cobre (Cu)	0,00067	0,1
Boro (B)	0,00133	0,2
Cloro (Cl)	0,01533	2,3
Molibdeno (Mo)	0,00004	0,006

Desde la emergencia, el cultivo de la papa comienza a utilizar la energía solar y el CO<sub>2</sub> atmosférico para iniciar su crecimiento aéreo y subterráneo, a través, del proceso de fotosíntesis. Deficiencias de N y P afectarán fuertemente la captura de energía solar (Vos, 2009; Sandaña and Kalazich, 2015a).

Para la formación de nuevas estructuras, es vital la absorción de nutrientes esenciales, los cuales son absorbidos desde la solución del suelo (Figura 41). Por esta razón, es de gran importancia evitar el déficit hídrico durante las primeras etapas del cultivo.

La cantidad total de nutriente a absorber, dependerá del potencial de crecimiento del cultivo, el cual depende de las condiciones climáticas durante su ciclo (temperatura, radiación solar y precipitaciones) y del manejo agronómico. En la medida que el cultivo crece, este acumula tanto biomasa

como nutrientes y aproximadamente el 80% del N y P se acumula en los primeros 80 días desde la emergencia del cultivo (Sierra et al., 2002), por lo tanto, estos nutrientes deben estar disponibles, en cantidades suficientes, desde la emergencia del cultivo, para satisfacer la demanda de crecimiento. Es por esta razón que se recomienda fertilizar 100% de la dosis de N-P-K a la plantación del cultivo, sobre todo en condiciones de sequo.

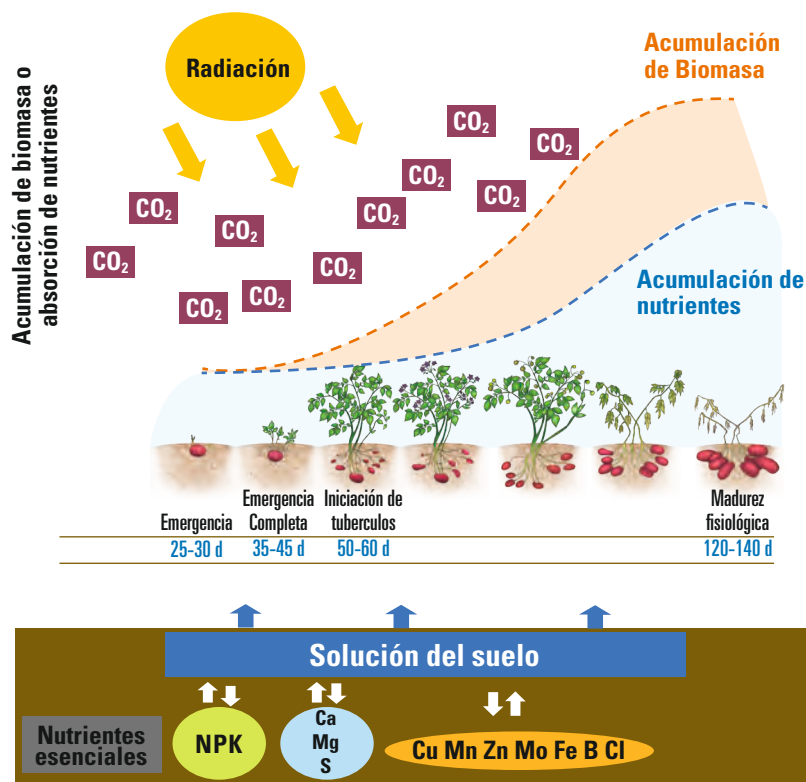


Figura 41. Modelo descriptivo de crecimiento y absorción de nutrientes esenciales en el cultivo de la papa.

## FUNCIONES Y SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

### NITRÓGENO (N)

El cultivo absorbe este nutriente como nitrato (NO<sub>3</sub>) y amonio (NH<sub>4</sub>). El N es el componente principal de proteínas y enzimas responsables de la fotosíntesis del cultivo. Es por esto, que está principalmente ligado al

crecimiento del cultivo. La deficiencia de este nutriente, se traduce desde la emergencia del cultivo, en una reducción de la fotosíntesis y cobertura del cultivo, por lo tanto, el cultivo es deficiente en la captura y uso de la energía solar (Figura 42 y 43).

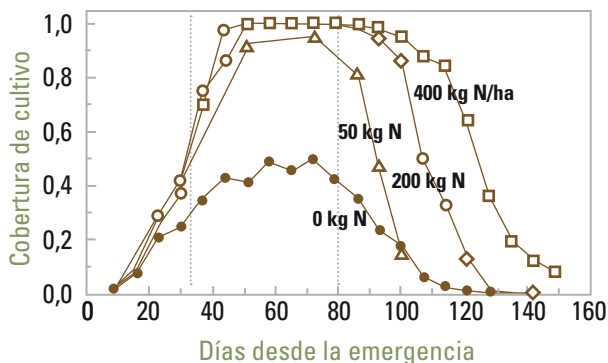


Figura 42. Cobertura del cultivo de papa durante el ciclo de cultivo en respuesta a distintas dosis de fertilización nitrogenada (0, 50, 200 y 400 kg N/ha) Adaptado de Vos (2009).



Figura 43. Cultivo de papa sin fertilización nitrogenada (Izq.) y con fertilización nitrogenada (Der.).

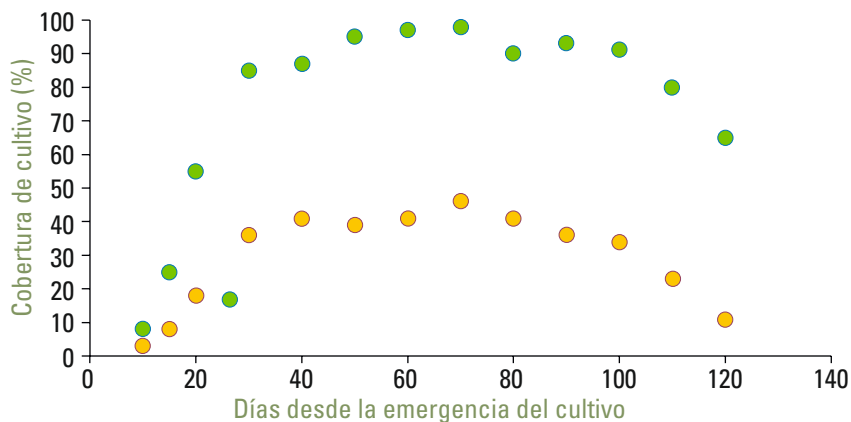
## FÓSFORO (P)

Este nutriente está principalmente involucrado en los procesos energéticos del funcionamiento celular. Similarmente al N, en suelos deficientes, esta deficiencia se presenta desde la emergencia y se traduce en una reducción de área foliar y cobertura del cultivo (Figura 44).

En suelos con niveles muy bajos de P (ej.: 4 mg/kg de P Olsen) el cultivo puede llegar a floración con una muy baja producción de follaje y muy

poca cobertura foliar, gran parte del suelo queda sin cubrir (Figura 45) y, por lo tanto, gran parte de la energía solar pasa directamente al suelo, no siendo aprovechada por el cultivo.

La sensibilidad a la deficiencia de P puede variar dependiendo del genotipo de papa utilizado. En un estudio realizado en Osorno se observó que variedades INIA presentan una mayor tolerancia a deficiencia de P en comparación a variedades introducidas desde otros países (Sandaña, 2016).



**Figura 44.** Cobertura del cultivo de papa sin (símbolos amarillos) y con (símbolos verdes) fertilización fosforada (300 kg P/ha).



**Figura 45.** Cultivo de papa variedad Yagana-INIA con deficiencia, sin fertilización fosforada (Izq.) y sin deficiencia de fósforo con aplicación de 300 kg  $P_2O_5$ /ha (Der.). El contenido inicial de P en el suelo fue de 7 mg P/kg de P-Olsen, según análisis de suelo. INIA Remehue, 2012.

## POTASIO (K)

Este nutriente es importante para la apertura y cierre de estomas, por donde se hace el intercambio gaseoso. Además, es importante en el transporte de fotoasimilados desde las hojas a los tubérculos en crecimiento. Su deficiencia igualmente provoca una menor cobertura de cultivo, plantas achaparradas y hojas amarillentas en sus bordes con necrosis (Figura 46).



**Figura 46.** Cultivo de papa con deficiencia, sin fertilización potásica (Izq.) y sin deficiencia de potasio, aplicación de 350 kg KCl (Der.) y hojas con síntomas de deficiencia (Inf.). El contenido inicial de K disponible en el suelo fue de 95 mg K/kg, según análisis de suelo con rendimientos de 22 y 65 ton/ha en el tratamiento sin y con fertilización potásica, respectivamente.

## DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DE SUELO

Para el diagnóstico de la fertilidad de suelo, es necesario realizar un análisis químico del terreno a cultivar. Para esto se debe realizar un correcto muestreo de suelos antes de la plantación. Existen varias alternativas para tomar la muestra de suelo, lo importante es realizarlo correctamente, independiente de los materiales que se utilicen.

La muestra que se envía al laboratorio es una mezcla de varias submuestras de suelo, dependiendo de la superficie del terreno. Se recomiendan terrenos de no más de 10 hectáreas y en él recolectar entre 20 a 25 submuestras. Por lo tanto, para la recolección de submuestras se debe establecer un diseño de muestreo para lograr que éste sea representativo del potrero completo, evitando sectores próximos a cercos, ingresos a potrero, canales de regadío, sectores donde hubo confinamiento animal, debajo de árboles, huellas de tractor y caminos. Una vez establecida la unidad de muestreo, se procede a recolectar las submuestras recorriendo la unidad establecida en zig-zag, o en cualquier otra forma sistemática (Figura 47), tomando una submuestra cada cierta distancia.

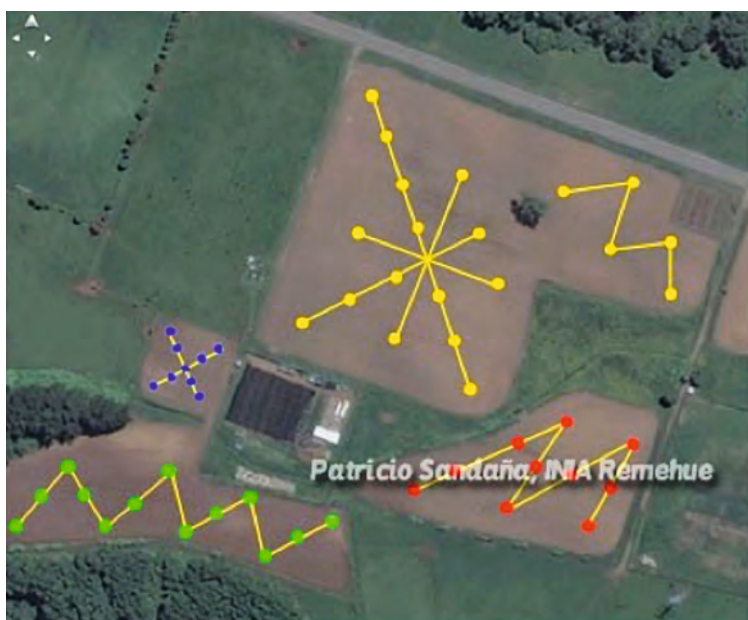


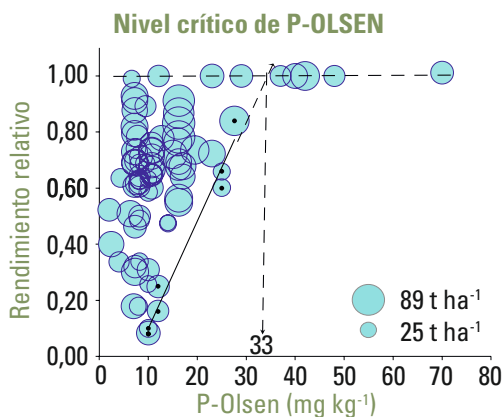
Figura 47. Ejemplos de diseño de muestreos para obtener submuestras de suelo según tamaño y forma del potrero.

La submuestra para cultivos debe ser tomada en los primeros 20 cm de profundidad, ya que en esa superficie se encuentra la mayor cantidad de raíces. No incorporar la cubierta vegetal en la submuestra. Todas las submuestras se van agregando a un balde plástico o bolsa plástica limpia. Una vez obtenidas todas las submuestras se procede a mezclar bien el contenido del balde para luego extraer una sola muestra homogénea (aproximadamente de 1 kg) que será enviada al Laboratorio. Acompañar la muestra con los antecedentes e identificación en el formulario proporcionado por el laboratorio. Si no es posible enviar la muestra de inmediato a laboratorio, es necesario mantenerla en un lugar fresco y/o refrigerado (en la sección de verduras del refrigerador). Esto minimizará potenciales cambios en la muestra producto de altas temperaturas que incrementan la actividad de microorganismos del suelo.

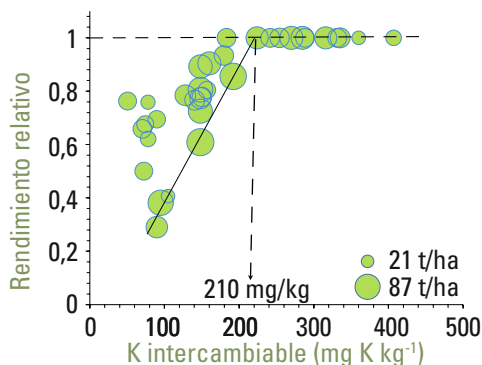
El análisis de suelo entregará información importante para definir criterios de fertilización y determinar la dosis de macronutrientes. Por ejemplo, en base a experimentos realizados en distintas temporadas y zonas del país se ha logrado definir niveles críticos de P (P-Olsen) (Sandaña et al., 2018) y K intercambiable en el suelo (Gráficos 22 y 23).

En el caso del P, se ha establecido que suelos en los cuales el nivel de P-Olsen (según análisis de suelo) es menor a 33 mg/kg P-Olsen es necesario realizar una fertilización de corrección, ya que es probable que los cultivos sufran deficiencia de P, mientras que suelos con niveles superiores a este umbral, deberán ser fertilizados solo con dosis de mantención (0,5 kg de P/ tonelada de papa cosechada), ya que el cultivo no responderá a la fertilización fosforada.

Similarmente, en el caso del K se ha establecido un nivel crítico de 210 mg K/kg de potasio intercambiable (Gráfico 23), lo cual implica que suelos con niveles menores a este umbral deberán ser fertilizados para corregir K, mientras que suelos con valores superiores a 210 mg K/kg deberán ser fertilizados solo con dosis de mantención equivalente a 3 kg de K por tonelada de papa cosechada. Por lo tanto, estos dos ejemplos resaltan la importancia de realizar análisis químico de suelo (a partir de muestras de suelo correctamente tomadas), ya que es la única forma de poder cuantificar el nivel de fertilidad que posee un determinado suelo. Es necesario destacar que estos umbrales críticos de P y K son solo útiles para el cultivo de la papa y no para otros cultivos.



**Gráfico 22.** Rendimiento relativo en relación al contenido inicial de P-Olsen. El nivel crítico de fósforo en el suelo (33 mg/kg P-Olsen) indica que por debajo de este valor se han observado reducciones del rendimiento cuando el cultivo no se fertiliza con P. Por el contrario, cultivos en suelos con valores de P-Olsen inicial sobre 33 no responderán a la fertilización fosforada. Cada círculo corresponde a un experimento en el cual se comparó el rendimiento de un tratamiento sin fertilización fosforada y un tratamiento con alta dosis de P (rendimiento sin P/rendimiento con P). Rendimientos relativos menores a 1 indican distintos grados de reducción del rendimiento (de deficiencia de P). Sobre el umbral de 33 mg/kg P-Olsen debería realizarse solo fertilización de mantenimiento. Adaptado de Sandaña et al., (2018).



**Gráfico 23.** Rendimiento relativo en relación al contenido inicial de K intercambiable. El nivel crítico de K en el suelo (210 mg K/kg) indica que por debajo de este valor se han observado reducciones del rendimiento cuando el cultivo no se fertiliza con K. Por el contrario, cultivos en suelos con valores de K intercambiable sobre el nivel crítico no responderán a la fertilización potásica. Cada círculo corresponde a un experimento en el cual se comparó el rendimiento de un tratamiento sin fertilización potásica y un tratamiento con alta dosis de K (rendimiento sin K/rendimiento con K). Rendimientos relativos menores a 1 indican distintos grados de reducción del rendimiento (de deficiencia de K). En suelos con contenidos de K sobre el nivel crítico (210 mg K/kg intercambiable) debería realizarse solo fertilización de mantenimiento equivalente a 3 kg de K por tonelada de papa cosechada.

## ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN

Si bien el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) están presentes en todos los suelos, puede ocurrir que se encuentren en niveles deficientes para el cultivo, afectando negativamente su área foliar, la intercepción de radiación (Sandaña y Kalazich, 2015a) y, finalmente, el rendimiento (Sandaña, 2016). Por lo tanto, en estos casos es necesario realizar una fertilización con el nutriente en cuestión. Por otro lado, una producción rentable y sustentable en el cultivo de papa requiere de un manejo racional de la fertilización. Por lo tanto, las dosis de fertilización deben ser establecidas a partir del balance entre **demanda, el suministro del nutriente y la eficiencia de fertilización**.

Estos factores implican que no existe una dosis única de fertilización. Cada productor debe calcular su propia dosis de fertilización en función de su ambiente productivo (clima y suelo); requerimientos del cultivo (variedad y manejo agronómico) y de las características propias del agricultor (conocimiento y nivel tecnológico).

Todos estos factores interactúan entre sí, determinando las variables que definen una dosis de fertilización, es decir, demanda de nutriente por el cultivo, suministro del nutriente desde el suelo y eficiencia de la fertilización. De esta manera, usando el conocimiento e información de las variables señaladas, es posible estimar la dosis de fertilización usando la siguiente fórmula:

$$DOSIS\ DE\ FERTILIZACIÓN = \frac{DEMANDA - SUMINISTRO}{EFICIENCIA\ DE\ FERTILIZACIÓN}$$

### DEMANDA DE NUTRIENTE

Es la cantidad total del nutriente que absorberá el cultivo durante la temporada. Se define como el producto entre la materia seca total a alcanzar (según el rendimiento esperado) y la concentración mínima óptima del nutriente en dicha materia seca. Se relaciona directamente con el rendimiento que se espera alcanzar. En la medida que aumenta el rendimiento de un cultivo, mayor será la absorción total del nutriente (demanda).

Para el N, P y K se ha establecido un factor de demanda de 2,56 kg N; 0,47 kg P; y 4,0 kg K por cada tonelada de papa a producir. En este sentido, es de gran importancia poder definir el rendimiento que se puede alcanzar en los sistemas productivos de papa en Magallanes.

Por ejemplo, en experimentos realizados en INIA Kampenaiké (con semilla de calidad Pukará INIA, sin deficiencias nutricionales y bajo riego por goteo) se han observado rendimientos que han fluctuado entre 19 y 52 ton/ha, dependiendo de la temporada. **Por lo tanto, un rendimiento alcanzable para Magallanes sería alrededor de 50 ton/ha. Este rendimiento equivaldría a una demanda de nutrientes de 128 kg N, 23 kg P/ha y 200 kg K/ha ( $N = 2,56 \times 50$ ;  $P = 0,47 \times 50$  y  $K = 4,0 \times 50$ ).**

## SUMINISTRO DE NUTRIENTE

Es la cantidad de nutriente que puede ser aportado por el suelo durante el desarrollo del cultivo. Por lo tanto, es muy importante realizar un análisis químico del suelo antes del cultivo.

Con respecto al suministro de nitrógeno, se ha observado que la absorción de N en tratamientos sin fertilización nitrogenada fluctuó entre 42 kg N/ha y 172 kg N/ha. Por lo tanto, el suelo podría al menos aportar una cantidad en promedio de 50 kg de N/ha.

En experimentos (tres temporadas entre el 2016-18) **sin fertilización nitrogenada, realizados en INIA-Kampenaiké se estimó que el cultivo, con rendimientos promedios de 24 ton/ha, absorbió en promedio 59 kg N/ha, el cual fue el suministro de N del suelo aportado por el suelo.**

En el caso del suministro de P, hay que tener en cuenta, además, la capacidad del cultivo para absorber P (factor de absorción).

En distintos experimentos se ha observado que, en promedio, el factor de absorción de P es de 1,5 kg de P por cada unidad de P-Olsen (valor de P que entrega el análisis de suelo). Esto significa que si un suelo tiene 10 mg P-Olsen/kg (según análisis de suelo) el suministro de P será de 15 kg P/ha ( $10 \times 1,5$ ). Por otro lado, a partir de los resultados de diferentes experimentos, se ha identificado un nivel umbral de P-Olsen en el suelo por debajo del cual se presentan deficiencias y con ello reducción del rendimiento (Gráfico 22). En estos casos es recomendable realizar fertilización fosforada de corrección para alcanzar los 33 mg P/kg de P-Olsen. Por sobre este nivel, debería realizarse solo fertilización de mantención (0,5 kg de P/tonelada de papa cosechada).

Respecto de los requerimientos de K en el cultivo de la papa, con niveles iguales o superiores a 210 mg K/kg (Gráfico 23), el cultivo no responde a la

fertilización y solo requiere una fertilización para mantener los niveles de K en el suelo (3 kg K/tonelada de papa cosechada). El umbral de 210 mg K/kg (Gráfico 23) fue obtenido a partir de diversos experimentos realizados anteriormente, donde se determinó la reducción del rendimiento bajo diferentes disponibilidades de K, según análisis químico inicial de los suelos.

Cualquier productor que desee realizar un cultivo comercial de papa es fundamental que previamente realice un análisis del suelo que va a plantar. Esto le permitirá tomar decisiones acertadas, respecto de las dosis de fertilizantes a aplicar y, por lo tanto, permitirá reducir los costos y/o alcanzar los rendimientos esperados, según condición ambiental y el manejo agronómico del cultivo.

### EFICIENCIA DE FERTILIZACIÓN

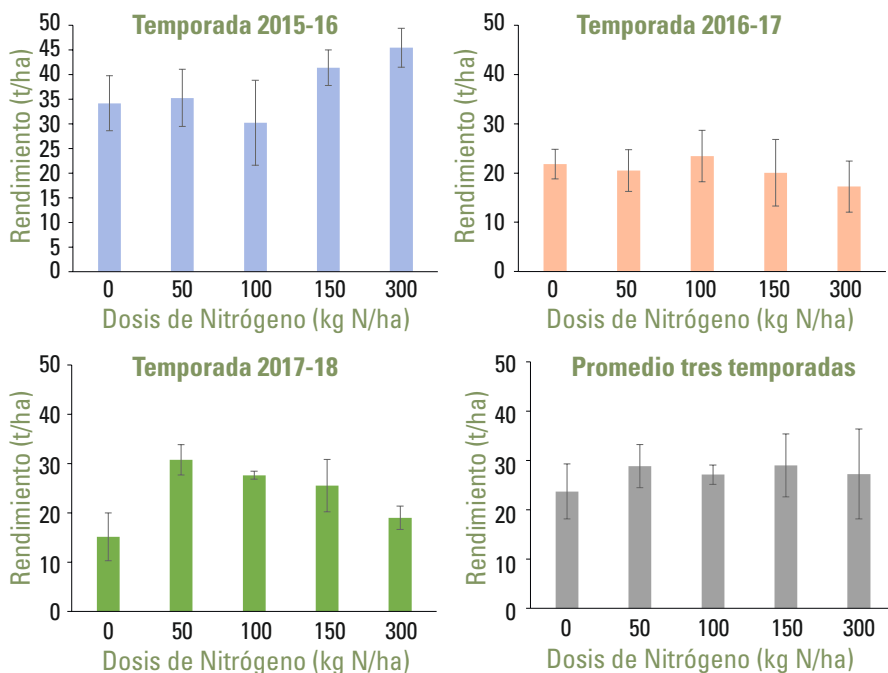
Corresponde a la fracción del nutriente total aplicado que será absorbido por el cultivo, la que depende del tipo de suelo y de la tecnología de aplicación del fertilizante (forma y momento de aplicación).

En el caso del N, se ha establecido que la eficiencia de fertilización nitrogenada fluctúa entre 50 y 55%. Respecto de la eficiencia de fertilización fosforada para los suelos presentes en el sur de Chile, se considera entre un 10-14%, dependiendo del tipo de suelo. En el caso del K, se han observado eficiencias de fertilización entre 50-60%. Para la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica eficiente, se recomienda localizar e incorporar el 100% de la dosis en el surco al momento de la plantación del tubérculo semilla.

### RESULTADOS DE ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN REALIZADOS EN KAMPENAIKE

Experimentos realizados durante tres temporadas evaluando distintas dosis de fertilización nitrogenada, han demostrado que los rendimientos pueden fluctuar en promedio, dependiendo de la dosis y temporada de crecimiento, entre 15 y 45 ton/ha. Estos valores corresponden al tratamiento sin fertilización (temporada 2017-18) y el tratamiento de máxima dosis en la temporada 2015-16, respectivamente (Figura 48). La dosis de máxima respuesta en rendimiento correspondió a 300 kg N en la temporada 2015-16 y 50 kg N en la temporada 2017-18, mientras que en la temporada 2016-17 no existió respuesta a la fertilización. Lo anterior demuestra que

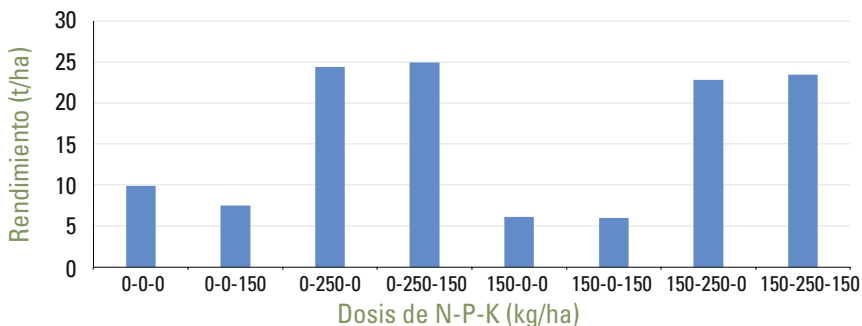
no existe una dosis única de fertilización, ya que de una temporada a otra tanto las condiciones climáticas como el suelo utilizado cambian afectando el crecimiento y el suministro de N desde el suelo. Al promediar las tres temporadas se observó que la dosis de N que maximiza el rendimiento está entre 50 y 100 kg N/ha. Por otro lado, el máximo rendimiento observado (45 ton/ha) podría ser utilizado como un rendimiento de referencia para calcular futuras dosis de fertilización (ver sección calculadora de fertilización).



**Figura 48.** Rendimiento del cultivar Pukará INIA en respuesta a dosis crecientes de N, en ensayos realizados durante tres temporadas en INIA Kampenaike.

En otro experimento realizado durante la temporada 2017-18 en INIA Kampenaike, en el cual se evaluaron distintas combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio se observaron rendimientos que fluctuaron entre 6 y 25 ton/ha (Gráfico 24). Los resultados de rendimiento muestran claramente que cuando el cultivo no fue fertilizado con fósforo, el rendimiento fue solo un 30% del potencial alcanzado con una fertilización fosforada (250 kg  $P_2O_5$ /ha). Lo anterior refleja la existencia de una deficiencia de fósforo y concuerda con el análisis de suelo que demostró un contenido inicial de fósforo de 9 mg/kg. Este valor está muy debajo del óptimo para el cultivo de la papa (33

mg/kg). Por lo tanto, para planificar una correcta fertilización del cultivo es muy necesaria la realización de un análisis de suelo del potrero a plantar.



**Gráfico 24.** Rendimiento del cultivar Yagana-INIA en respuesta a distintas dosis de nitrógeno, fósforo y potasio en un ensayo realizado durante la temporada 2017-18 en INIA-Kampenaiké. Los tres dígitos en cada barra indican la dosis de nitrógeno-fósforo-potasio utilizada. Ejemplo, el tratamiento 0-250-0 indica que el cultivo solo recibió 250 kg de fósforo.

## CALCULADORA DE FERTILIZACIÓN RAZONADA

La calculadora de fertilización del cultivo de papa (Sandaña, 2015c) es una herramienta útil para simplificar el cálculo de la dosis de fertilización, ya que resume e integra información y conocimiento obtenido a partir de resultados de investigación realizados por INIA en distintas zonas del sur de Chile.

Los experimentos involucraron distintas dosis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, los que permitieron estimar los parámetros necesarios para una fertilización racional del cultivo. La calculadora estima una **dosis de fertilización** tomando en consideración aspectos de la **demanda del nutriente**, el **suministro del nutriente** desde el suelo y la **eficiencia de la fertilización**, según cada nutriente. De esta forma, usando el conocimiento e información de las variables señaladas, es posible estimar la dosis de fertilización usando la calculadora. Esta calculadora se divide en tres secciones: a) Determinación de la dosis del nutriente, b) determinación de la dosis del fertilizante y c) determinación de la dosis de mantención para P y K.

### SECCIÓN I: CÁLCULO DE LA DOSIS DE NUTRIENTES (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y KCl en kg/ha)

En la primera sección de la calculadora, se deberán ingresar los siguientes datos para estimar la dosis del nutriente (Figura 49).

1. Seleccionar tipo de suelo. Para el caso de Magallanes, se recomienda en esta sección seleccionar el tipo de suelo Trumao. Si bien pueden existir diferencias según tipo de suelo, los principales efectos en la determinación de la dosis están dados por el rendimiento alcanzar y el análisis de suelo propiamente tal.

2. Ingresar rendimiento total esperado expresado en toneladas/ha, en este ejemplo se esperan 50 ton/ha de rendimiento (este es un rendimiento que se ha alcanzado en Magallanes).

3. Ingresar en la calculadora los datos de análisis de suelo para nitrógeno (N-NO<sub>3</sub>), fósforo (P-Olsen) y potasio (K intercambiable). Para este ejemplo el análisis de suelo indica un nivel de nitrógeno de 20 mg/kg, 10 mg/kg de fósforo Olsen y 120 mg/kg de potasio.

**CALCULADORA DE FERTILIZACIÓN RAZONADA PARA EL CULTIVO DE PAPA**

Tipo de Suelo

Rendimiento Total esperado (según clima, suelo y agronomía) (t/ha)

1000 sacos/ha

Datos del análisis suelo (a 20 cm profundidad) (mg/kg)

N-NO<sub>3</sub> (mg/kg)

P-Olsen (mg/kg)

K intercambiable (mg/kg)

Dosis del nutriente según rendimiento y análisis de suelo (kg/ha)

N (kg/ha) 91

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha) 268

KCl (kg/ha) 197

\*Los sacos de rendimiento y fertilizantes son de 50 kg

**Figura 49.** Sección I de la Calculadora de fertilización razonada. En base al tipo de suelo, rendimiento y análisis de suelo, se calculó las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio.



En caso del potasio, puede que en el análisis de suelo esté expresado en  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ , por lo tanto, es necesario multiplicar este valor por 390 para transformar a  $\text{mg}/\text{kg}$  y así poder usarlo en la calculadora. Ej:  $\text{K intercambiable} (\text{cmol}^+/\text{kg}) = 0.31$ . Para pasar a  $\text{mg}/\text{kg}$  multiplicar por 390, lo cual da como resultado  $120 \text{ mg}/\text{kg}$  de K.

El primer resultado que arroja la calculadora corresponde a la dosis por hectárea que, en este caso para N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y KCl es de 91, 268 y  $197 \text{ kg}/\text{ha}$ , respectivamente. Estos resultados son utilizados posteriormente para calcular la dosis del fertilizante según la concentración de nutriente de cada fertilizante.


## SECCIÓN II: CÁLCULO DE LA DOSIS DE CORRECCIÓN FERTILIZANTES

En esta sección el agricultor deberá ingresar el fertilizante que ocupa para que la calculadora realice el “cálculo de dosis de corrección” según este tipo de fertilizante (Figura 50).

- Opción a: Si el agricultor compra una mezcla de fertilizante (Ej: mezcla 10-20-10) deberá llenar ingresando los valores de la mezcla en el casillero correspondiente para N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y KCl. En este caso, la dosis de mezcla calculada fue de  $1.967 \text{ kg}/\text{ha}$ .
- Opción b: Si el productor hace su propia mezcla (ej: urea (46%N), superfosfato triple (46%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), muriato de potasio (60% KCl, etc.) deberá ingresar los valores de concentración de cada fertilizante. Esto permitirá estimar la dosis de mezcla o fertilizantes por separado, según disponibilidad del productor. En este caso la dosis calculada de urea ( $198 \text{ kg}/\text{ha}$ ), superfosfato triple ( $582 \text{ kg}/\text{ha}$ ) y muriato de potasio ( $328 \text{ kg}/\text{ha}$ ) dio como resultado una mezcla total de  $1.108 \text{ kg}/\text{ha}$ .

## DOSIS DE CORRECCIÓN SEGÚN FERTILIZANTE

## Opción 1: Dosis usando Mezcla Comercial

a) Mezcla Comercial		(%)	
	N en mezcla (%)	10	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en mezcla (%)	20	
	KCl en mezcla (%)	10	
		(kg/ha)	(sacos/ha)
Dosis total según Mezcla Comercial		1967	39

## Opción 2: Dosis usando Fertilizantes por separado


b) Fertilizantes		(%)	
	N en fertilizante Nitrogenado (%)	46	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en fertilizante Fosforado (%)	46	
	KCl en fertilizante Potásico (%)	60	
		(kg/ha)	(sacos/ha)
Dosis de fertilizante Nitrogenado (kg/ha)		198	4
Dosis de fertilizante Fosforado (kg/ha)		582	12
Dosis de fertilizante Potásico (kg/ha)		328	7
Dosis total según Mezcla propia		1108	23

Figura 50. Cálculo de la dosis de mezcla (10-20-10) o la dosis de fertilizantes (Urea, superfosfato triple y Muriato de potasio) según disponibilidad. Para este ejemplo, la dosis de nutrientes de la sección I puede suplirse con 1.967 kg de mezcla 10-20-10 o con 1.108 kg de mezcla urea (198 kg/ha), superfosfato triple (582 kg/ha) y muriato de potasio (328 kg/ha).

## SECCIÓN III: CÁLCULO DE LA DOSIS DE MANTENCIÓN

Si se desea aplicar dosis de mantención, el productor deberá ingresar la concentración de nutriente del fertilizante fosforado y potásico, según disponibilidad. La dosis de mantención se deberá aplicar cuando el resultado de la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o KCl (Figura 51) sea igual o menor a cero (negativo) o cuando los niveles de fósforo y potasio están por sobre 33 y 210 mg/kg, respectivamente según análisis de suelo. Para el siguiente ejemplo la dosis de mantención sería 87 kg de superfosfato triple y 275 kg de muriato de potasio.

DOSIS DE MANTENCIÓN		
Dosis del nutriente		(kg/ha)
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	40
	KCl (kg/ha)	165
Concentración de nutrientes en Fertilizantes disponibles		%
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en fertilizante Fosforado (%)	46
	KCl en fertilizante Potásico (%)	60
Dosis del fertilizante	(kg/ha)	(sacos/ha)
Dosis Mantenión fertilizante Fosforado (kg/ha)	87	2
Dosis Mantenión fertilizante Potásico (kg/ha)	275	6

**Figura 51.** Sección III para determinar la dosis de mantención de P y K, según disponibilidad de fertilizante.

Con estos 3 pasos y teniendo un análisis de suelo del potrero, donde se establecerá el cultivo de papa, se podrá determinar una fertilización razonada de acuerdo al nivel nutricional del potrero y el rendimiento a alcanzar.



## LITERATURA CONSULTADA

Haverkort, A., Sandaña, P., Kalazich, J. (2014). Yield gaps and ecological footprints of potato production systems in Chile. *Potato Research* 57:13-31 <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-014-9250-8>

Sandaña, P. Sandra Orena, José Santos Rojas, Julio Kalazich, Marco Uribe, (2018). Critical value of soil Olsen-P for potato production systems in volcanic soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. Accepted, *in press*.

Sandaña, P., (2016). Phosphorus uptake and utilization efficiency in response to potato genotype and phosphorus availability. *European Journal of Agronomy* 76:95-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.003>

Sandaña, P., Kalazich, J. (2015a). Ecophysiological determinants of tuber yield as affected by potato genotype and phosphorus availability. *Field Crops Research* 180: 21-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.005>

Sandaña, P., Kalazich, J. (2015b). Attainable CO<sub>2</sub> emission of ware potatoes under high yield conditions in southern Chile. *American Journal of Potato Research* 92: 318-325. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-015-9433-0>

Sandaña, P. (2015c). Calculadora de Fertilización Razonada para el Cultivo de Papa (<http://manualinia.papachile.cl/?page=fertilizacion>). En: Acuña, I.; Muñoz, M.; Sandaña, P.; Orena, S.; Bravo, R.; Kalazich, J.; Tejada, P.; Castro M.P. y C. Sandoval. 2015. Manual Interactivo de la papa INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. <http://manualinia.papachile.cl>

Sierra, C., Rojas, J.S., Kalazich, J. (2002). Manual fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. *Boletín INIA* N°76. 104.

Vos, J. (2009). Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato. *Potato Research* 52, 305-317.