



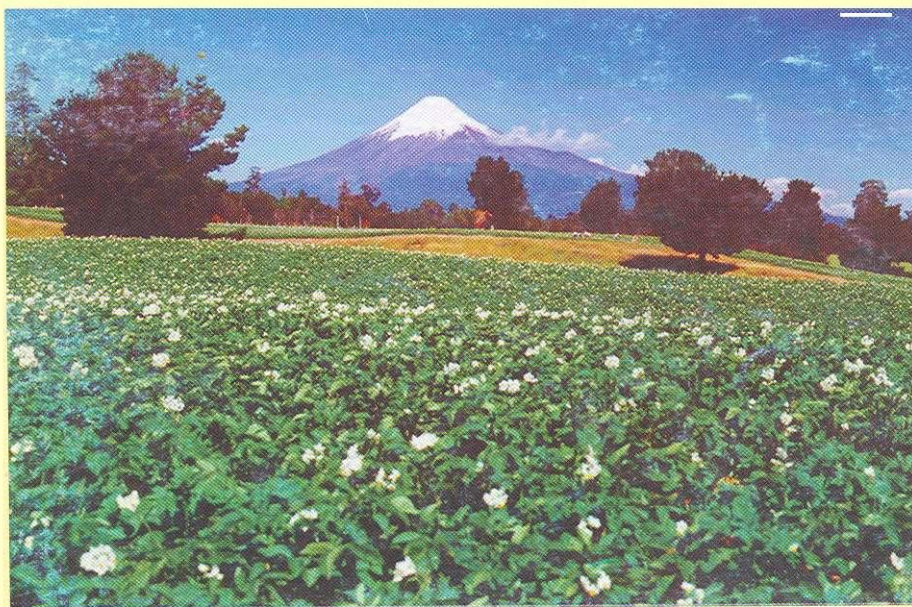
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INIA

BOLETÍN INIA Nº 76

ISSN 0717-4829

MANUAL FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE LA PAPA EN LA ZONA SUR DE CHILE

CARLOS SIERRA B. - JOSÉ SANTOS ROIAS - JULIO KALAZICH B.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INIA

MANUAL FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE LA PAPA EN LA ZONA SUR DE CHILE

**CARLOS SIERRA B.
JOSÉ SANTOS ROJAS
JULIO KALAZICH B.**
Centro Regional de Investigación Remehue

Santiago, Chile, 2002

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Autores:

Carlos Sierra B. (Ing. Agr., M.Sc.)

José Santos Rojas (Ing. Agr., Ph.D.)

Julio Kalazich B. (Ing. Agr., Ph.D.)

Centro Regional de Investigación Remehue

Boletín INIA Nº 76

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación Remehue,
Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y el autor.

Cita bibliográfica correcta:

Sierra B., Carlos; Santos R., José; Kalazich B., Julio. 2002. Manual Fertilización del Cultivo de la Papa en la Zona Sur de Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 76. 104 p.

Diseño: Jorge Berríos V.

Diagramación: Luis Puebla L.

Impresión: Impresos CGS Ltda. - Telefófono: 5432212

Cantidad de ejemplares: 300.-

Santiago, 2002

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	4
INTRODUCCIÓN	5
 CAPÍTULO 1	
Características agronómicas del cultivo de la papa	7
 CAPÍTULO 2	
Requerimientos nutricionales del cultivo	12
 CAPÍTULO 3	
Respuesta del cultivo de la papa a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio, otros nutrientes y enmiendas	30
 CAPÍTULO 4	
Época de aplicación de los fertilizantes	56
 CAPÍTULO 5	
Efecto de diferentes fuentes fertilizantes	59
 CAPÍTULO 6	
Forma de aplicación de los fertilizantes en el cultivo de la papa	69
 CAPÍTULO 7	
Fertilización y su relación con otros factores de manejo	74
 CAPÍTULO 8	
Estimación de la fertilización según balance nutricional	80
 CAPÍTULO 9	
Diagnóstico de la fertilidad del suelo	89
 CAPÍTULO 10	
Fertilizantes	93
LITERATURA CITADA	101

AGRADECIMIENTOS

La información publicada en el presente trabajo, ha sido generada durante 16 años de actividad en el Centro Regional de Investigación, CRI Remehue, desde 1977 hasta 1993. El trabajo de muchas personas ha permitido lograr esta información, incluyendo estudiantes, trabajadores de campo, personal de servicio, administrativos, técnicos agrícolas y profesionales Ingenieros Agrónomos del INIA.

Los primeros tres años de investigación fueron financiados por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) de la Décima Región. Sin embargo, hubo otras fuentes de financiamiento que permitieron consolidar gran parte de esta investigación, destacando algunos aportes realizados por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y la empresa privada, en menor medida. Además, los programas de Fertilidad de Suelos y de Papa del Centro Regional de Investigación Remehue mantuvieron siempre su apoyo para lograr el objetivo de mejorar el conocimiento de la respuesta del cultivo de la papa a la fertilización.

Especial reconocimiento para el colega René Bernier, por su apoyo en la revisión de los borradores originales de esta publicación.

Finalmente, un reconocido agradecimiento a múltiples agricultores anónimos de la zona sur, en cuyos campos fue posible obtener esta información, y sin cuya colaboración no hubiera sido posible realizar este trabajo.

INTRODUCCIÓN

La fertilización del cultivo de la papa es una práctica agronómica importante en la zona sur, pues permite incrementar notablemente el rendimiento y la calidad de los tubérculos cosechados. El cultivo de papa requiere de una inversión importante de capital, si se consideran todos sus factores de manejo. La fertilización generalmente representa alrededor del 30% de los costos totales de producción.

El potencial productivo natural de la papa en suelos trumaos de la zona sur es alto, lográndose con relativa facilidad rendimientos superiores a las 35 t ha⁻¹. Este alto rendimiento potencial se explica por las inmejorables condiciones de clima y suelo que presenta la zona sur. El clima húmedo y fresco, de temperatura templada entre octubre y febrero, asociado a condiciones físicas muy favorables de los suelos, permiten alcanzar altos rendimientos.

Los suelos trumaos de la zona sur se caracterizan por su baja fertilidad química, donde es particularmente importante su generalizada deficiencia de fósforo. Ésta ha sido estudiada por diversos investigadores en diferentes especies (Volke, 1973), (Fernández, 1977). El potasio es otro elemento moderadamente deficitario en los suelos trumaos, especialmente en los ñadis (Schenkel y col., 1972). Los niveles de calcio y magnesio en general son adecuados, pero en algunos suelos y dependiendo del manejo se pueden encontrar contenidos bajos de estos elementos. El nitrógeno es el elemento más abundante en los suelos trumaos, pero los rojos arcillosos presentan un menor poder de suministro. El conocimiento del manejo histórico del potrero permite estimar en mejor forma el poder de suministro de nitrógeno (Rodríguez y Sierra, 1987). Por otra parte, como se señaló, los suelos trumaos poseen cualidades físicas inmejorables, determinadas por el material alofánico y el alto tenor de carbono orgánico que lo componen. La mayoría de estos suelos presentan valores de densidad aparente inferiores a 0,8 g/cc, lo cual les confiere una gran porosidad y una óptima friabilidad.

La información agronómica presentada en esta publicación es el resumen de unos 60 experimentos de campo, que han abarcado diferentes aspectos de la práctica de la fertilización, incluidos efectos de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, evaluación de diferentes fuentes de estos elementos, forma de aplicación de fósforo, mediciones de la absorción de nutrientes y de la biomasa vegetal aérea y de tubérculos formada por el cultivo, etc. Además, algunos experimentos han permitido evaluar el efecto de la fertilización y otros factores de manejo como la densidad de plantación de tubérculos.

La información técnica sobre la fertilización del cultivo de la papa, no es abundante. En nuestro país, Fajardo y col. (1964) y Fernández (1977) han evaluado el efecto de la aplicación de fertilizantes en el cultivo de la papa. Por otra parte, en EE.UU., Jaworski y Hanna (1964), Kunkel y Thornton (1986) y Rykbost *et al.* (1993) han estudiado el efecto de la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento y calidad de los tubérculos.

La fertilización precisa para el cultivo de la papa es difícil de lograr, debido a que en este proceso intervienen factores dinámicos de tipo biológico, químico y agrofísico que interactúan entre el suelo, la planta y la atmósfera que hacen difícil su predicción. Sin embargo, es posible lograr razonables aproximaciones si se usa, por ejemplo, un buen análisis de suelo completo, que permite mejorar el diagnóstico de la fertilidad actual del suelo.

CAPÍTULO 1

Características agronómicas del cultivo de la papa

La papa (*Solanum tuberosum*) es una especie ampliamente cultivada especialmente en la Novena y Décima Región del país. Se cultiva de primavera-verano en la zona sur y generalmente se establece como cabecera de rotación en suelos manejados con praderas de baja producción y degradadas. El cultivo posterior a la papa normalmente es un cereal que se ve muy favorecido por este precultivo, pues el suelo queda bastante libre de malezas. Además, el nivel de fertilidad residual de fósforo y nitrógeno es alto, debido, por una parte, a la alta fertilización fosfatada aplicada al cultivo y por otra a la mineralización que se produce durante la época del cultivo de primavera-verano, el cual se ve estimulado por la aporca que se hace a la papa en los meses de noviembre o diciembre. Producto de estas condiciones agronómicas inmejorables, un cereal después de papa generalmente alcanza un alto rendimiento, superior a los 65 qqm ha.

La papa es una especie de alta respuesta a la aplicación de fertilizantes debido a sus características de baja densidad radicular (Cuadro 1), lo que implica una baja capacidad de exploración del suelo. Esta característica del cultivo determina que éste responda de manera importante a dosis altas de elementos minerales aplicados al suelo. Debido a esta misma razón la papa es una planta muy exigente en humedad disponible.

El cultivo se ve muy favorecido por adecuados riegos entre octubre y enero, especialmente en suelos ubicados en el valle central o depresión intermedia de la novena Región y en las provincias de Valdivia y Osorno. Plantaciones realizadas en las zonas costeras de la Novena y Décima Región pueden alcanzar altos rendimientos por el mejor balance hídrico entre el suelo y la planta, producto de la baja demanda atmosférica, por la cercanía del mar.

Cuadro 1. Densidad radicular de algunos cultivos

Cultivo	Densidad radicular (cm/cm³)
Pradera ballica establecida	15,0
Pradera alfalfa establecida	10,0
Cebada	5,5
Pradera trébol establecida	5,0
Avena	5,0
Trigo	5,0
Maíz	3,0
Raps	2,2
Papa	1,7
Remolacha	1,5
Cebolla	0,5

Fuente: Curso Nutrición de Plantas, Universidad Católica de Chile.

La papa es una especie de cultivo de crecimiento rápido, aun cuando existen variedades de más lento desarrollo. Si se compara, por ejemplo con la remolacha, la papa presenta una mayor tasa de crecimiento. La mayoría de las variedades comerciales alcanzan el estado de floración entre los 70 y 80 días después de la plantación y el ciclo total del cultivo varía entre 90 y 160 días, siendo frecuente un ciclo de 120 días. Esta característica determina que el cultivo requiere un adecuado suministro de nutrientes en los primeros dos meses.

1.1. Biomasa del cultivo e índice de cosecha

La biomasa vegetal producida por el cultivo, que corresponde a tallos, hojas, tubérculos y raíces, es variable y depende de múltiples factores. Entre los más importantes destacan, la población de plantas por unidad de superficie y la variedad. La mayor cantidad de fitomasa aérea (tallos y hojas) se logra generalmente a los 75 días, sin embargo, la mayor cantidad total se produce después de los 120 días en la variedad Desireé, debido a la formación y crecimiento de los tubérculos.

Una adecuada formación de biomasa vegetal aérea, en los primeros dos meses de crecimiento, es muy importante para lograr un alto rendimiento, dado que esta cubierta vegetal será responsable del posterior llenado de los tubérculos. Una biomasa vegetal aérea poco vigorosa, determina generalmente un rendimiento escaso.

El índice de cosecha se define como la relación entre la biomasa de los tubérculos cosechados y la producción de la parte aérea más la biomasa de los tubérculos, expresado en base materia seca. En el Cuadro 2 se muestra esta relación para un rendimiento alcanzado de 38,6 t ha⁻¹ de tubérculos.

Cuadro 2. Biomasa vegetal e índice de cosecha del cultivar de papa Desireé, a los 110 días después de la plantación

Biomasa vegetal aérea	=	2.600 kg/ha de materia seca
Biomasa vegetal de tubérculos	=	8.100 kg/ha de materia seca
Índice de cosecha =	$\frac{\text{Biomasa tubérculos}}{\text{Biomasa aérea} + \text{Biomasa tubérculo}} \times 100 = \frac{8.100}{2.600 + 8.100} \times 100 = 76\%$	

Fuente: CRI Remehue, 1986. (No incluye raíces).

El índice de cosecha señalado es alto y significa que del total de biomasa producida por la planta, el 76% corresponde a producto cosechado y, por lo tanto, exportado del potrero. De acuerdo a esto se puede afirmar que la papa es un cultivo de alta extracción. (Cabe señalar que el trigo presenta un índice de cosecha inferior al 50% a la cosecha). Rodríguez (1990), señala que la papa presenta un índice de cosecha de 0,75, siendo una de las especies con mayor índice si se compara con raps, frejoles, maíz, trigo y remolacha. Este mismo autor señala que esta relación presenta una cierta constancia, cuando el cultivo crece y se desarrolla en condiciones normales. Sin embargo, factores genéticos de los cultivares y condiciones de ambiente extremo pueden modificar esta relación.

1.2. Estados de desarrollo del cultivo de papa

Estado de Crecimiento	I. <u>Plantación a emergencia</u>
	II. <u>Crecimiento vegetativo</u>
	III. <u>Inicio de tuberización</u>
	IV. <u>Llenado de tubérculos</u>
	V. <u>Maduración de tubérculos</u>

1.2.1. Estado de Crecimiento I. Plantación a emergencia

Este dura entre 15 a 30 días, dependiendo de la humedad, temperatura del suelo y grado de brotación de los tubérculos. Se debe realizar control de malezas y favorecer rápida emergencia de los tallos, porque son menos susceptibles a Rizoctonia cuando se ha formado tejido verde. Se recomienda sembrar con suelo húmedo, mantener humedad adecuada, no en exceso, para evitar caída por hongos.

1.2.2. Estado de Crecimiento II. Crecimiento vegetativo

Duración 45-50 días; se inicia formación de hojas y tallos en la parte aérea, mientras que en el suelo se inicia la formación de raíces y estolones, Rowe (1993). Comienza absorción de nutrientes. En esta etapa la planta se independiza del tubérculo en cuanto a la nutrición. Al inicio de este estado se debe verificar la emergencia de plantas. Si la emergencia es baja se debe resembrar. En esta etapa se debe aplicar la segunda dosis de nitrógeno, generalmente un tercio de la dosis total junto con la aporca. Esta no debe aplicarse más allá de 60 días después de la plantación, además se debe aplicar herbicida cuando el cultivo recién esté emergiendo. En esta etapa del crecimiento se debe mantener un alto contenido de humedad en el suelo, cercano al 80% de la humedad aprovechable. También en este estado se realiza normalmente la aporca. Es recomendable primero aplicar tempranamente herbicida de preemergencia y luego después de 3 semanas aporcar con plantas de 20 cm de altura. Esto evita el verdeo de los tubérculos superficiales y además permite realizar un nuevo control de malezas. En la etapa II el cultivo debe protegerse de plagas y enfermedades, para evitar una mayor propagación posterior.

1.2.3. Estado de Crecimiento III. Inicio de tuberización

Es un período corto, de 10 a 14 días de duración, en el cual se inicia la formación de tubérculos. El inicio de la tuberización se debe monitorear sacando plantas y examinando los estolones. En la mayoría de las variedades el fin del estado III de crecimiento coincide con el inicio de la floración. En esta etapa del crecimiento es muy importante mantener un adecuado contenido de humedad en el suelo (80 a 90% de la humedad aprovechable). También se recomienda al inicio de floración el muestreo de pecíolos para diagnóstico foliar, colectando la cuarta hoja desde el ápice hacia abajo. Al momento del muestreo deben sacarse todos los folíolos y enviarlos al laboratorio para su análisis de pecíolos. El resultado del análisis de pecíolos puede sugerir la aplicación de micronutrientes o nitrógeno vía foliar.

1.2.4. Estado de Crecimiento IV. Llenado de tubérculos

Después de terminado el proceso de tuberización, se inicia el llenado de los tubérculos. Éste ocurre continuamente en el tiempo, por lo tanto, en este estado se deben proveer todas las condiciones para lograr el óptimo crecimiento de los tubérculos. Particular importancia cobra el adecuado suministro de agua, nitrógeno y potasio. La mayor parte de todos los nutrientes absorbidos ocurre en esta etapa. Un déficit hídrico en este período puede inducir a una senescencia temprana de las plantas.

1.2.5. Estado de Crecimiento V. Maduración de los tubérculos

Este período se inicia con la senescencia de tallos y hojas. Este proceso es lento pero sostenido en el tiempo. En muchas variedades este proceso culmina con la caída de las plantas. Sin embargo, después de la caída, el tejido aéreo puede mantenerse parcialmente verde y activo. Una madurez definitiva de los tubérculos se logra cuando gran parte de los tallos y hojas están secos y los tubérculos presentan piel firme.

CAPÍTULO 2

Requerimientos nutricionales del cultivo

2.1. Elementos esenciales para el cultivo

El cultivo requiere de 16 elementos nutritivos esenciales, los que aparecen en el Cuadro 3. Cuantitativamente, los tres más importantes son el carbono, hidrógeno y oxígeno. El primero alcanza al 44% aproximadamente de la materia seca, y el resto, corresponde a H y O, que forman las estructuras carbonadas como carbohidratos, ácidos orgánicos, etc. Los otros 13 nutrientes minerales aportan el 6% aproximadamente.

2.1.1. Nitrógeno

Este elemento esencial primario forma parte de las estructuras proteicas en la planta y se considera un elemento estructural que estimula el crecimiento, especialmente hojas y tallos. El déficit de nitrógeno produce una clorosis o amarillez de las hojas, en caso de extrema deficiencia las hojas basales se “amarillean” debido a la translocación del elemento hacia la parte superior de la planta por ser este un nutriente móvil dentro de la planta, una falta de humedad en el suelo o falta de luz también produce el mismo síntoma. El exceso de nitrógeno produce una coloración verde intensa de las plantas y un tono brillante y verde muy oscuro, determinando un retraso de la madurez del cultivo. Por el contrario, una deficiencia tiende a producir un adelantamiento de la madurez del cultivo. Es absorbido como NH_4^+ ó NO_3^- . Estudios realizados con nitratos de amonio marcado (isótopo de N) por Roberts *et al.* (1992) indican que inicialmente las plantas absorbieron nitrato preferencialmente, sin embargo, hacia el final del cultivo la absorción de amonio se incrementó. Este efecto retardado en la utilización de amonio se debería principalmente a la lenta nitrificación del nitrógeno amoniacal, más que a una absorción preferencial por N-NO_3 .

El exceso de nitrógeno produce diversos efectos negativos sobre el desarrollo del cultivo, lo hace más susceptible a enfermedades como el oidio, además los tubérculos producidos con exceso de nitrógeno se pudren más fácilmente en las bodegas y toleran menos el maltrato. El exceso de nitrógeno no permite una adecuada coloración de la papa frita para chips, debido a un incremento del contenido de azúcares reductores en el tubérculo, esto produce un pardeamiento de la papa frita. Un adecuado contenido de nitrógeno en tubérculos de Russet Burbank es 1,55% base materia seca. Westermann y Davis (1992).

2.1.2. Fósforo

El fósforo es un elemento primario esencial que es determinante del crecimiento inicial de los tejidos vegetales, especialmente de las raíces. Es absorbido desde la solución suelo como H_2PO_4^- ó HPO_4^{2-} según el pH del suelo, especialmente por difusión y contacto directo. Se requiere en cantidades muy inferiores al nitrógeno. Su déficit produce plantas pequeñas de color violáceo o amoratado por efecto de la acumulación de antocininas, Marschner (1986), debido a la detención del crecimiento celular. Es un elemento móvil en la planta por lo que se trasloca desde las hojas basales hacia las hojas superiores. Cuando la deficiencia no es severa, se produce un color verde oscuro. Contenidos adecuados de fósforo en tubérculos serían 0,2% base materia seca (Westermann y Davis, 1992).

El exceso de este elemento en las plantas, generalmente no se produce, y en el caso de los suelos trumaos es más posible detectar una deficiencia. Al contrario del nitrógeno, un adecuado contenido de fósforo tiende a producir una adecuada madurez del cultivo. Un buen contenido de este elemento determina una mejor calidad de los tubérculos semillas producidas.

Cuadro 3. Nutrientes minerales y orgánicos esenciales requeridos por las plantas

Símbolo	Nombre	Nutriente
N	Nitrógeno	Primario
P	Fósforo	Primario
K	Potasio	Primario
S	Azufre	Secundario
Ca	Calcio	Secundario
Mg	Magnesio	Secundario
Fe	Hierro	Micronutriente
Mn	Manganeso	Micronutriente
Cu	Cobre	Micronutriente
Zn	Zinc	Micronutriente
B	Boro	Micronutriente
Cl	Cloro	Micronutriente
Mo	Molibdeno	Micronutriente
C	Carbono	Estructural
O	Oxígeno	Estructural
H	Hidrógeno	Estructural

2.1.3. Potasio

Este elemento se considera de gran importancia en la nutrición de las plantas, especialmente en su aspecto sanitario. El potasio es un elemento responsable de más de 48 funciones distintas en las plantas, desde regulador del cierre estomático de las hojas en las células oclusivas, hasta principal activador de la síntesis de carbohidratos. Esta última función es muy importante en cultivos como la papa debido al gran contenido de carbohidratos que debe formar la planta y almacenar en los tubérculos. Este elemento presenta una gran movilidad en la planta. Su deficiencia produce plantas con hojas algo cloróticas y luego desarrollan puntos necróticos dispersos, los tallos del cultivo son débiles y quebradizos cuando falta potasio en el suelo. En el caso de la papa, su deficiencia produce un tono bronceado de las hojas, especialmente basales y con aplicaciones altas de potasio, el cultivo tiende a producir grandes tubérculos.

El potasio, a diferencia del nitrógeno y del fósforo, no forma parte estructural estable de las moléculas en las células de la planta. Como se señaló, es un catalizador de muchas reacciones que actúan en la síntesis de proteínas y de carbohidratos.

2.1.4. Calcio

El Ca es un elemento estructural que forma parte de la pared celular, integrando los pectatos de calcio, en la lamela media. Una buena parte de este elemento se encuentra en la planta al interior de las vacuolas, donde precipita como oxalato de calcio. Su deficiencia produce una inhibición del crecimiento de los brotes y del ápice de las raíces. El Ca junto al fósforo es muy importante al inicio del crecimiento del cultivo, especialmente en el desarrollo de raíces. Un adecuado contenido de calcio inicial en las raíces determina un adecuado crecimiento y mejora la selectividad parcial de iones, en el proceso de absorción de nutrientes desde el suelo. Así se evita parcialmente, por ejemplo, la toxicidad por aluminio. Niveles tóxicos de calcio en las plantas no se reportan, este es un elemento químico probiótico por excelencia. Es un elemento no móvil en la planta, niveles bajos en el suelo pueden favorecer la aparición de pie negro, enfermedad producida por la bacteria *Erwinia carotovora*.

2.1.5. Magnesio

Este elemento forma parte integral de la molécula de clorofila. Es un nutriente móvil en la planta. Su deficiencia produce una clorosis internerval de las hojas basales, debido a su traslocación hacia las hojas superiores. La papa es un cultivo especialmente sensible a la deficiencia de este elemento al igual que el maíz. Excesos de magnesio que puedan producir toxicidad por este elemento no se reportan en la literatura. Su deficiencia se puede inducir por desbalance en el suelo por aplicaciones excesivas de potasio o de calcio, por exceso de encalado.

2.1.6. Azufre

Elemento esencial, activador enzimático, interviene en el metabolismo del nitrógeno. Su deficiencia produce clorosis generalizada y es muy poco móvil en la planta.

2.1.7. Micronutrientes

- Hierro.** Su deficiencia se caracteriza por una marcada clorosis internerval parecida a la del magnesio pero en las hojas jóvenes. En suelos muy ácidos se puede transformar en un elemento tóxico. La deficiencia de Fe puede producirse en suelos con pH mayor de 7,6.
- Manganeso.** La deficiencia de este elemento sigue la misma dinámica que el hierro, es decir, en suelos de pH ácido, se puede producir toxicidad de este elemento y en suelos de pH alcalino se produce deficiencia. La carencia de manganeso se manifiesta como una clorosis internerval en hojas viejas o jóvenes. Este microelemento es un activador enzimático.
- Boro.** Este elemento puede ser deficiente en suelos de pH ácido (trumaos, rojo arcilloso) su deficiencia produce la desintegración de los tejidos internos como en tallos. El boro es inmóvil en la planta. Favorece la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico en las flores.
- Zinc.** La carencia de Zinc produce hojas pequeñas y arrosetadas, con escasa longitud de los entrenudos. Los márgenes de las hojas muchas veces se presentan deformadas y arrugadas. Este elemento ayuda en la formación del Ácido Indol Acético. Además, es un activador enzimático. Un exceso de fósforo puede inducir una deficiencia de zinc.
- Cobre.** Este elemento presenta una dinámica similar al zinc y manganeso; la deficiencia de este elemento en papa no es frecuente, pero los síntomas pueden manifestarse como plantas de un verde muy oscuro, retorcidas y deformadas.
- Molibdeno.** Su deficiencia produce una clorosis internerval que aparece primero en las hojas más viejas y va progresando hacia las más jóvenes. Este síntoma se puede producir de preferencia al usar una fuente de nitrógeno nítrica debido, a que el

molibdeno actúa como co-factor enzimático en la nitrato-reductasa. En suelos trumaos puede manifestarse como elemento deficitario.

Cloro. La deficiencia es muy poco común en papa, pero su toxicidad puede ser más frecuente en suelos con elevada salinidad. Sin embargo, en la zona sur es muy poco probable una toxicidad de cloro, debido a que este elemento es lavado fácilmente por las lluvias del invierno. Su deficiencia produce marchitez de las hojas.

2.2. Extracción de nutrientes minerales por el cultivo de la papa

La extracción de nutrientes minerales por el cultivo de la papa está determinado principalmente por el rendimiento posible de alcanzar por el cultivo (Rodríguez, 1990). Entre los principales nutrientes destacan por la cantidad extraída el nitrógeno y potasio, 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.

En el Cuadro 4 se muestra la extracción de nutrientes reportados por diferentes investigadores. Los datos no presentan una clara consistencia si se relaciona cantidad extraída de elementos y rendimiento. Sin embargo, se aprecia una tendencia general, que a mayor rendimiento existe un moderado incremento de la extracción. Esta poca relación puede explicarse por el hecho que corresponden a distintas variedades y quizás más importante que esto, es el hecho que no se considera la extracción por efecto de lo que se denomina "consumo de lujo" por parte de las plantas. El "consumo de lujo" se refiere a la cantidad de nutriente excesivo que la planta normalmente puede absorber sin afectar su rendimiento. El nutriente más requerido es el potasio, variando entre 221 y 480 kg ha⁻¹ de K₂O según las diferentes fuentes señaladas, le sigue en importancia el nitrógeno. El fósforo es menos requerido y la cantidad varía entre 55 y 128 kg ha⁻¹ de P₂O₅. La cantidad de magnesio extraída según las dos cifras reportadas es inferior al fósforo variando entre 35 y 52 kg ha⁻¹ de magnesio.

La extracción de nutrientes por el cultivo dependerá principalmente del rendimiento esperado, a mayor rendimiento, mayor demanda de nutrientes por el cultivo. Este aumento de la demanda se debe a la mayor cantidad de materia seca formada y no a un aumento de la concentración del elemento en cada planta.

Cuadro 4. Extracción de algunos nutrientes por el cultivo de papa, según diferentes autores y diferente nivel de rendimiento

Tubérculos t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					Referencia
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	
38	224	67	336	—	—	Dahnke y Nelson, 1976
40	120	55	221	—	—	Kupers, 1972
63	288	128	396	35	26	Tisdale y Nelson, 1975
94	300	80	480	52	—	Sierra y Rojas, 1989

Nota: Incluye follaje y tubérculos.

2.3. Acumulación de materia seca por el cultivo de la papa

Como ha sido señalado, la papa es un cultivo de rápido crecimiento, si se compara con otros cultivos como la remolacha, especialmente en los primeros 70 días desde la plantación. Sin embargo, esto depende de la variedad de papa cultivada, existen, cultivares de muy rápido crecimiento y otros más tardíos. En experimentos desarrollados en el Centro Regional de Investigación Remehue se ha evaluado el ritmo de crecimiento de dos cultivares y su tasa de absorción de nutrientes minerales. Cabe señalar que los rendimientos alcanzados en estos experimentos fueron bastante altos lográndose 94,0 y 76,0 t ha⁻¹ con las variedades Desireé y Pimperl, respectivamente. En la Figura 1 se puede apreciar la acumulación de materia seca en el tiempo en ambas variedades. El cultivar Desireé presenta una mayor tasa de crecimiento inicial que la variedad Pimperl. A los 77 días después de la plantación, Desireé alcanza las 15 t ha⁻¹ de materia seca, mientras que Pimperl en el mismo período logra acumular 12 t ha⁻¹ de materia seca. La cantidad de follaje máximo se logra a los 77 días en am-

bas variedades y la cantidad de materia seca acumulada es similar y alcanza a las 6 t ha^{-1} .

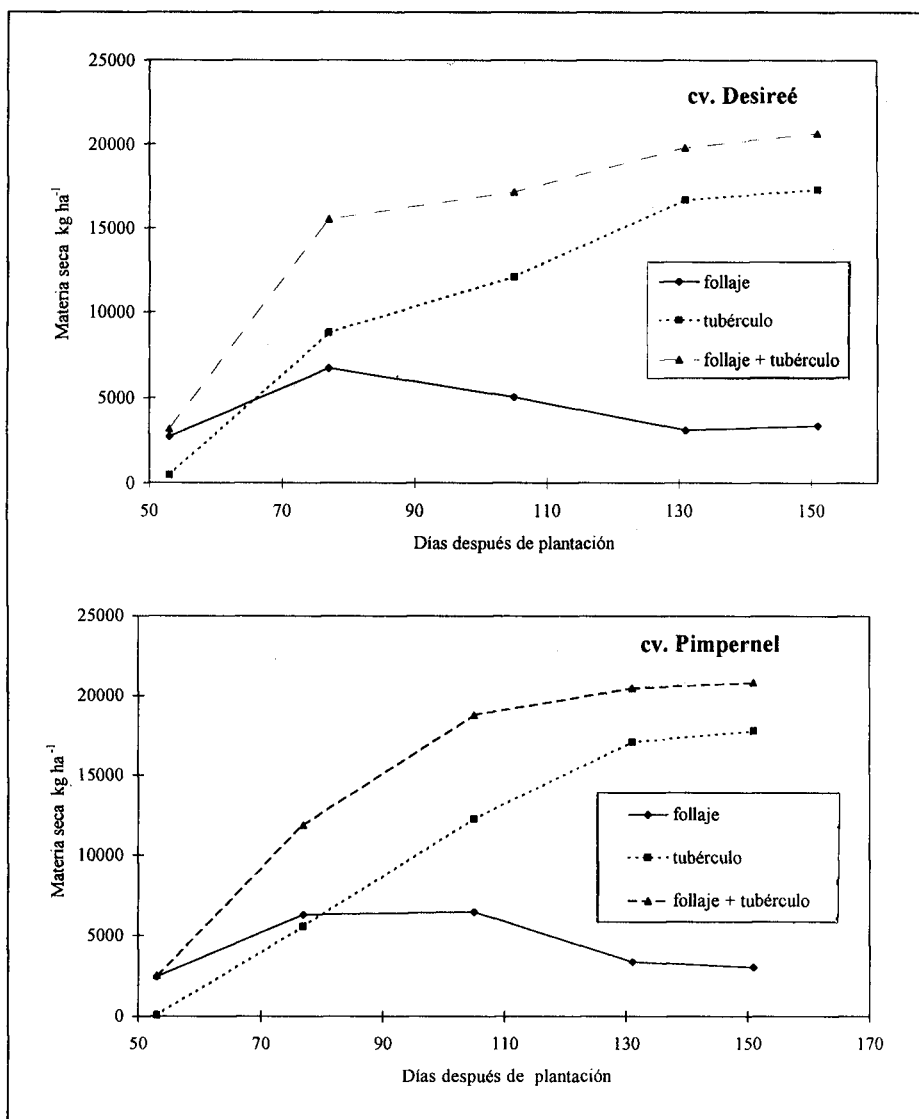


Figura 1. Rendimiento acumulado de materia seca de diferentes partes de la planta de papa, variedad Desireé y Pimpernel.

A los 52 días después de la plantación ambas variedades presentan una acumulación de follaje de 2 t ha^{-1} de materia seca. La tuberización se ha iniciado recién después de los 50 días en ambas variedades. La acumulación de materia seca en los tubérculos es prácticamente lineal desde los 50 días, alcanzando su máxima acumulación a los 130 días en las dos variedades. A los 77 días Desireé presenta una mayor acumulación de materia seca en los tubérculos que en el follaje. A igual período en Pimpernel se han acumulado cantidades similares en ambos órganos. El total de materia seca acumulada en ambas variedades al final del cultivo alcanza a las 20 t ha^{-1} .

2.4. Absorción de nutrientes por el cultivo de la papa

2.4.1. Absorción de nitrógeno

La absorción y distribución de nitrógeno es similar al de la materia seca (Figura 2). A los 77 días Desireé ha absorbido 300 kg ha^{-1} de nitrógeno, para formar 15 t ha^{-1} de materia seca y lograr un rendimiento de 94 t ha^{-1} de papa al estado fresco. En el caso de Pimpernel, a los 77 días desde la plantación, ha absorbido un 10% menos de nitrógeno y la absorción es máxima a los 100 días desde la plantación. El follaje acumula la máxima cantidad de nitrógeno en ambas variedades a los 77 días, Desireé no alcanza a absorber los 180 kg ha^{-1} de nitrógeno mientras que Pimpernel absorbe más de 180 kg ha^{-1} . Después de los 77 días el nitrógeno acumulado en ambas variedades decrece notablemente debido al proceso de translocación desde el follaje a los tubérculos. Soltanpour (1969) estudiando la acumulación de materia seca y absorción de nitrógeno en tres cultivares encontró relaciones similares, después de los 70 días, el proceso de translocación desde el follaje hacia los tubérculos se acentúa.

La demanda por nitrógeno hacia los tubérculos es prácticamente lineal en ambas variedades hasta los 130 días desde la plantación. En el caso de Desireé, a los 90 días la cantidad de nitrógeno absorbido es igual en el follaje y en los tubérculos, en Pimpernel esto se produce 15 días después, aproximadamente. A los 105 días se produce la máxima absorción de nitrógeno. En general, destaca la alta tasa de absorción de nitrógeno en los primeros setenta y cinco días desde la plantación, prácticamente el 90%

del total absorbido para el caso de Desireé. Este análisis permite concluir que prácticamente el 100% del nitrógeno aplicado como fertilizante debe hacerse tempranamente, una fracción antes de plantar y la otra a la aporca.

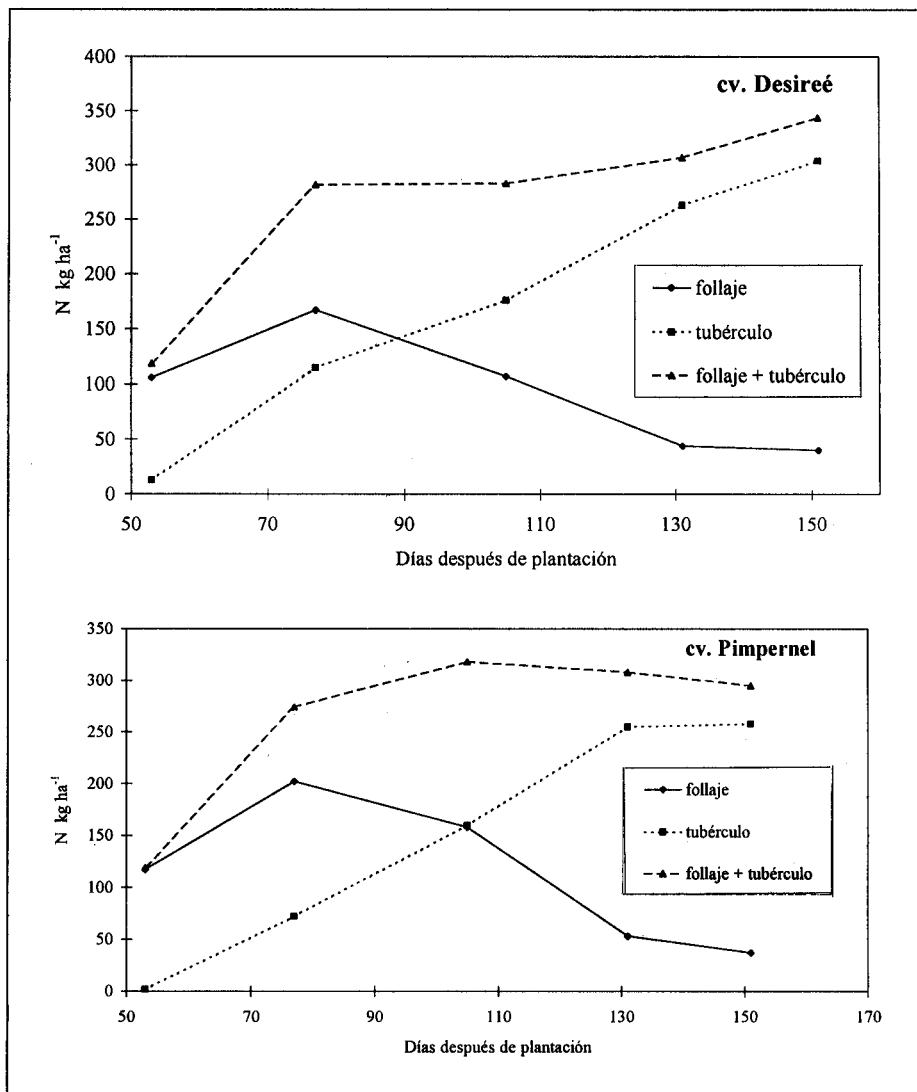


Figura 2. Absorción y distribución de nitrógeno (N) en diferentes partes de la papa variedad Desireé y Pimpernel.

2.4.2. Absorción de fósforo

La absorción total de fósforo por ambos cultivares es cuantitativamente bastante menor que la cantidad de nitrógeno y potasio absorbido como se aprecia en la Figura 3. La cantidad máxima absorbida por el cv. Desireé alcanza a los 39 kg P ha⁻¹ para un rendimiento de 94 t ha⁻¹ de tubérculos, esto equivale a 89 kg P₂O₅ ha⁻¹. La forma de absorción es similar a la señalada para la materia seca. Existe una mayor absorción inicial por parte del follaje hasta los 77 días, luego comienza a decrecer en este tipo de tejido por translocación hacia los tubérculos. A los 77 días se produce la máxima acumulación que se estabiliza hasta los 110 días y luego se inicia nuevamente un incremento en la absorción. Esta misma tendencia general se manifiesta en el cv. Pimperl, aunque más desfasada en el tiempo debido a la menor precocidad. A los 77 días la variedad Desireé ha absorbido el 76% del fósforo total, mientras que Pimperl, en el mismo período, ha consumido el 80% del fósforo total. Esto permite inferir que toda la fertilización fosfatada debe hacerse a la siembra.

2.4.3. Absorción de potasio

En la Figura 4 se presenta la evolución de la absorción de potasio por Desireé y Pimperl. La cantidad total es más alta que el nitrógeno absorbido, alcanzando los 480 kg K₂O ha⁻¹, para un rendimiento de 94 t ha⁻¹ en Desireé y 76 t ha⁻¹ en Pimperl. A los 77 días después de la plantación, el cultivar Desireé ha extraído del suelo 480 kg K₂O ha⁻¹, que equivalen a tener una concentración de 250 ppm 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. Después de los 100 días desde la plantación, la cantidad de K absorbida es igual a la alcanzada a los 77 días, sin embargo, se encuentra repartida proporcionalmente entre la parte aérea y los tubérculos. Después de los 110 días los tubérculos siguen acumulando potasio, hasta los 130 días. Similar tendencia se observa en la variedad Pimperl.

La importancia de este elemento, radica en el alto contenido de almidón que presentan los tubérculos de papa. Se reconoce que las especies de cultivos productoras de frutos ricos en energía como el plátano, la remolacha y la papa son grandes consumidores de potasio. Este elemento es un activo catalizador de la síntesis de azúcares.

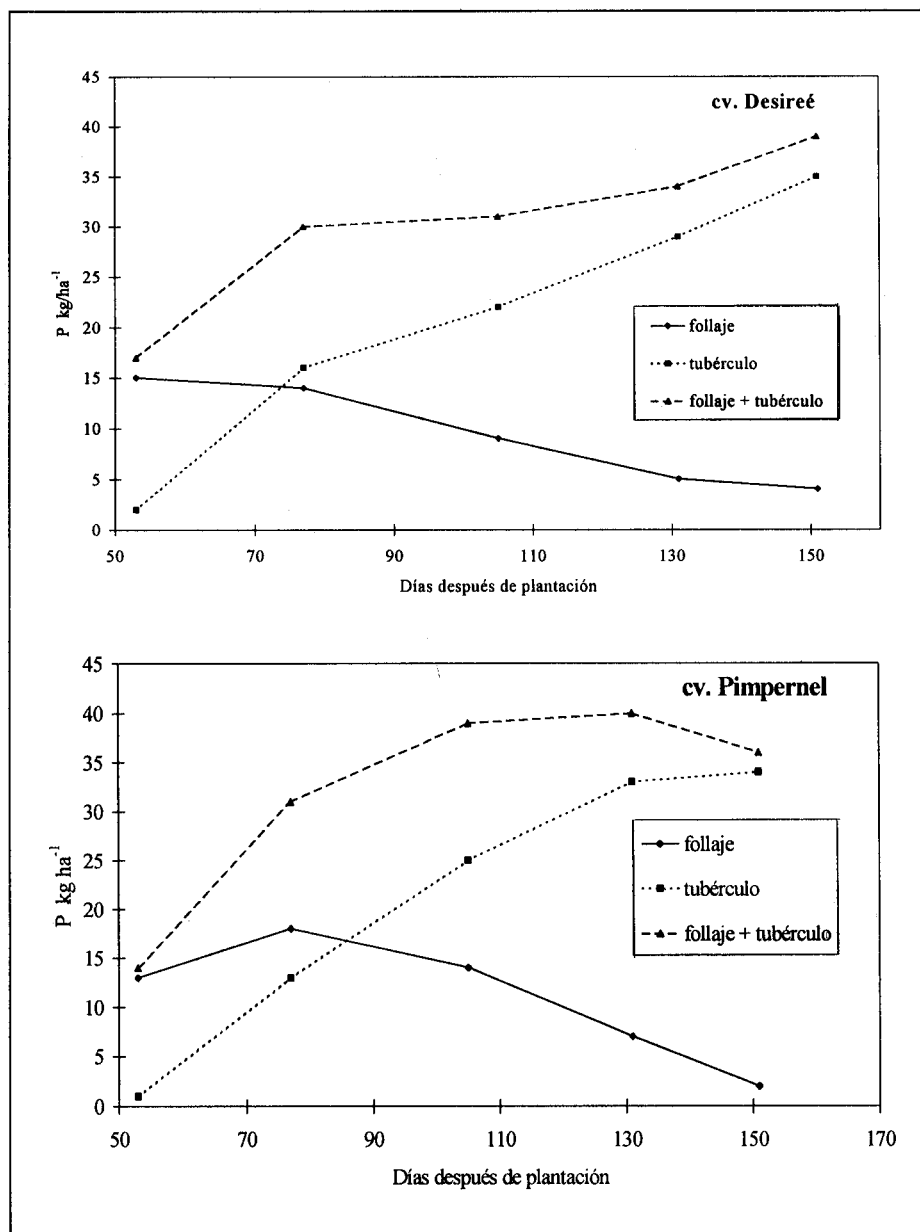


Figura 3. Absorción y distribución de fósforo (P) en diferentes partes de la planta de papa, variedad Desireé y Pimperl.

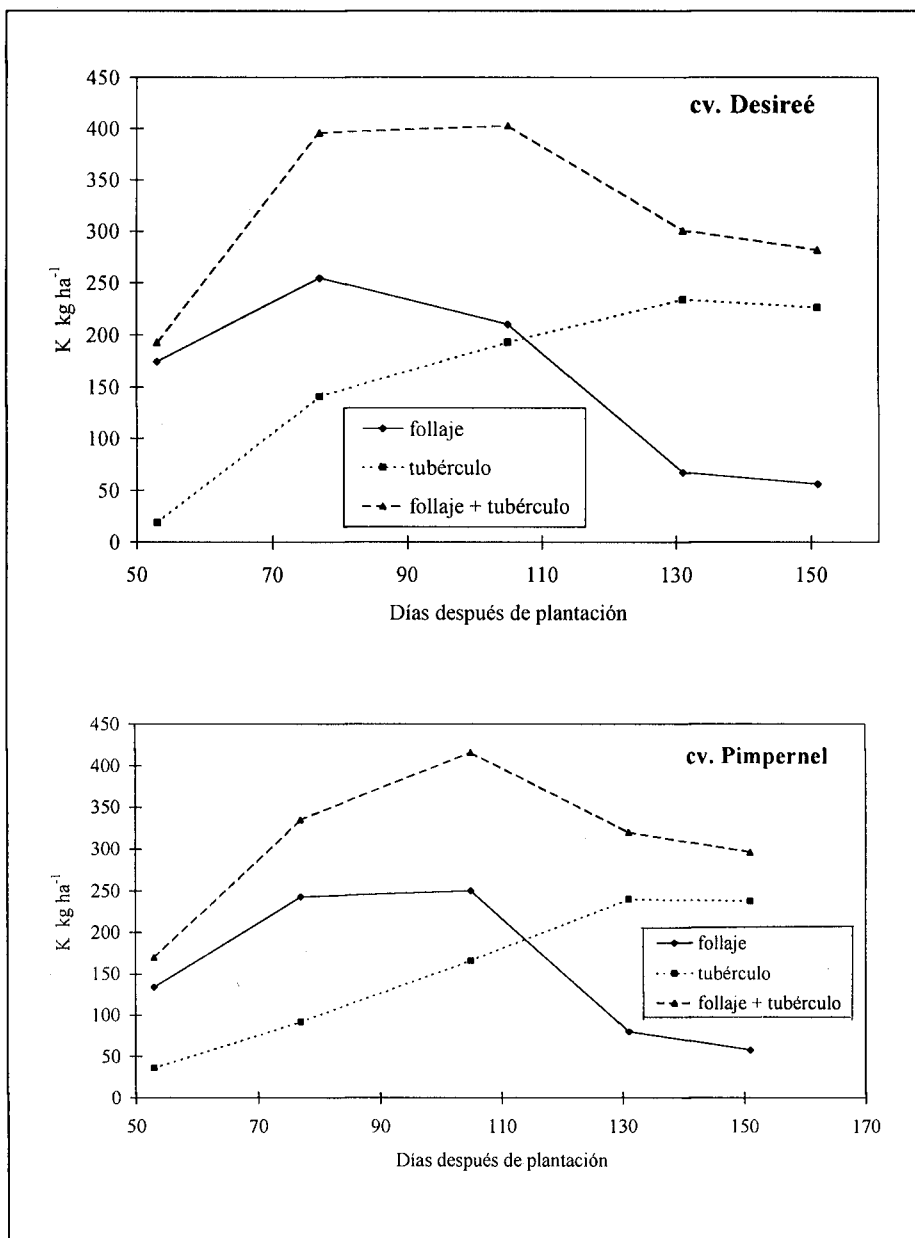


Figura 4. Absorción y distribución de potasio (K) en diferentes partes de la planta de papa, variedad Desireé y Pimperl.

2.4.4. Absorción de calcio

La absorción de calcio se aprecia en la Figura 5 para las dos variedades estudiadas. La cantidad total máxima absorbida alcanza a 85 kg ha^{-1} de Ca y se produce a los 77 días, este elemento se ubica principalmente en el follaje. Sin embargo, después de los 77 días comienza a decrecer en el follaje y se incrementa sostenidamente en los tubérculos. Igual tendencia se observa para el cv. Pimperl, aun cuando su decrecimiento en el follaje es menos intenso que en el cv. Desireé. Además la cantidad total de calcio absorbida por los tubérculos en el cv. Pimperl es ligeramente mayor que el absorbido por el cv. Desireé. En general, destaca la baja absorción de calcio por los tubérculos.

2.4.5. Absorción de magnesio

La cantidad total absorbida de este elemento varía entre 50 y 40 kg ha^{-1} en las variedades Desireé y Pimperl, respectivamente. A los 77 días se produce el máximo de absorción de magnesio, y en este momento se concentra principalmente en el follaje en ambos cultivares, prácticamente el 90%. La absorción de magnesio por los tubérculos en ambas variedades es similar, alrededor de 18 kg ha^{-1} siendo mayor que en el caso del calcio, el cual no supera los 10 kg ha^{-1} (Figura 6).

2.4.6. Absorción de micronutrientes, zinc, manganeso y cobre por diferentes tejidos de los cv. Desireé y Pimperl

Absorción de zinc. La máxima absorción de este elemento se produce a los 151 días, alcanzando los 407 g ha^{-1} , Cuadro 5. Sin embargo, a los 77 días el cv. Desireé ha absorbido el 84% del zinc total. Es interesante destacar que gran parte del zinc se concentra en los tubérculos, seguido de los tallos y por último en las hojas después de los 77 días. En el cv. Pimperl la máxima cantidad de zinc acumulada se produce a los 131 días después de la plantación, siendo más baja que en el cv. Desireé, 301 g ha^{-1} .

2.4.7. Absorción de manganeso

Este elemento es absorbido en mayor cantidad que el zinc y el cobre, lográndose más de 1.200 g ha^{-1} a los 77 días después de la plantación en el

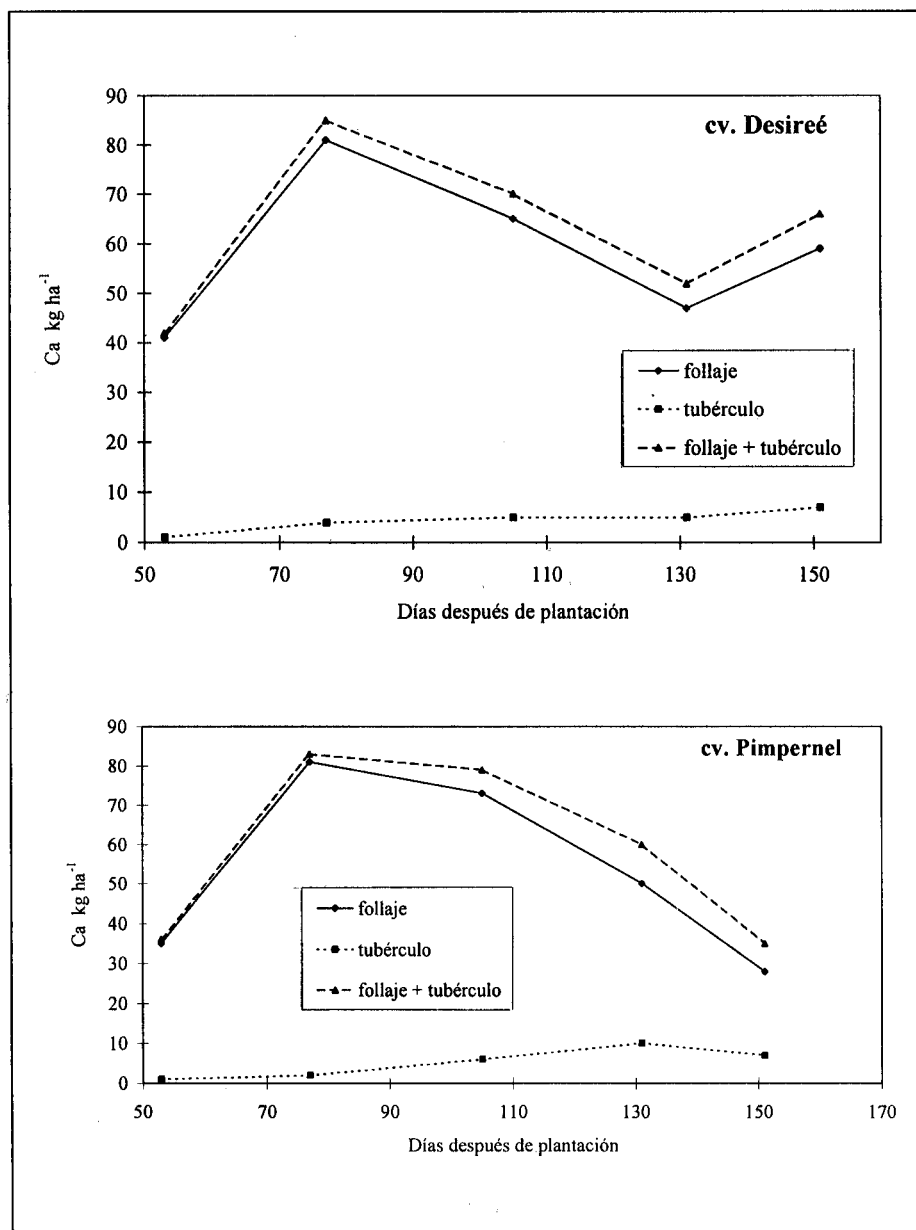


Figura 5. Absorción y distribución de calcio (Ca) en diferentes partes de la planta de papa, variedad Desiree y Pimperl.

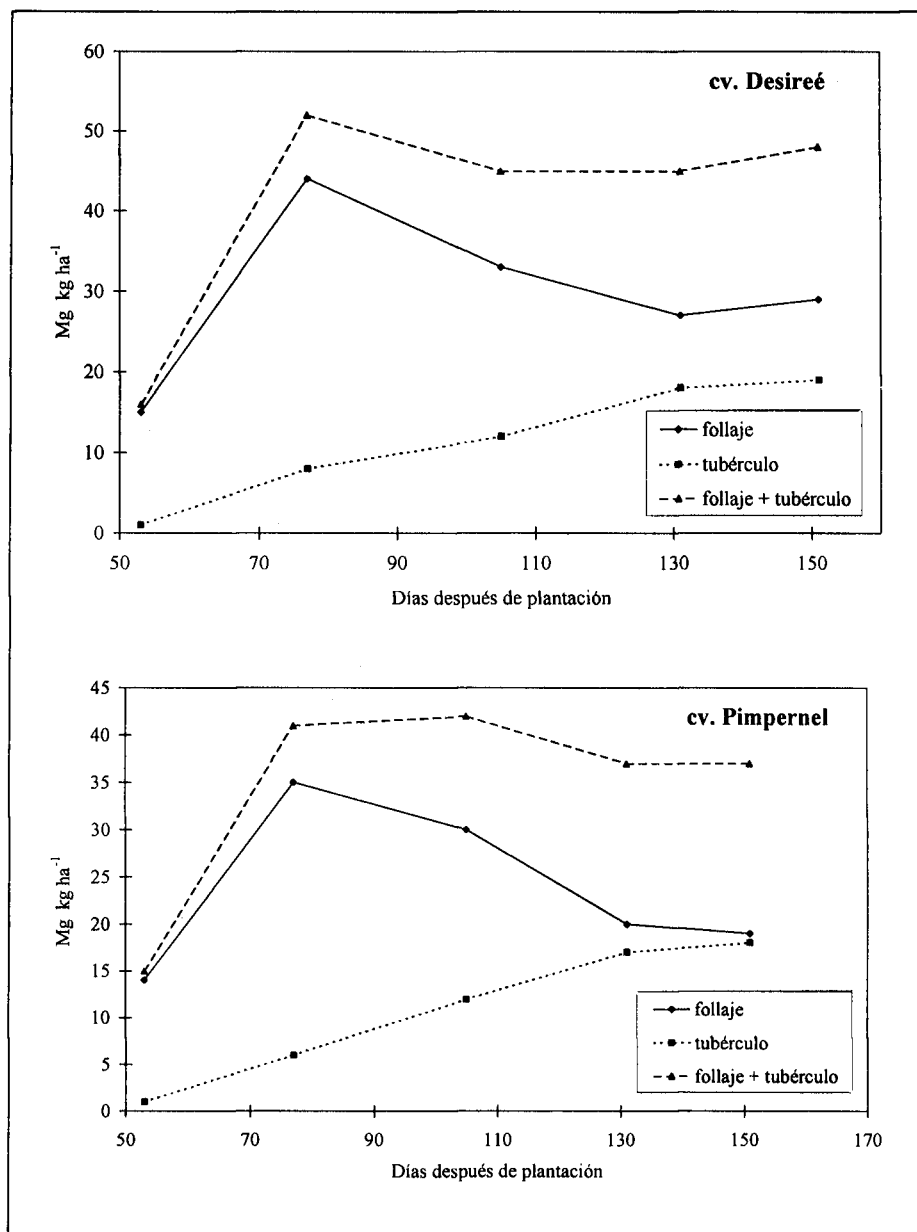


Figura 6. Absorción y distribución de magnesio (Mg) en diferentes partes de la planta de papa, variedad Desiree y Pimpernel.

cv. Desireé, concentrándose gran parte de este elemento en las hojas y en mucho menor medida en los tubérculos. En el cv. Pimpernel la cantidad total absorbida es ligeramente menor y a los 77 días, este cultivar ha absorbido alrededor de 1.100 g ha^{-1} de manganeso. A los 105 días desde la plantación se produce la máxima absorción del nutriente, esto se debe a la menor precocidad del cultivo, que absorbe más tardíamente los nutrientes que la variedad Desireé. Hacia el final del cultivo, el manganeso se redistribuye hacia los tallos y tubérculos y en general decrece su contenido (Cuadro 5).

2.4.8. Absorción de cobre

De los tres micronutrientes estudiados, el cobre presenta el menor nivel de absorción por parte del cv. Desireé. Alcanzando su máxima absorción hacia el final del cultivo, lo que indica una forma de absorción diferente al manganeso y zinc. Es decir, la planta va acumulando progresivamente el elemento durante su desarrollo. A los 77 días el cultivo ha absorbido el 67% del cobre total requerido. En el cv. Pimpernel la cantidad total requerida por el cultivo es similar y presenta la misma tendencia que para el cv. Desireé, es decir, se va acumulando a través del desarrollo de la planta, para ser máxima a los 131 días. A los 77 días el cultivo ha absorbido el 55% del cobre total requerido (Cuadro 5).

Cuadro 5. Absorción de Zinc, Manganeso y Cobre por diferentes tejidos de la papa, variedad Desireé y Pimperl (g ha⁻¹)

	Días después de la plantación				
	53	77	105	131	151
ZINC					
Desireé					
Hojas	70	62	4	16	18
Tallos	63	148	116	88	147
Tubérculo	12	132	145	201	242
Total	145	342	265	305	407
Pimperl					
Hojas	73	69	36	19	16
Tallos	51	127	66	59	42
Tubérculos	3	78	147	223	213
Total	127	274	249	301	271
MANGANESO					
Desireé					
Hojas	298	878	406	358	450
Tallos	83	272	157	403	524
Tubérculos	10	88	109	151	242
Total	391	1.238	672	912	1.216
Pimperl					
Hojas	664	771	766	342	388
Tallos	148	259	453	394	400
Tubérculos	4	67	110	137	160
Total	816	1.097	1.329	873	948
COBRE					
Desireé					
Hojas	23	29	31	11	14
Tallos	8	15	1	11	21
Tubérculos	2	35	61	84	86
Total	33	79	93	106	121
Pimperl					
Hojas	23	36	42	19	15
Tallos	9	22	26	18	18
Tubérculos	1	28	86	120	124
Total	33	86	154	157	157

CAPÍTULO 3

Respuesta del cultivo de la papa a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio, otros nutrientes y enmiendas

3.1. Fertilización con nitrógeno

En general, en suelos trumaos de la zona sur la respuesta del cultivo de la papa a la fertilización con nitrógeno, no es alta. En diversos experimentos realizados en la Décima Región con el cv. Spartan y usando principalmente urea como fuente, se logró establecer diversos grados de respuesta.

La respuesta al nitrógeno (Figura 7) fue escasa en el suelo Osorno, manejado anteriormente con pradera por más de 5 años. Sin embargo, al aplicar 128 kg N ha^{-1} se incrementó la producción en 5 t ha^{-1} aproximadamente, con $320 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Es importante señalar que la aplicación de fósforo

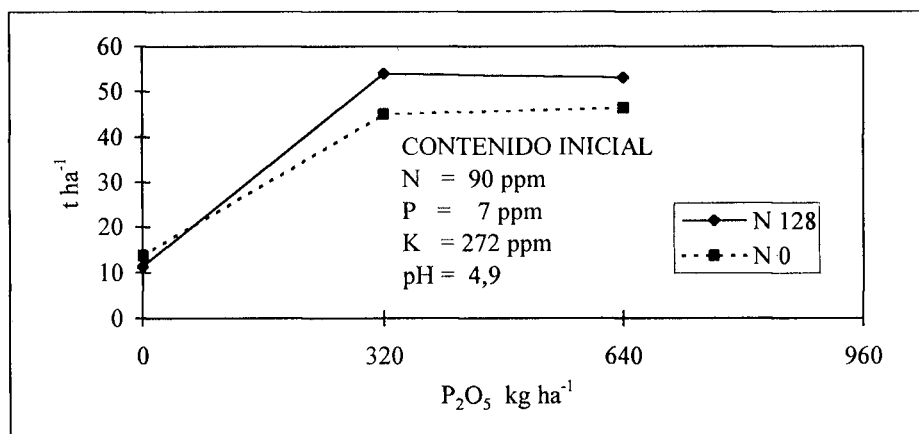


Figura 7. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en Papa. Variedad Spartaan. Suelo Osorno. Localidad Remehue.

sin nitrógeno permite alcanzar las 45 t ha⁻¹, es decir, el suelo posee una alta capacidad de suministro de nitrógeno. Porter y Sisson (1991) evaluando la respuesta al nitrógeno en dos cultivares, Russet Burbank y Shepody, determinó a nivel peciolar un mayor contenido de nitrato en suelos previamente manejados con trébol rosado que con cereales, sugiriendo un claro efecto del manejo anterior del suelo sobre el aporte de nitrógeno para el cultivo.

En la localidad de Castro, Provincia de Chiloé, en un suelo de la serie Dalcahue, manejado con coles forrajeras antes de la papa, la respuesta al nitrógeno fue moderada. Al aplicar 128 kg N ha⁻¹ y 320 kg P₂O₅ ha⁻¹ el rendimiento se incrementó en 6,9 t ha⁻¹ respecto del testigo sin nitrógeno, el rendimiento máximo del experimento fue de 43 t ha⁻¹ (Figura 8).

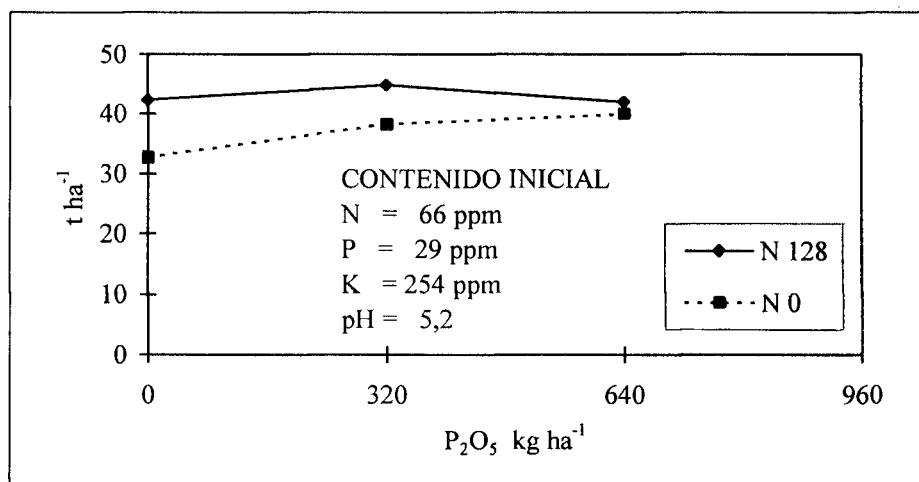


Figura 8. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en suelo Dalcahue. Variedad Spartaan. Localidad Castro.

En el sector de los Muermos (Colonia El Ñadi, Provincia de Llanquihue) se observó una mayor respuesta al nitrógeno debido a que el barbecho o preparación del suelo fue tardío. El precultivo de la papa fue pradera degradada (chépica). El rendimiento máximo del experimento alcanza las 42 t ha⁻¹ y se logra con la máxima fertilización con nitrógeno y fósforo. La preparación de suelo tardía con pradera de chépica, implica dejar una gran canti-

dad de residuos de raíces sin descomponer, que produce inmovilización del nitrógeno nativo del suelo y del nitrógeno aplicado, esto determina que el cultivo de papa responde fuertemente al nitrógeno (Figura 9).

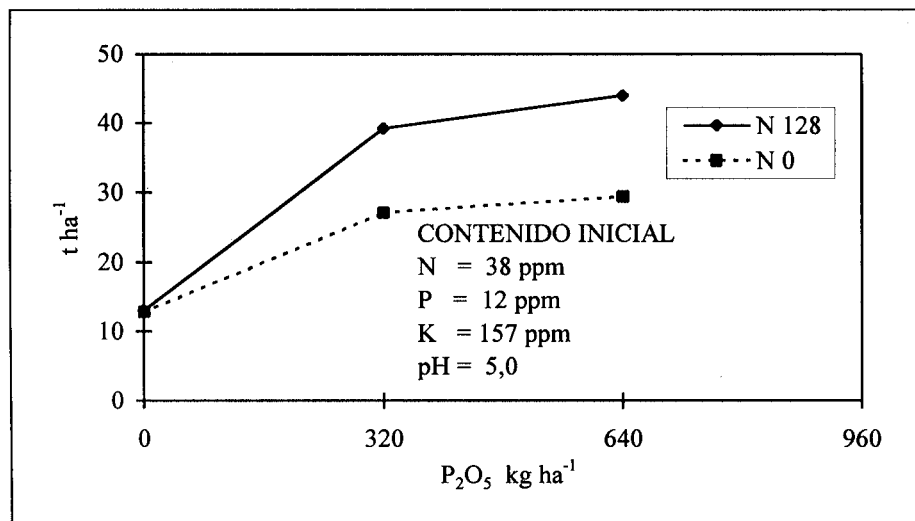


Figura 9. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en suelo Transición - Nueva Braunau - Fresia. Cultivar de papa Spartaan. Localidad Colonia El Ñadi.

En la localidad de Entre Lagos, Provincia de Osorno, Figura 10, en un suelo Puyehue, la respuesta al nitrógeno alcanza a las 10 t cuando se aplican 120 kg de nitrógeno, con la dosis de 350 kg P_2O_5 ha⁻¹, superando ligeramente las 40 t de tubérculos. En la Figura 11 se aprecia la respuesta del cultivo de la papa al nitrógeno en un suelo rojo arcilloso. El potencial de rendimiento es menor, superando ligeramente las 30 t ha⁻¹, este menor potencial se explica por el mayor estrés hídrico que sufre el cultivo en un suelo de estas características, cabe señalar que este experimento se manejó en condiciones de secano. Estos suelos poseen una menor capacidad de reserva de humedad aprovechable si se comparan con un trumao. La respuesta al nitrógeno es igualmente moderada y al aplicar 400 kg P_2O_5 ha⁻¹ y 128 kg de nitrógeno, el rendimiento se incrementa en 6,5 t ha⁻¹ respecto del testigo sin nitrógeno pero con la misma dosis de fósforo. La respuesta al nitrógeno en el suelo Corte Alto se aprecia en la

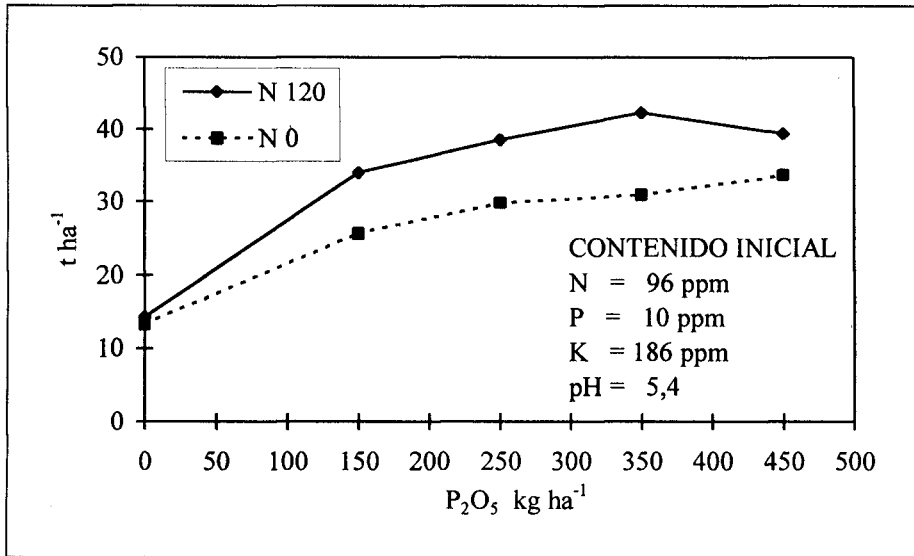


Figura 10. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en papa. Variedad Desiree. Suelo Puyehue. Localidad Entre Lagos.

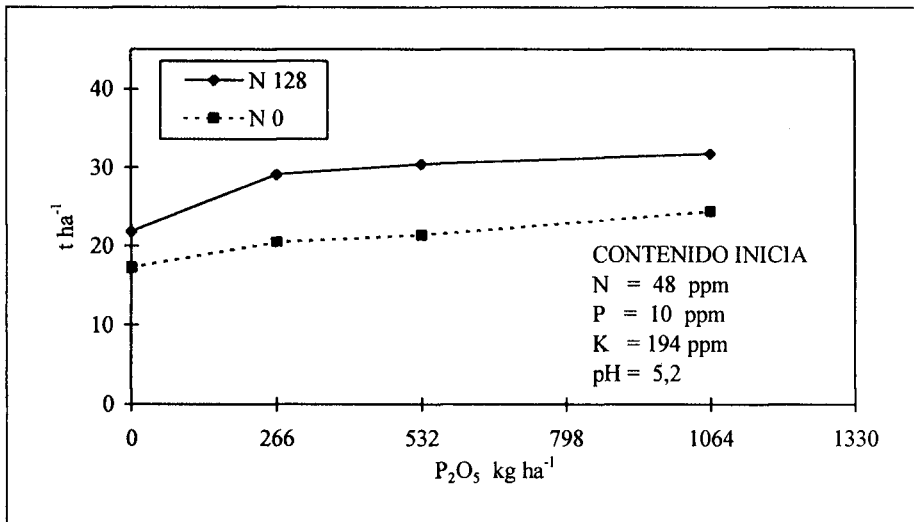


Figura 11. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en papa. Variedad Spartaan. Suelo Crucero. Localidad Crucero.

Figura 12. En general, el experimento presenta un mayor rendimiento, superando las 40 t ha⁻¹ de tubérculos. Sin embargo, la respuesta al nitrógeno fue menor que al fósforo aplicado.

Joern y Vitosh (1995), en suelos franco arenosos de Michigan y en dos años de experimentación con nitrógeno, como sulfato de amonio, establecieron que las dosis que mejor optimizaron el rendimiento de tubérculos variaron entre 112 y 168 kg N ha⁻¹. La concentración de nitrógeno en los tubérculos varió entre 1,3 y 1,7%. Un promedio de 67% del nitrógeno total a la cosecha fue encontrado en los tubérculos.

La respuesta al nitrógeno aplicado no es alta y no supera las 5 t ha⁻¹ si se considera el tratamiento con 400 kg P₂O₅ ha⁻¹. En la localidad de Santa María, Provincia de Llanquihue, en un suelo Nueva Braunau la respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada fue baja (Figura 13), esto se explica por la intensa sequía que afectó al cultivo en la temporada (año 1978). Esto determinó una escasa respuesta del cultivo a la fertilización en general, incluso al fósforo. El rendimiento máximo del experimento no superó las 30 t ha⁻¹. Sin embargo, igualmente el nitrógeno aplicado produjo un ligero incremento de la producción.

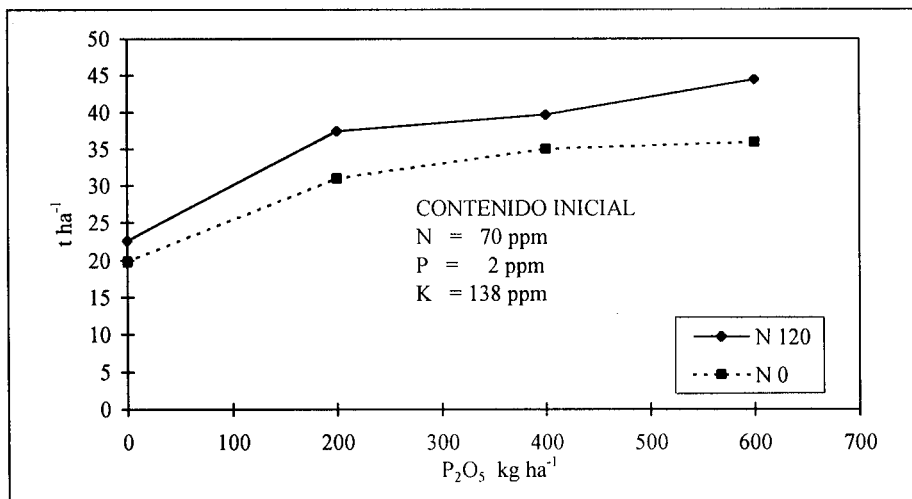


Figura 12. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en suelo Corte Alto. Localidad Corte Alto.

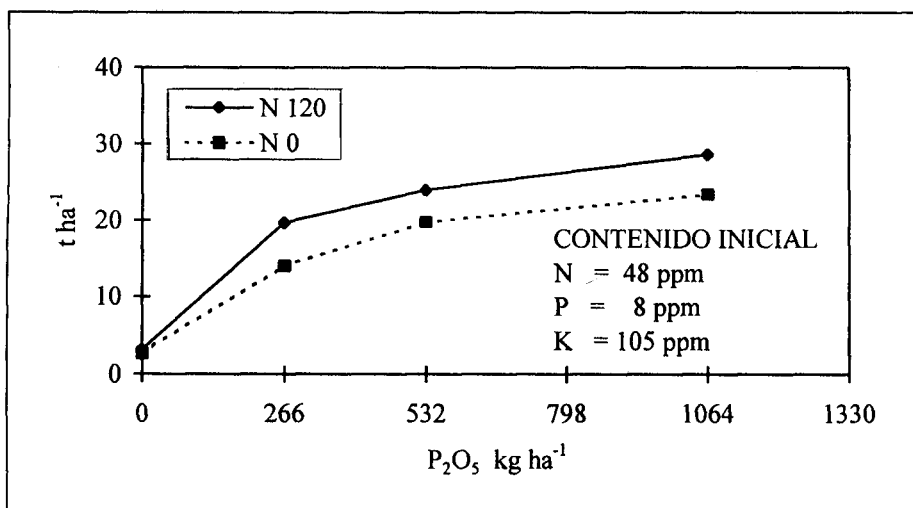


Figura 13. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en Papa variedad Spartaan. Suelo Nueva Braunau. Localidad Sta. María.

En la localidad de lago Natri, al sur de Castro, en la isla de Chiloé y en un suelo trumao delgado recientemente limpio, la respuesta a la aplicación de 128 $kg\ N\ ha^{-1}$ fue bastante clara, incrementándose el rendimiento al doble, desde 20 a más de 40 $t\ ha^{-1}$, al considerar el tratamiento con 532 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$ (Figura 14). La clara respuesta observada puede explicarse por lo siguiente: el desmonte reciente en algunos casos deja una gran cantidad de residuos vegetales como raíces hojas y tallos, lo que produce inmovilización de nitrógeno, esto puede agudizarse si la limpia y preparación del suelo es tardía en la temporada antes de la plantación.

En la Figura 15 se aprecia la respuesta del cultivo de papa al nitrógeno en el suelo Nueva Braunau. Al analizar la respuesta al nivel de 320 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$ se aprecia una moderada respuesta al nitrógeno que incrementa el rendimiento desde 39 a 50 $t\ ha^{-1}$, al aplicar 120 $kg\ N\ ha^{-1}$. En el caso del suelo Osorno (Figura 16), el incremento de rendimiento por efecto del nitrógeno al nivel de 350 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$ no supera las 6,6 $t\ ha^{-1}$, lográndose un rendimiento máximo de 56,5 $t\ ha^{-1}$, con el cv. Spartan.

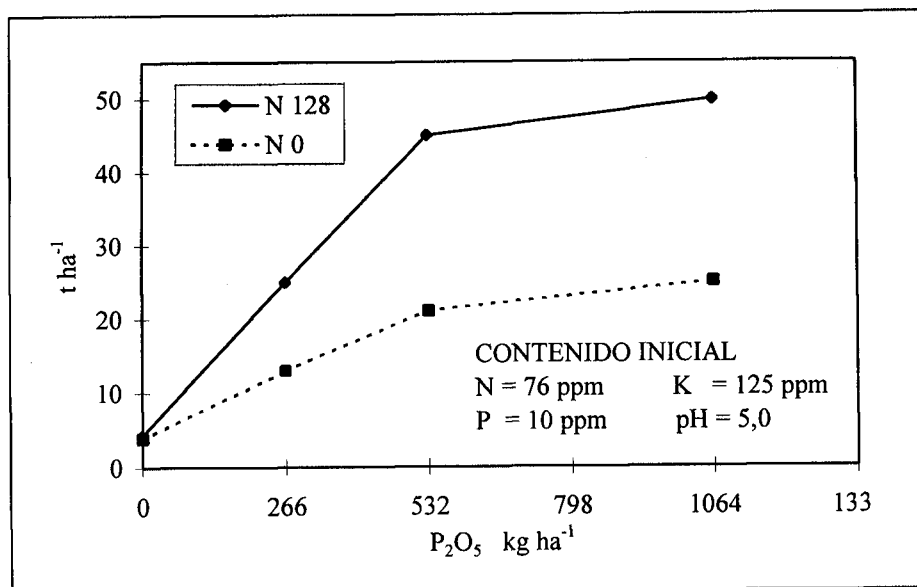


Figura 14. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en papa. Variedad Spartaan. Localidad Lago Natri.

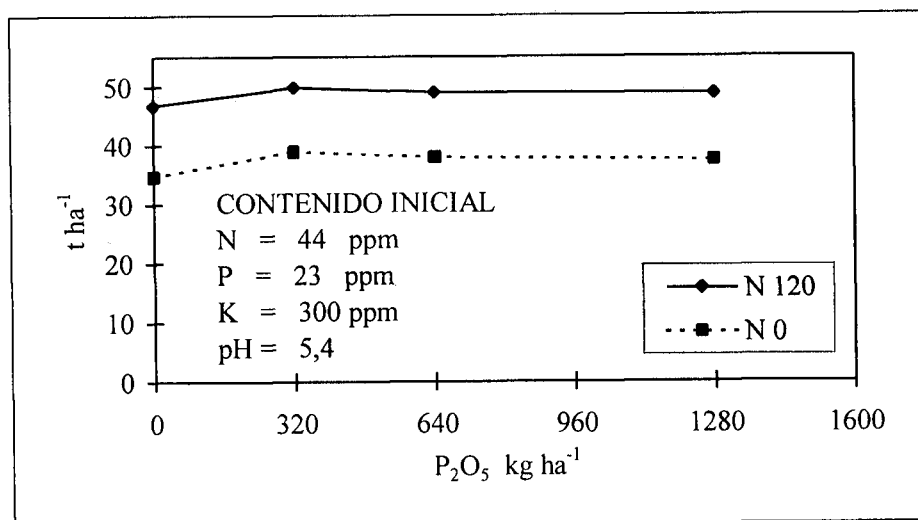


Figura 15. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en el rendimiento de papa var. Spartaan, suelo Nueva Braunau Localidad Sta. María.

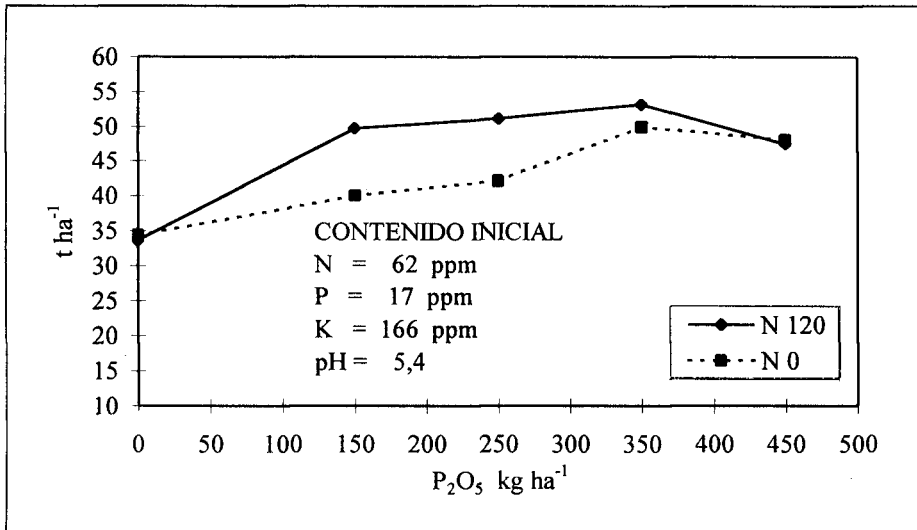


Figura 16. Efecto de la fertilización con Nitrógeno y Fósforo en el rendimiento de papa. Variedad Spartaan Suelo Osorno. Localidad Remehue.

En relación a la eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado, este alcanzó al 52% al considerar la absorción total por la planta, usando sulfato de amonio en Russet Burbank. Al considerar el nitrógeno absorbido por los tubérculos la eficiencia fue del 34% (Joern y Vitosh, 1995).

Si se considera el análisis en conjunto de todos los experimentos, la respuesta más frecuente al nitrógeno en rendimiento fluctúa entre 5 y 10 t ha⁻¹ de tubérculos, con un rendimiento medio aproximado de 44 t ha⁻¹, de producción. Es decir, la fertilización nitrogenada incrementa desde un 11,4% hasta un 22,8% el rendimiento promedio. Estos resultados se lograrían con dosis de 120 kg N ha⁻¹ aplicados.

3.2. Fertilización con fósforo

La respuesta del cultivo de la papa al fósforo aplicado como fertilizante, generalmente es alta en los suelos trumaos de la zona sur. La explicación para este fenómeno es la alta capacidad de retención de fosfato por parte de estos suelos, debido a que poseen una alta carga neta positiva. Vander

Zaag y Kagenzi (1986), evaluando la respuesta al fósforo en suelos de origen volcánico de Ruanda encontraron una respuesta mayor del 28% en relación a tratamientos sin fertilización con fósforo. Además, establecieron una eficiencia residual del fósforo del 20%. Esto no permite mantener adecuadas concentraciones de fósforo en la solución del suelo, debido a que la matriz alofánica mantiene retenido el fósforo, evitando que sea absorbido por las raíces de las plantas. Por otra parte, en el cultivo de la papa este fenómeno se agudiza debido al escaso sistema radicular que posee normalmente el cultivo. El fenómeno de retención de fósforo en suelos volcánicos ha sido ampliamente estudiado y la única práctica agronómica que favorece su eficiencia de utilización por parte de la planta de papa es la localización a un lado y bajo la semilla, 5 cm bajo y 5 cm a un lado del eje central de plantación.

En el suelo de la serie Osorno con escaso historial de fertilización fosfatada, la respuesta del cultivo es alta, incrementándose desde 10 hasta 50 t ha⁻¹ con 320 kg P₂O₅ ha⁻¹. Además, como se puede apreciar, la respuesta a este elemento es muy superior al nitrógeno (Figura 7). En el caso del experimento realizado en la localidad de Castro, la respuesta al fósforo prácticamente no se manifiesta, esto se explica por el historial previo de fertilización fosfatada aplicado al suelo. Es decir, el cultivo aprovecha el efecto residual de tres años de fertilización anterior. En la localidad de Colonia El Ñadi, la respuesta al fósforo es igualmente alta, variando desde 10 t ha⁻¹ para el testigo sin fósforo hasta 35 t ha⁻¹ con la dosis de 320 kg P₂O₅ ha⁻¹. En la localidad de Entre Lagos, en suelo Puyehue de precordillera Andina, la respuesta al fósforo varía desde 14 t ha⁻¹ para el tratamiento sin fósforo y se incrementa hasta 41 t ha⁻¹ al aplicar 350 kg P₂O₅ ha⁻¹. Es importante señalar que los dos últimos experimentos analizados de Colonia El Ñadi y Entre Lagos, presentan un escaso historial de fertilización fosfatada y corresponden a suelos manejados con praderas de baja producción.

En el suelo rojo arcilloso Crucero, igualmente se produce respuesta a la aplicación de fósforo, con 400 unidades se produce un incremento de 10 t ha⁻¹ de tubérculos, sin embargo, el rendimiento máximo alcanzado es menor que en suelos trumaos. En el suelo Corte Alto, del tipo trumao la respuesta del cultivo al fósforo es mayor, alcanzando las 40 t ha⁻¹ de tubérculos con 400 kg P₂O₅, en relación al testigo sin fósforo casi se duplica el

rendimiento. En la localidad de Santa María y en suelo Nueva Braunau (Figura 13), se presenta una alta respuesta al fósforo, sin embargo, el rendimiento máximo del experimento fue bajo, esto se debe a que en esa temporada se produjo una intensa sequía durante la estación de crecimiento. Destaca, además, el bajo rendimiento del tratamiento sin fósforo, menor de 5 t ha^{-1} de tubérculos, con la dosis de $532 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ se alcanza un rendimiento superior a las 20 t ha^{-1} . En la localidad de Lago Natri, en la isla de Chiloé, la respuesta al fósforo es muy intensa, destaca el rendimiento similar del testigo en relación al experimento en suelo Nueva Braunau, menor de 5 t ha^{-1} . Sin embargo, al aplicar $532 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ el rendimiento alcanza las 45 t ha^{-1} de tubérculos. Cabe señalar que ambos experimentos fueron realizados en la misma temporada. Sin embargo, el experimento de Chiloé sufrió un menor déficit hídrico, lo que permitió mejorar su potencial de rendimiento. Es importante señalar que el suelo trumao de Lago Natri no presentaba historial de fertilización fosfatada, dado que corresponde a un suelo recientemente desmontado. En la Figura 15 se presenta la respuesta al fósforo en otra localidad de la serie Nueva Braunau, y en otra temporada, la respuesta al fósforo es baja y con $320 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, se logran 50 t ha^{-1} de producción comercial de tubérculos, sin embargo, el testigo sin fósforo alcanza las 47 t ha^{-1} , cabe señalar que el suelo presenta historial de fertilización fosfatada y además esta temporada presentó un adecuado régimen de precipitaciones durante primavera y verano. Por otra parte en suelo trumao Osorno, ubicado en el CRI Remehue y con menor historial de fertilización fosfatada se presentó una clara respuesta a la aplicación de fósforo, lográndose incrementar la producción de papa en más de 20 t ha^{-1} cuando se aplicó $350 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y 120 kg N ha^{-1} (Figura 16).

En general, la respuesta del cultivo de la papa a la aplicación de fósforo es muy superior a la respuesta al nitrógeno aplicado. Al considerar el promedio de los diez experimentos estudiados, la respuesta promedio sobre el rendimiento del testigo alcanza a $20,3 \text{ t ha}^{-1}$ adicionales cuando se aplican $380 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ como promedio de todos los experimentos analizados. Sin embargo, el valor promedio de $20,3 \text{ t ha}^{-1}$ presenta una gran variabilidad que va desde escasos incrementos de rendimiento de tan sólo 2 t ha^{-1} hasta 40 t ha^{-1} . Cabe señalar que el incremento más frecuente de rendimiento es cercano a las 20 t ha^{-1} de rendimiento, en 8 de los 10 experimentos el incremento de rendimiento por efecto del fósforo es igual o superior a las

18 t ha⁻¹. Finalmente, es importante señalar que la mayor o menor respuesta al fósforo se asocia claramente con el mayor o menor historial de fertilización fosfatada del potrero previo al cultivo. Si se considera que el rendimiento promedio de los diez experimentos alcanza a 44 t ha⁻¹ aproximadamente y que el incremento promedio debido al fósforo es de 20,3 t ha⁻¹, esto significa que este elemento permite incrementar el rendimiento de papa en un 46%.

Conclusiones

- La respuesta a la fertilización nitrogenada es menor que la respuesta a la fertilización fosfatada.
- La respuesta del nitrógeno en relación a los testigos sin el elemento varía entre 5 y 10 t ha⁻¹ de tubérculos, con un rendimiento promedio de los experimentos de 44 t ha⁻¹.
- Este incremento se logra con dosis de 120 kg N ha⁻¹.
- El fósforo permite incrementar claramente el rendimiento de la papa, en los suelos trumaos de la región, alcanzando en promedio las 20,3 t ha⁻¹ adicionales de producción.
- Este incremento de 20,3 t ha⁻¹ significa un 46% más de rendimiento en promedio cuando se aplican, 380 kg P₂O₅ ha⁻¹. Cabe señalar que este rango de dosis varía entre 320 y 532 kg P₂O₅ ha⁻¹.

3.3. Fertilización con potasio

3.3.1. Respuesta de la papa al potasio en 22 localidades de la Décima Región

Se reconoce ampliamente las necesidades de potasio del cultivo de la papa. Se estima que 100 kg de papa extraen 400 g de K₂O. Esto significa que 50 t de tubérculos extraen 200 kg ha⁻¹ de K₂O aproximadamente. Por otra

parte, el suministro de este elemento por los suelos trumaos es variable y depende del contenido del suelo antes de la plantación, a su vez esto depende de la textura del suelo y del historial de fertilización potásica. Suelos arenosos generalmente presentan un contenido y una reserva menor de potasio, que suelos con mayor contenido de arcilla. En el CRI Remehue se han realizado múltiples experiencias de aplicación de potasio en diferentes localidades y suelos como se muestra en el Cuadro 6. El primer grupo de 4 ensayos que corresponden a suelos trumaos de precordillera andina, permite establecer una moderada respuesta del cultivo a la aplicación de potasio, que varía desde 1,6 a 5,5 t ha⁻¹. Cabe señalar que la dosis de potasio aplicada en este grupo de experimentos fluctuó entre 120 y 160 kg ha⁻¹ de K₂O, usando principalmente sulfato de potasio. En el suelo de la serie Osorno se presentan los resultados de siete experimentos. Destaca una amplia gama de respuesta del cultivo de la papa que varía desde 1,7 a 14,1 t ha⁻¹, alcanzando un promedio de respuesta sobre el testigo sin potasio de 5,9 t ha⁻¹. En el suelo Corte Alto, igualmente se aprecian los beneficios de la aplicación de este elemento, lográndose un incremento promedio de 5,6 t ha⁻¹.

En el suelo Braunau, que se extiende principalmente en la Provincia de Llanquihue, se evaluó el efecto del potasio en cinco sitios. En general, la respuesta del cultivo es mayor, alcanzando un promedio de 8,7 t ha⁻¹, y esta respuesta varía desde 3,5 hasta 13,7 t ha⁻¹. En dos localidades de la isla de Chiloé, la respuesta no fue importante, aun cuando en ambos experimentos se lograron rendimientos mayores de 40 t ha⁻¹. El promedio general de las 22 localidades estudiadas alcanza a 5,8 t ha⁻¹, de producción adicional lograda por la aplicación de potasio. Esto sugiere un claro beneficio de la aplicación de este elemento en la producción de tubérculos. Es importante señalar que la dosis de potasio usada en estos experimentos fluctuó entre 100 y 200 kg ha⁻¹ de K₂O y se usó principalmente sulfato de potasio, como fuente del elemento estudiado. Montenegro y Rodríguez (1984), estudiando el nivel de reserva o potasio no intercambiable de diferentes suelos de la zona sur, señalan que los trumaos poseen un bajo nivel de reserva de este elemento.

Cuadro 6. Rendimiento de la papa con y sin potasio en 22 localidades de la Décima Región

Localidad	Suelo	Rendimiento, t ha ⁻¹		
		N - P - K	N - P	Diferencia
1) Punahue	Santa Bárbara	21,3	16,2	5,1
2) Ignao	Vivanco	29,3	25,7	3,6
3) Huacamalal	Puyehue	46,2	44,6	1,6
4) Entre Lagos	Puyehue	42,3	36,8	5,5
		34,8	30,8	4,0
5) Remehue	Osorno	54,0	39,9	14,1
6) La Pampa	Osorno	28,9	26,2	2,7
7) Remehue	Osorno	35,8	26,7	9,1
8) Purranque	Osorno	26,2	22,0	4,2
9) Remehue	Osorno	53,1	46,2	6,9
10) Remehue	Osorno	24,4	21,6	2,8
11) Remehue	Osorno	39,8	38,1	1,7
		37,5	31,5	5,9
12) Corte Alto	Corte Alto	21,9	20,1	1,8
13) Cuatro Vientos	Corte Alto	39,6	29,1	10,5
14) Corte Alto	Corte Alto	34,5	31,1	3,4
15) Corte Alto	Corte Alto	42,0	35,2	6,8
		34,5	28,9	5,6
16) Los Muermos	Nva. Braunau	39,1	33,3	5,8
17) Totoral	Nva. Braunau	29,6	22,0	7,6
18) Sta. María	Nva. Braunau	23,9	20,4	3,4
19) Sta. María	Nva. Braunau	35,0	21,3	13,7
20) Sta. María	Nva. Braunau	49,8	36,8	13,0
		35,5	26,8	8,7
21) Castro	Chonchi	44,8	44,5	0,3
22) Tara	_____	45,8	42,3	3,5
		45,3	43,4	1,9
		36,9	30,9	5,8

3.3.2. Respuesta del cultivo de la papa cv. Ultimus a la aplicación de fósforo y potasio

En el Centro Regional de Investigación Remehue, se estableció un experimento para evaluar el efecto del fósforo y potasio en diferentes dosis, considerando una dosis constante de nitrógeno de 160 kg ha^{-1} . Se utilizó como fuente de nitrógeno, urea y como fuente de fósforo y potasio, superfosfato triple y sulfato de potasio, respectivamente. El suelo donde se realizó el experimento corresponde a la serie Osorno, manejado con pradera de rotación y ganado de carne. Es importante señalar que esta pradera en diversas temporadas se rezagó y el material cosechado se ensiló. En la Figura 17 se aprecia la respuesta de la papa cv. Ultimus a las aplicaciones de fósforo y potasio. Destaca el claro efecto del fósforo, pero también del potasio. Al aplicar solamente fósforo sin potasio, se produce un incremento desde 41 hasta 57 t ha^{-1} . Al aplicar $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ se incrementa el rendimiento moderadamente, pero al aplicar $240 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ el rendimiento de los tratamientos con 200 y $400 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ se incrementan claramente, superando las 60 t ha^{-1} de tubérculos. Estos resultados sugieren que para alto rendimiento se requiere dosis moderadamente altas de potasio para la variedad Ultimus. Por otra parte, el contenido de potasio de intercambio en el suelo, al inicio del experimento era de 160 ppm, valor conside-

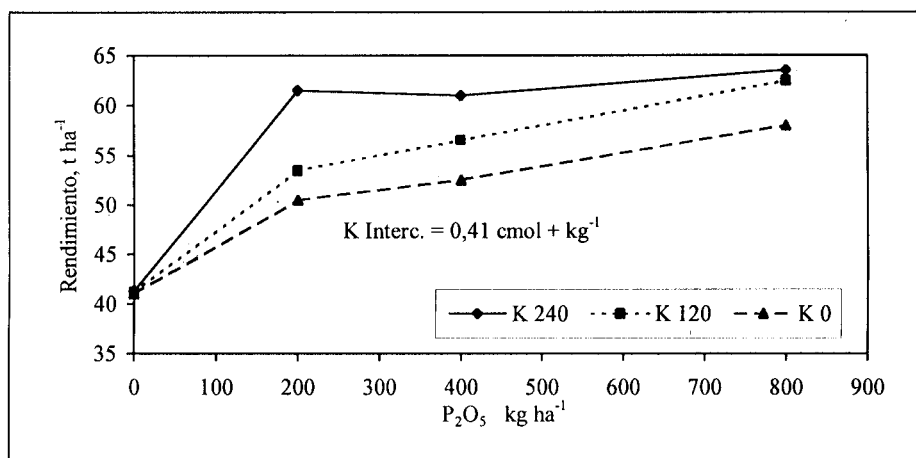


Figura 17. Efecto en rendimiento de la papa variedad Ultimus, de Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O). Estación Experimental Remehue. Suelo Osorno.

rado medio para el cultivo. Sin embargo, la clara respuesta se explica por el alto potencial de rendimiento alcanzado por el cultivo. Es importante destacar que los testigos sin fósforo y sin potasio alcanzan un rendimiento de 40 t ha⁻¹ y el tratamiento con 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 240 kg K₂O ha⁻¹ permiten superar ligeramente las 60 t ha⁻¹.

3.3.3. Respuesta de la papa cv. Yagana a la aplicación de dos fuentes de potasio

Durante la temporada 1990-1991 se evaluó el efecto de sulfato de potasio y cloruro de potasio en el cv. Yagana. Todo el experimento recibió una dosis de 150 kg N ha⁻¹ y 540 kg P₂O₅ ha⁻¹ usando urea y superfosfato triple, como fuente de N y P₂O₅, respectivamente.

La dosis de potasio aplicado fue de 260 kg K₂O ha⁻¹. Antes de la plantación, el suelo se muestreó para determinar su contenido de potasio de intercambio, estableciéndose una disponibilidad de 0,74 cmol⁺ kg⁻¹ en la capa arable. En la Figura 18 se aprecia la respuesta del cv. Yagana a los diferentes tratamientos. El testigo sin potasio alcanza las 36 t ha⁻¹ de rendimiento, mientras que al aplicar ambas fuentes de potasio, cloruro y sulfato se produce un claro incremento del rendimiento por sobre las 41 t ha⁻¹.

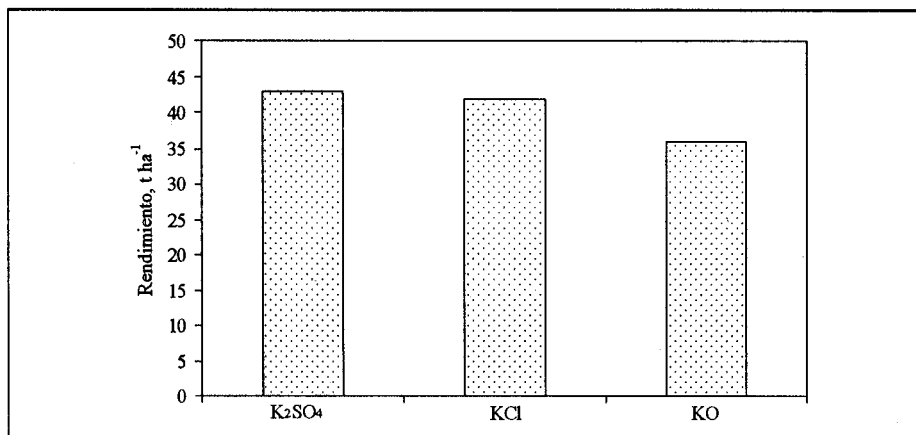


Figura 18. Respuesta de la papa cv. Yagana a la aplicación de dos fuentes de potasio, sulfato y cloruro. Suelo Osorno. Estación Experimental Remehue.

3.3.4. Efecto de tres fuentes potásicas en el rendimiento de papa variedad Desireé

En otro experimento realizado en el CRI Remehue, en que se evaluó el efecto de tres fuentes potásicas (sulfato de potasio, salitre potásico y cloruro de potasio) con el cv. Desireé, se pudo establecer que no existió diferencia significativa entre las diferentes fuentes estudiadas como se aprecia en la Figura 19. El cloruro de potasio es una fuente concentrada y económica de potasio pero su alta concentración de cloro puede generar toxicidad por exceso de este microelemento, o también afectar la absorción de nitrato por efecto de antagonismo entre ambos aniones, James *et al.* (1994). Por otra parte, el mismo autor señala que aplicaciones excesivas de potasio afectan la concentración de magnesio a nivel de los pecíolos.

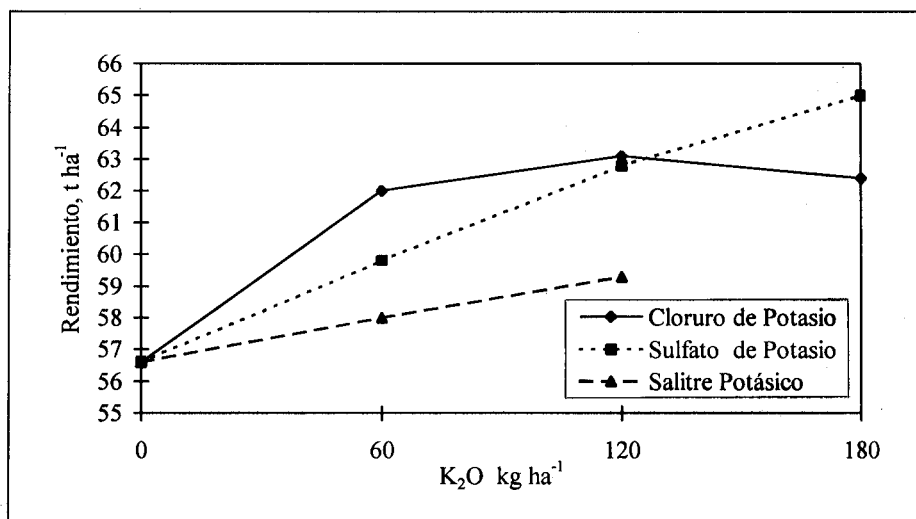


Figura 19. Efecto de tres fuentes potásicas en rendimiento de papa variedad Desireé, en suelo Osorno (t/ha^{-1})

3.4. Efecto de la fertilización con sulfato y cloruro de potasio en doce localidades de la Décima Región

Reconociendo que el potasio es un elemento de gran importancia no sólo en la producción, sino en la calidad de los tubérculos cosechados, se evaluó

el efecto de dos fuentes, sulfato y cloruro de potasio en doce localidades de la Décima Región desde Lago Ranco hasta la isla de Chiloé. En el Cuadro 7 se aprecia que la respuesta al potasio es variable en producción y que el rendimiento se incrementa sobre el testigo sin potasio, independiente de la fuente utilizada. La respuesta al potasio aplicado alcanza a $6,3 \text{ t ha}^{-1}$ en promedio en los doce suelos estudiados. Es importante destacar que el empleo de muriato de potasio debe ser usado en dosis no excesivas, sobre todo cuando se aplica localizado, para evitar posible toxicidad por efecto del cloruro. Se sugiere no usar más de $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ como muriato potasio. Aplicado al voleo y en preabonadura se pueden usar dosis más altas.

El azufre es absorbido por las raíces activas de las plantas como sulfato (SO_4^{2-}). Este elemento es requerido en cantidades ligeramente inferiores al fósforo. Como se señaló, su deficiencia produce una clorosis generalizada de la planta, en hojas nuevas y viejas, es decir, este elemento no es móvil en la planta, como el caso del nitrógeno.

En el suelo, el azufre sigue un ciclo similar al nitrógeno. La reserva de azufre en los suelos de zonas húmedas se encuentra principalmente en la materia orgánica. La mineralización de los compuestos orgánicos presentes en el suelo libera azufre oxidado finalmente a la forma de sulfato. Este puede ser adsorbido por el suelo, lo que evita su lavado. Se puede afirmar que los suelos trumaos deben presentar un mejor suministro de azufre que los suelos rojos arcillosos, debido al menor contenido de materia orgánica de éstos.

La respuesta de la papa a la aplicación de sulfato en condiciones de campo, ha sido evaluada en seis suelos de la Décima Región. En el Cuadro 7 se muestra el efecto de tratamientos con nitrógeno, fósforo y potasio y azufre. Estos dos últimos elementos aplicados como sulfato de potasio en dosis no inferiores a 75 kg S ha^{-1} comparados con tratamientos similares en sus dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, considerando como fuente de este último elemento el muriato de potasio (KCl), para de esta forma aislar el efecto del azufre. Este efecto se evaluó en 12 localidades de la Décima Región. Tres suelos de precordillera Andina Futrono y Puyehue, y los otros ocho del llano Central, Osorno, Corte Alto y Nueva Braunau. Al comparar el efecto de ambos tratamientos no se aprecia una diferencia importante

de rendimiento, aun cuando en el caso del suelo Puyehue y Nueva Braunau, se manifiesta un mejor comportamiento del sulfato de potasio sobre el muriato de potasio. Esta diferencia pudiera ser atribuible al efecto del sulfato aplicado, sin embargo, este efecto es moderado. En general, se puede afirmar que el beneficio de la fertilización con azufre en papa en suelos trumaos, no sería un factor de gran importancia. Sin embargo, debería considerarse en la fórmula de fertilización como una forma de no agotar la reserva de este elemento. Panike *et al.* (1997), estudiando la respuesta a la aplicación de potasio en 11 experimentos, encontraron efectos significativos en aquellos suelos con niveles de potasio de intercambio inferiores a 110 mg kg⁻¹.

Cuadro 7. Rendimiento de la papa según dos fuentes de potasio (sulfato y cloruro de potasio) en doce localidades de la Décima Región (t ha⁻¹)

Localidad	Suelo	N - P Sin potasio	N - P - K Cloruro de potasio	N - P - K - S Sulfato de potasio
Ignao	Futrono	25,7	33,3	29,3
Huacamalal	Futrono	44,6	44,7	46,2
Entre Lagos	Puyehue	36,8	36,6	42,3
Remehue	Osorno	46,2	47,2	53,1
Remehue	Osorno	21,6	27,3	24,4
Remehue	Osorno	38,1	42,0	39,8
Corte Alto	Corte Alto	29,1	39,4	39,6
Corte Alto	Corte Alto	31,1	38,8	34,5
Corte Alto	Corte Alto	35,2	42,9	42,0
Sta. María	Nva. Braunau	21,3	37,1	35,0
Sta. María	Nva. Braunau	36,8	44,4	49,8
Tara (Chiloé)	—	42,3	50,5	45,8
	$\bar{X}$	34,1	40,4	40,2

3.5. Efecto de la aplicación de yeso agrícola en la producción de papa variedad Desireé

La aplicación de enmiendas en papa, como carbonato de calcio (cal) normalmente no se recomienda. Sin embargo, la aplicación de sulfato de calcio (yeso), puede ser beneficiosa en suelos con bajos contenidos de calcio. Estudios desarrollados en la década del 70 permiten afirmar que plantas de papas creciendo en suelos con bajos contenidos de calcio pueden desarrollar más fácilmente la enfermedad conocida como “pié negro”, producida por la bacteria *Erwinia carotovora*. Se ha observado que al aplicar calcio relativamente soluble en suelos con bajos contenidos de este elemento puede favorecer la producción de tubérculos más sanos. En el CRI Remehue se evaluó el efecto de la aplicación de tres dosis de yeso agrícola en el rendimiento de tubérculos del cv. Desireé. Se analizó además, el contenido de calcio en los tubérculos cosechados y el daño producido por la bacteria *Erwinia* en las plantas. En el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos al aplicar 2 y 4 t ha⁻¹ de yeso, además de la fertilización base con nitrógeno, fósforo y potasio. La aplicación de yeso incrementa moderadamente el rendimiento en prácticamente un 10% más de producción. Al analizar el producto cosechado no se encontró un efecto de los tratamientos sobre la calidad de los tubérculos cosechados. Cabe señalar que el contenido de calcio del suelo al inicio del experimento era moderadamente bajo, 4 cmol⁺/kg de suelo. Locascio *et al.* (1992), evaluando durante tres temporadas la aplicación de yeso en suelos con niveles entre 2,2 y 4,3 cmol⁺/kg, en una temporada encontraron una respuesta baja de sólo el 6% en producción de tubérculos, en suelos del norte de Florida (EE.UU.).

Silva *et al.* (1991), al estudiar el efecto del riego, nitrógeno y yeso sobre la gravedad específica y desórdenes fisiológicos del tubérculo en el cv. Atlantic, en el Estado de Michigan, establecieron que el exceso de riego durante agosto y septiembre redujo la gravedad específica, incrementó la incidencia de corazón hueco y en algunas temporadas el pardeamiento interno de los tubérculos. El efecto de la aplicación de yeso no fue consistente en la reducción del pardeamiento interno de los tubérculos y tampoco incrementó el rendimiento.

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de yeso agrícola sobre el rendimiento de la papa, cv. Desireé, en suelo Osorno (t ha⁻¹)

Yeso agrícola	Rendimiento
0	40,6
2	45,1
4	44,9

3.6. Efecto de la aplicación de cal (carbonato de calcio) sobre el rendimiento del cultivar Desireé, en dos suelos de la provincia de Llanquihue

El encalado en la producción de papa es una práctica agronómica no recomendada. Se reconoce que la papa es un cultivo tolerante a niveles de acidez bastante extremos. Algunos autores señalan que recién el cultivo se afecta con valores de pH inferiores a 5,0 (Laughlin *et al.*, 1974) en suelos con pH 4,82 de Alaska y usando el cv. Kennebec, observaron beneficios del encalado, mejorando el vigor de las plantas e incrementando la absorción de macronutrientes primarios y secundarios; Al, Mn y Zn disminuyeron sus concentraciones en el follaje y en los tubérculos. La reacción ácida en el suelo favorece la disponibilidad de micronutrientes como hierro, manganeso y zinc principalmente. El encalado en papa produce una mayor susceptibilidad de los tubérculos a presentar sarna, y en algunos países de clima húmedo y suelos ácidos se recomienda el encalado para el cultivo anterior a la papa, de manera de evitar el posible daño por sarna de los tubérculos. En el CRI Remehue se evaluó el efecto en producción en dos suelos ácidos de la provincia de Llanquihue de la aplicación de 1,2 t ha⁻¹ de carbonato de calcio, mezclado con los fertilizantes, usando como fuente nitrogenada salitre sódico, aplicado en dos parcialidades. El fósforo se aplicó como superfosfato triple y el potasio como sulfato. El efecto en rendimiento, como se aprecia en el Cuadro 9, fue similar en ambos tratamientos, es decir, el encalado no presentó un beneficio adicional para el cultivo de la papa aún en suelos con pH considerado como fuertemente ácido. A la cosecha se observó en los tratamientos con encalado, que los tubérculos presentaron una mayor incidencia de sarna, especialmente en el suelo Fresia.

Cuadro 9. Producción de papa, variedad Desireé, en dos suelos de Llanquihue, con y sin encalado

Suelo	Localidad	N-P-K con cal	N-P-K sin cal	pH del suelo
		t ha ⁻¹		
Nva. Braunau	Línea Cruzada	37,8	36,1	5,3
Fresia	Río Frío	26,2	28,2	5,2

N = 100 kg ha⁻¹

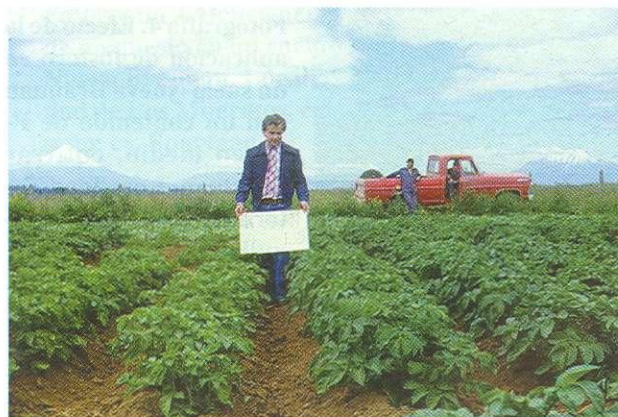
P₂O₅ = 400 kg ha⁻¹

K₂O = 200 kg ha⁻¹

3.7. Fertilización con micronutrientes

La experimentación con micronutrientes en el cultivo de la papa en suelos de la zona sur es escasa. Sin embargo, en el CRI Remehue se evaluó el efecto de la aplicación de una mezcla de oligoelementos en papa cv. Serrana, en suelo Osorno, estudiando Zinc, Cobre, Manganeseo, Boro y Molibdeno. Los tres primeros se aplicaron como sales de sulfato, el boro como borax y el molibdeno como trióxido de molibdeno. La cantidad total de sales aplicadas fue de 40 kg ha⁻¹. La cantidad de nutrientes incorporados en esta mezcla incluyen 2 kg ha⁻¹ de sulfato de zinc, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de manganeso, 1,2 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre, 10 kg ha⁻¹ de borax y 200 g ha⁻¹ de trióxido de molibdeno.

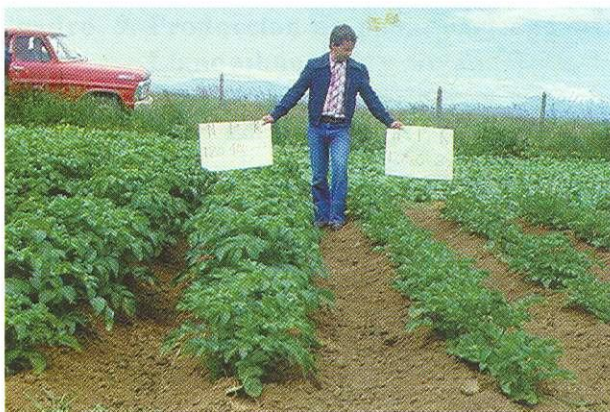
El experimento recibió una fertilización base con nitrógeno, fósforo y potasio. La respuesta del cultivo a la aplicación de micronutrientes no fue significativa estadísticamente (Cuadro 10). La no respuesta del cultivo implica que el suelo puede suministrar los micronutrientes necesarios para el nivel de rendimiento alcanzado. Es probable que con rendimientos potenciales mayores el cultivo puede presentar una respuesta significativa en producción.



Fotografías 1 y 2. Efecto de la aplicación de nitrógeno (urea) en papa cv. Spartaan en suelo Nueva Braunau, con varios años de precultivo.



Fotografía 3. Efecto de la no aplicación de fósforo en un suelo Nueva Braunau, con 2 ppm de P-Olsen. En un año con intensa sequía en primavera, Localidad Santa María, variedad Spartaan.



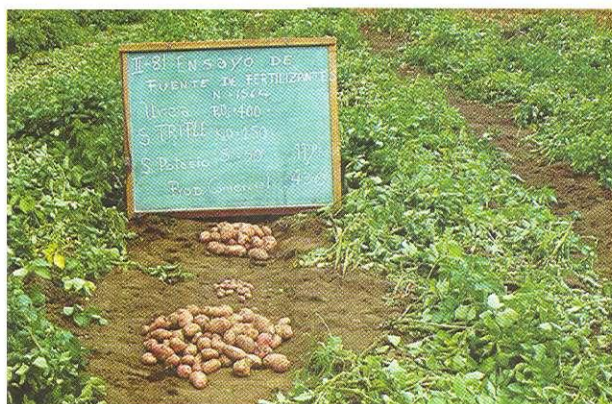
Fotografía 4. Efecto de la aplicación de fósforo en un suelo Nueva Braunau con un contenido de P-Olsen medio, cultivar Spartaan, Localidad Totoral, Provincia de Llanquihue.

Fotografía 5. Claro efecto del fósforo sobre el adelantamiento de la madurez en papa cv. Spartaan. En suelo Nueva Braunau muy pobre en fósforo disponible. Localidad de Los Muermos.

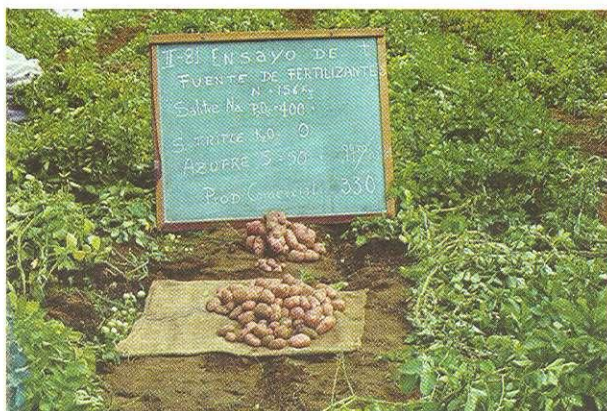


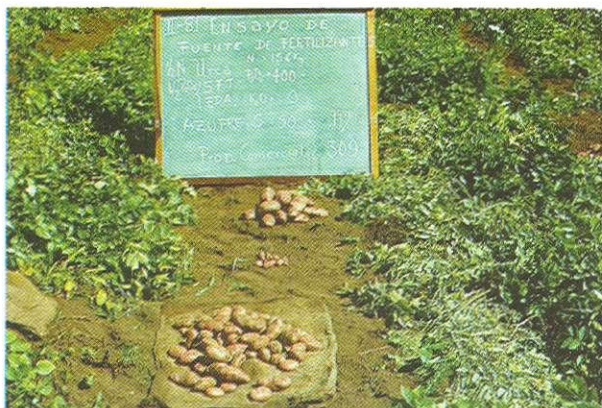
Fotografía 6. Claro efecto de la aplicación de potasio sobre el crecimiento del cultivo de papa Spartaan, suelo Nueva Braunau. Localidad de Totoral (156 ppm de potasio de intercambio en el suelo).

Fotografía 7. Deficiencia de magnesio en un suelo Nueva Braunau, Localidad de Los Muermos, en papa cv. Spartaan.

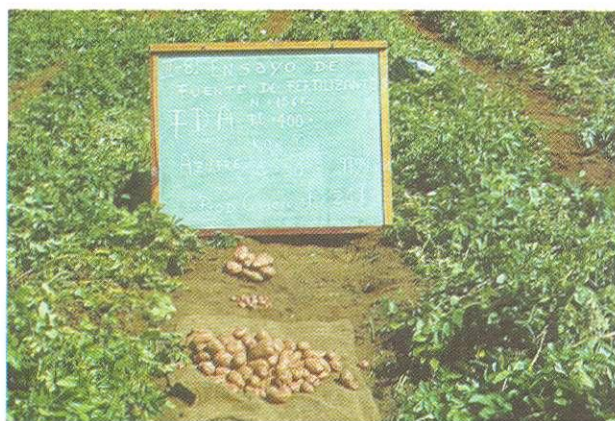
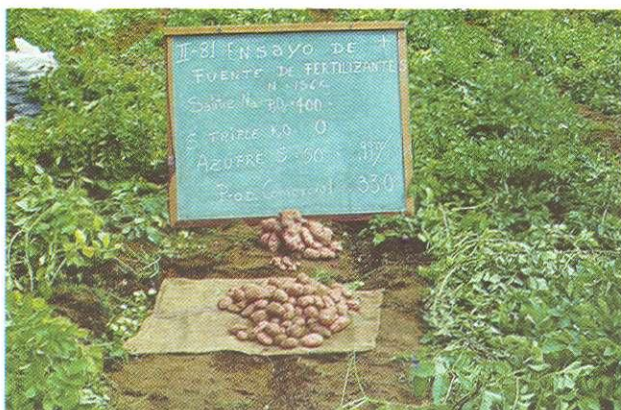


Fotografías 8 y 9. Efecto de dos mezclas de fertilizantes, una que incluye potasio y otra sin ese elemento. Obsérvese el efecto del elemento sobre el calibre del tubérculo, cv. Desireé.





Fotografías 10 y 11. Efecto de fuente nitrogenada nítrica versus amoniacal, sin incluir potasio en la fórmula de fertilización en un suelo Osorno, cv. Desireé.



Fotografía 12. Efecto sobre el rendimiento del cultivar Desireé de una mezcla de fertilizantes que incluye fertilizantes de reacción ácida, urea y azufre sin potasio. Nótese el escaso rendimiento de tubérculos de gran calibre lo que determina un bajo rendimiento. Suelo Osorno.

Cuadro 10. Efecto de la fertilización con micronutrientes sobre el rendimiento de la papa cv. Serrana en suelo Osorno

Tratamiento	t ha ⁻¹
Con micronutriente	51,0 a
Sin micronutriente	48,0 a

Conclusiones

- La respuesta de la papa a la fertilización con potasio es mayor en los suelos de Llanquihue, con un incremento de 8,7 t ha⁻¹, promedio de cinco experimentos.
- En suelo Osorno y Corte Alto el potasio incrementa en alrededor de 5,5 t ha⁻¹ el rendimiento.
- En suelo Osorno y con 0,41 cmol(+) ha⁻¹ de potasio de intercambio se logra una clara respuesta a este elemento con una dosis de 240 kg K₂O ha⁻¹.
- Al evaluar diferentes fuentes de potasio como, sulfato cloruro y salitre potásico, no se verificó diferencia de rendimiento entre las fuentes fertilizantes.
- La aplicación de yeso agrícola, en suelo Osorno con 4 cmol(+) kg⁻¹ de Ca de intercambio mejoró el rendimiento de la papa cv. Desireé.
- La aplicación de cal en suelos con pH fuertemente ácido (5,2 y 5,3) no mejoró el rendimiento del cultivo.
- La aplicación de micronutrientes no favoreció al rendimiento del cultivo de papa cv. Serrana.

CAPÍTULO 4

Época de aplicación de los fertilizantes

4.1. Nitrógeno

La época de aplicación del nitrógeno puede ser un factor importante dependiendo de la textura del suelo, de la precocidad del cultivar y de la época de plantación. En suelos de textura arenosa, el nitrógeno debe parcializarse en dos o tres aplicaciones, para favorecer la permanencia de una adecuada concentración de nitrógeno en la zona de raíces.

En suelos de textura media franco limosa, típico de los trumaos, y en siembras de época normal, desde fines de septiembre y hasta fines de octubre, el nitrógeno debe aplicarse un 70% de la dosis total a la plantación y el 30% restante, 50 días después de la plantación inmediatamente antes de la aporca. Se debe preferir como fuente, nitrógeno nítrico, por su rapidez de acción.

4.2. Fósforo

Este elemento es extremadamente poco móvil en el suelo. Debe aplicarse el 100% de la dosis al momento de la plantación. En el caso de usar dosis muy altas por baja disponibilidad del suelo y pensando en obtener un alto rendimiento se puede aplicar un 30% de la dosis al voleo incorporado antes de la plantación.

4.3. Potasio

Este elemento en suelos de textura media presenta una baja movilidad, por lo tanto, se debe aplicar todo el potasio al momento de la plantación. Sin embargo, al usar dosis muy altas, 400 ó 500 kg K_2O ha⁻¹, es recomendable aplicar una parte antes de la plantación (30%) incorporado al voleo en el

suelo, para evitar el efecto salino producto de la alta concentración de fertilizante cercana a la semilla.

En suelos de textura arenosa puede justificarse una parcialización de la dosis de potasio pero no más allá de los 60 días desde la plantación.

4.4. Calcio

Si es necesaria la aplicación de calcio, usando como fuente yeso agrícola (Ca SO_4) éste se debe aplicar antes de la siembra, o mezclado con los fertilizantes. La incorporación junto a la mezcla de fertilizantes dependerá de la dosis de yeso a aplicar. En el caso de aplicar dosis muy altas, más de 500 kg ha^{-1} se sugiere aplicarlo al voleo e incorporarlo mediante rastraje antes de la plantación.

4.5. Magnesio

Este elemento normalmente no se aplica en grandes dosis, por lo que su incorporación puede incluirse en la mezcla de fertilización base, junto al nitrógeno, fósforo y potasio. Se recomienda su aplicación a la plantación.

4.6. Azufre

Este nutriente secundario se recomienda aplicarlo junto a la fertilización base, incorporarlo en la mezcla con los nutrientes principales. Se sugiere usar fuentes que contengan el azufre al estado de sulfato ($\text{SO}_4^{=}$). Una fuente recomendable es el sulfato de potasio o el sulfato doble de potasio y magnesio, si se sospecha una deficiencia de este último elemento.

4.7. Micronutrientes

Si el rendimiento esperado es alto, mayor de 55 t ha^{-1} se sugiere la aplicación de boro y zinc principalmente. Estos microelementos se deben aplicar junto a la mezcla de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos.

En general todos los fertilizantes deben aplicarse inmediatamente o durante la plantación del cultivo. El nitrógeno, como se señaló, debería

parcializarse, dependiendo de las condiciones ya señaladas. El potasio podría parcializarse pero en suelos muy arenosos, que son poco frecuentes en la zona sur.

Conclusiones

- En suelos trumaos sería recomendable una aplicación base inicial al suelo y luego a la aporca un 20 a 30% de la dosis total de nitrógeno.
- Para la aporca preferir nitrógeno nítrico.
- El fósforo debe aplicarse todo a la plantación, al igual que el calcio y magnesio.
- Al usar dosis altas de potasio, aplicar parte de la dosis en preabonadura, luego otra fracción a la plantación. Si el suelo es muy arenoso, considerar la aplicación de potasio a la aporca, no más del 20% de la dosis total.

CAPÍTULO 5

Efecto de diferentes fuentes fertilizantes

5.1. Efecto de diferentes fuentes nitrogenadas, fosfatadas y potásicas en producción de papa

Información experimental de campo sobre el efecto de diferentes fuentes fertilizantes en la producción de papa no es abundante. Sin embargo, en el CRI Remehue se han obtenido algunos resultados de campo. En un suelo Osorno se estableció un experimento para evaluar el efecto de 12 tratamientos de fertilización, con el cultivar Desireé. Se evaluaron diferentes fuentes de nitrógeno como urea y salitre sódico. Además de fuentes fosfatadas como fosfato diamónico (FDA), superfosfato triple (SFT), roca fosfórica de Sechura y polifosfato de amonio. Como fuente de potasio se empleó sulfato de potasio (SK) y como fuente de azufre, azufre elemental (S). Las cantidades aplicadas de nitrógeno fósforo y potasio se igualaron para los diferentes tratamientos, según las siguientes dosis: $N = 156$; $P_2O_5 = 400$ y $K_2O = 150$ kg ha⁻¹. Previo a la plantación se analizó la capa arable del suelo, mediante análisis químico de suelo, determinándose el siguiente contenido de nutrientes: nitrógeno mineral 75 ppm; fósforo disponible 6 ppm; potasio de intercambio 0,40 cmol(+) kg⁻¹ y pH 5,5, al agua.

Los fertilizantes se aplicaron en el surco al momento de la plantación. Los rendimientos alcanzados variaron desde 20 a 44 t ha⁻¹ de tubérculos cosechados (Figura 20). Los menores rendimientos se lograron con la roca fosfórica usada como fuente de fósforo. Este bajo rendimiento se explica por la baja solubilidad de la roca fosfórica para el cultivo de la papa, el que requiere de una alta demanda de fósforo disponible rápidamente en los primeros 60 días desde la plantación. La roca fosfórica no permite satisfacer esta gran demanda debido a su baja solubilidad. Este tratamiento se caracteriza, además, por presentar una baja contribución de calibre consumo en el rendimiento producido. Una tendencia similar se observa en el

tratamiento con fosfato diamónico y azufre elemental. Este bajo rendimiento se explica por la ausencia de potasio en la fórmula de fertilización y además por el efecto acidificante de ambas fuentes fertilizantes aplicadas de manera no localizadas. Si se compara este tratamiento con la aplicación de fosfato diamónico más sulfato de potasio, este último permite incrementar notoriamente el rendimiento. En general, todos los tratamientos sin potasio aplicado presentan los menores rendimientos, no superando las 35 t ha⁻¹. Por otra parte, todos los tratamientos con potasio a excepción del tratamiento 50% de fósforo como superfosfato triple y 50% de fósforo como fosfato diamónico y salitre sódico más azufre, sin incluir potasio, presentan rendimientos superiores a las 35 t ha⁻¹. El análisis de este último tratamiento sugiere una sustitución de potasio por sodio, en la nutrición potásica del cultivo. Los tratamientos con mayor rendimiento alcanzado corresponden a la aplicación de urea, superfosfato triple y sulfato de potasio, junto al tratamiento en que se suministra el nitrógeno 50% como salitre sódico y el 50% restante como fosfato diamónico, además de superfosfato triple y sulfato de potasio.

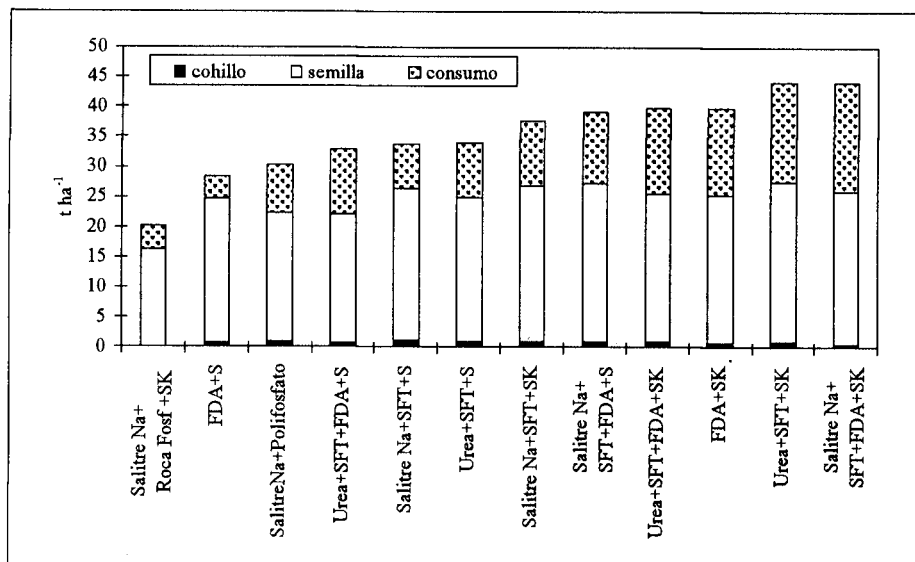


Figura 20. Efecto de diferentes fuentes fertilizantes en el rendimiento de papa cv. Desiree.

5.2. Efecto de fuentes de nitrógeno y de la aplicación de potasio en el rendimiento de la papa, en algunos suelos de la provincia de Llanquihue

Durante los años 1985 y 1990 se establecieron algunos experimentos de campo en la provincia de Llanquihue para evaluar el efecto de urea y salitre sódico y también de potasio en la producción de tubérculos de papa. En la Figura 21 se presenta el efecto de ambas fuentes en la localidad de Calabozo, en suelo Nueva Braunau, considerando tres dosis de nitrógeno y evaluando el efecto en producción y calibre de los tubérculos cosechados, con la variedad Spartan, de calidad certificada. Cabe señalar que estos experimentos recibieron 400 kg P_2O_5 ha⁻¹ como superfosfato triple y 200 kg K_2O ha⁻¹ como sulfato de potasio. El testigo sin nitrógeno permite alcanzar las 48 t ha⁻¹ de tubérculos, con una predominancia de calibre semilla sobre el calibre consumo, al aplicar urea en dosis de 100 y 150 kg N ha⁻¹, el rendimiento de tubérculos se incrementa ligeramente, debido al aumento

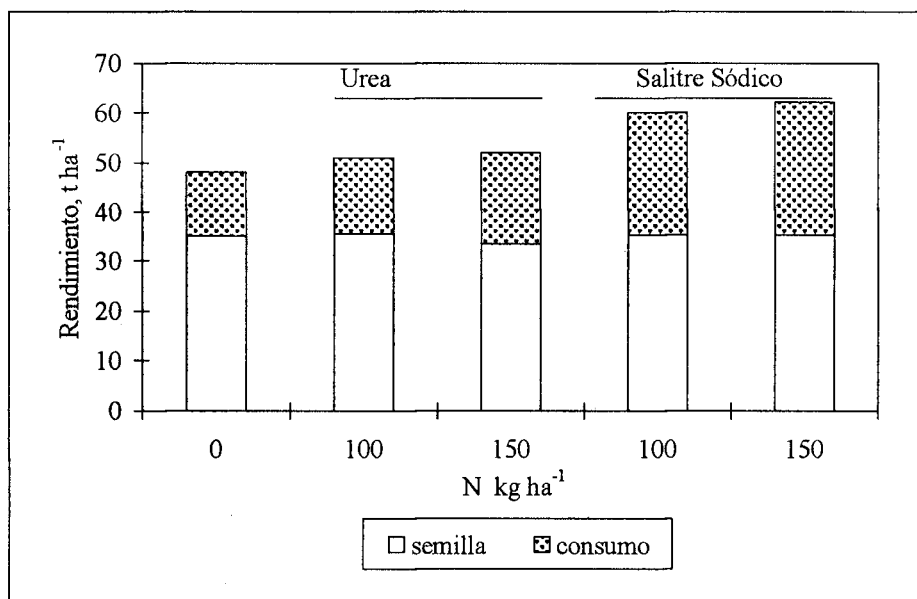


Figura 21. Efecto de dos niveles de nitrógeno como Urea y Salitre Sódico sobre el rendimiento de la papa variedad Spartan. Suelo Nva. Braunau, Localidad Calabozo. Prov. de Llanquihue.

del calibre consumo. La aplicación de nitrógeno como salitre sódico permite incrementar sensiblemente el rendimiento, logrando 60 t ha⁻¹ con la aplicación de 100 y 150 kg N ha⁻¹. Este incremento de rendimiento se explica por un aumento del calibre de los tubérculos cosechados, mayor calibre de papas del tipo consumo. La explicación para este efecto positivo del salitre sobre la urea podría deberse a dos razones, a) posible toxicidad por NH₄⁺ causada por la hidrólisis de la urea, b) deficiencia de boro corregida por el salitre sódico.

En el primer caso, el efecto depresivo de la urea ha sido reportado por Polizotto y col. (1975), Meisinger y col. (1978). Posiblemente ésta sea la causa del mejor comportamiento del nitrato de sodio, sin embargo, la hipótesis de la carencia de boro corregida por el aporte de este microelemento por el salitre es posible, debido a que uno de los micronutrientes potencialmente deficitarios en suelos trumaos es el boro, además el alto nivel de rendimiento alcanzado de 60 t ha⁻¹, habría generado una gran demanda de nutrientes.

Lorenz *et al.* (1974), en suelos de California al evaluar diferentes fuentes nitrogenadas determinaron un mejor efecto sobre el rendimiento de tubérculos al aplicar sulfato de amonio, al compararla con urea formaldeído y urea recubierta con azufre y urea.

En la Figura 22 se aprecian los mismos tratamientos con urea y salitre sódico en dosis de 100 kg N ha⁻¹ comparados con sus respectivos tratamientos sin potasio. Cabe señalar que estos resultados corresponden a tratamientos del mismo experimento descrito en la figura anterior, pero se incluyen tratamientos sin potasio. El tratamiento con mayor rendimiento corresponde al salitre sódico más la aplicación de 200 kg K₂O ha⁻¹ y el menor rendimiento se logra con urea y sin potasio aplicado. El tratamiento con salitre sódico y sin potasio aplicado presenta un rendimiento mayor de 4,6 t ha⁻¹ de tubérculos si se compara con la aplicación de urea y sin potasio aplicado. Esta pequeña diferencia podría ser por efecto de sustitución de potasio por sodio, dado que en ambos tratamientos no se aplicó potasio. El alto rendimiento del salitre con potasio sobre el tratamiento con salitre sin potasio sería explicado, como se señaló, por el posible efecto del boro aportado por el salitre sódico. Marschner (1986), señala que la deficiencia de micronutrientes cuando es severa puede afectar de manera significativa los rendimientos.

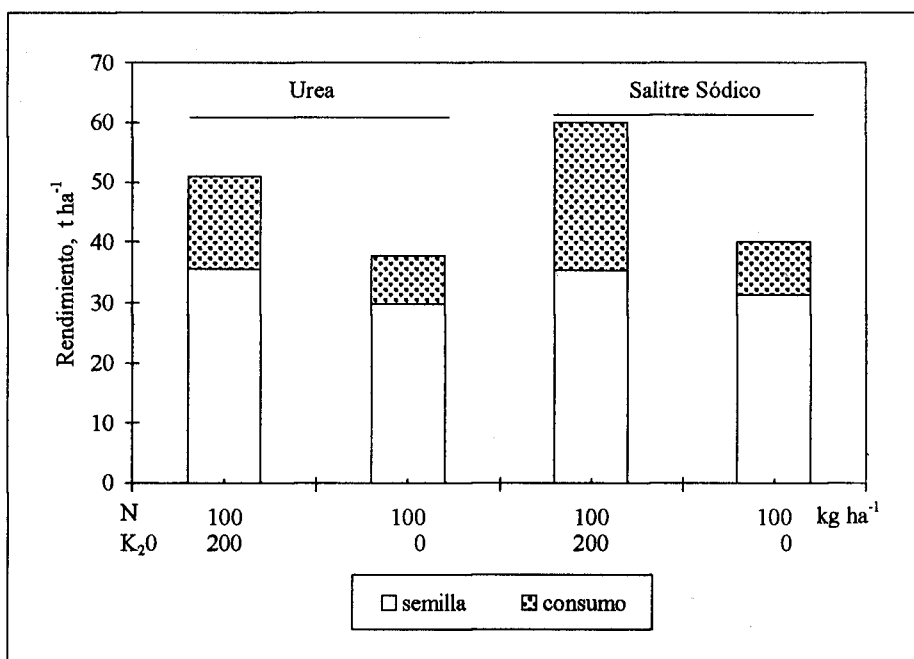


Figura 22. Efecto de la aplicación de Potasio y dos fuentes nitrogenadas sobre el rendimiento de la papa cultivar Spartan en suelo Nueva Braunau. Localidad Calabozo. Prov. de Llanquihue.

5.3. Efecto de dos fuentes de nitrógeno y potasio en suelo Nueva Braunau, localidad Línea Cruzada

El suelo Nueva Braunau presenta normalmente una reacción fuertemente ácida, pH menor de 5,5 al agua y tenores de aluminio de intercambio y materia orgánica altos. Esta serie generalmente contiene bajos niveles de potasio de intercambio. Sin embargo, estos suelos poseen un gran potencial de producción para papa, debido a las excelentes características físicas y a las frecuentes precipitaciones que se registran normalmente en la primavera y verano. Se estableció un experimento de campo con el cv. Desireé para evaluar el efecto de dosis de nitrógeno considerando dos fuentes, urea y salitre sódico. También se estudió el efecto de la aplicación de potasio, como sulfato. Además, todo el experimento recibió una fertilización base

de 400 kg P_2O_5 ha⁻¹ como superfosfato triple. En la Figura 23 se aprecia el efecto y la comparación de ambas fuentes nitrogenadas según las diferentes dosis de nitrógeno aplicado. La respuesta al nitrógeno fue similar, independiente de la fuente usada y dosis mayores de 100 kg N ha⁻¹ no incrementaron el rendimiento. El incremento productivo de la papa superó las 10 t ha⁻¹ de tubérculos cuando se aplicaron 100 kg N ha⁻¹. El testigo sin nitrógeno alcanzó las 23,5 t ha⁻¹ de tubérculos comerciales. En la Figura 24 se aprecia el efecto de ambas fuentes nitrogenadas, en presencia y ausencia de potasio. Cabe señalar que este sitio experimental presentaba al inicio del experimento un contenido bajo de potasio de intercambio (Cuadro 11).

La respuesta a la aplicación de potasio fue altamente significativa y ambos testigos sin potasio y con diferentes fuentes de nitrógeno presentan rendimientos similares de sólo 15 t ha⁻¹, es decir, la aplicación de 200 kg K_2O ha⁻¹ de potasio permite incrementar el rendimiento de tubérculos en 20 t ha⁻¹, independiente de la fuente nitrogenada usada. El salitre sódico más la fertilización potásica produce un rendimiento similar a la urea más potasio. Es interesante señalar que en este caso no se observa un benefi-

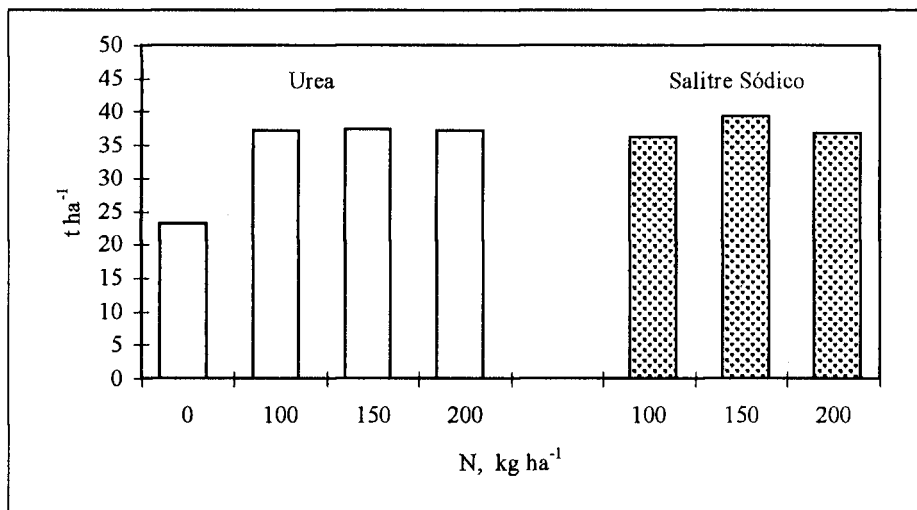


Figura 23. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de nitrógeno como urea y salitre sódico en el rendimiento del cultivar Desireé, localidad de Línea Cruzada, suelo Nueva Braunau. Provincia de Llanquihue.

cio adicional de la aplicación de salitre sódico, como en el caso de la localidad de Calabozo, aun cuando en Línea Cruzada el contenido de potasio inicial del suelo es más bajo ($0,22 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$).

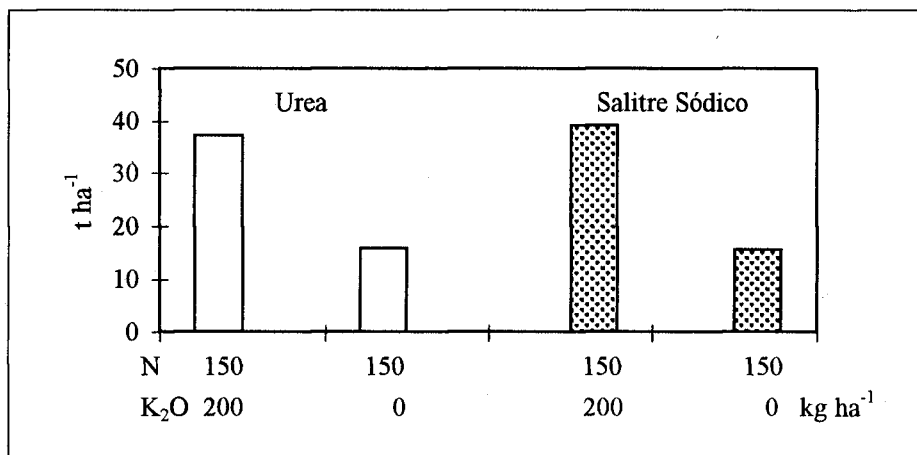


Figura 24. Efecto de urea y salitre sódico, con y sin Potasio, en el rendimiento de la papa variedad Desireé, localidad de Línea Cruzada, suelo Nueva Braunau. Provincia de Llanquihue.

Cuadro 11. Nivel de fertilidad inicial de cuatro sitios experimentales donde se evaluaron el efecto de dosis y fuente de nitrógeno y el efecto de la aplicación de potasio

Suelo	Localidad	N	P	K	pH	m.o.
		ppm				%
Nueva Braunau	Calabozo	48	6	128	5,3	17,6
Nueva Braunau	Línea Cruzada	—	10	86	5,3	19,6
Nueva Braunau	Santa María	—	8	84	5,3	18,6
Fresia	Río Frío	—	3	280	5,2	14,2

Lab.: CRI Remehue.

Sin embargo, en esta última localidad el rendimiento de los testigos sin potasio es bastante menor que en la localidad de Calabozo, pero también el rendimiento general logrado en Línea Cruzada es bastante inferior, no superando las 40 t ha⁻¹.

5.4. Efecto de urea y salitre sódico en suelo Nueva Braunau, localidad Santa María

En la Figura 25 se aprecia el efecto de salitre sódico y urea según cuatro dosis de nitrógeno, en el rendimiento de tubérculos de la variedad Desireé. Ambas fuentes presentan un rendimiento similar. El testigo sin nitrógeno permite producir alrededor de 23 t ha⁻¹ y al aplicar 100 kg N ha⁻¹ el rendimiento con ambas fuentes se incrementa hasta las 36 t ha⁻¹, aproximadamente.

Dosis mayores de nitrógeno no incrementan de manera significativa el rendimiento, aun cuando se aprecia una leve tendencia no significativa de mayor

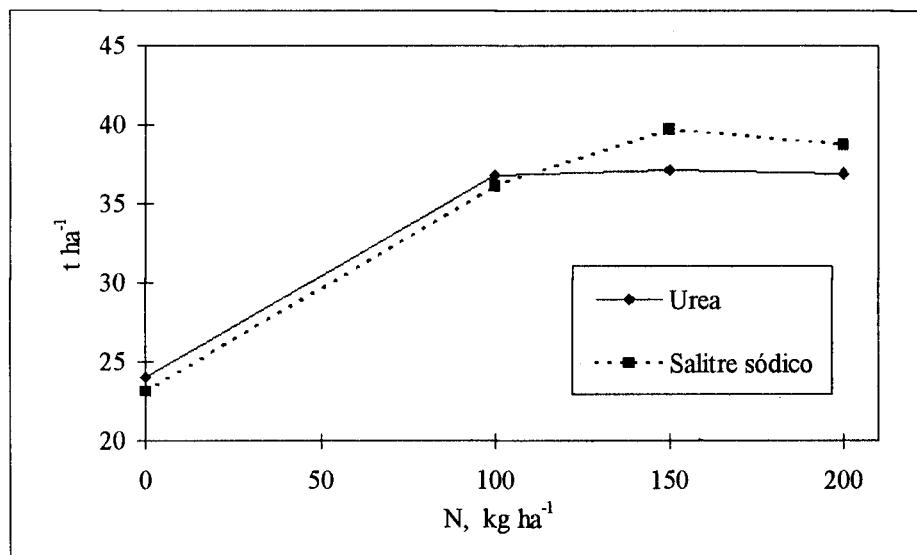


Figura 25. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de nitrógeno como urea y salitre sódico en el rendimiento de tubérculos del cv. Desireé, Localidad Santa María, Suelo Nueva Braunau, Provincia de Llanquihue.

rendimiento del salitre sódico. El efecto de la aplicación de nitrógeno presenta una respuesta similar a las otras localidades estudiadas, es decir, 100 kg N ha⁻¹ parece ser la dosis de mejor comportamiento agronómico en la zona. Esta moderada respuesta al nitrógeno aplicado se debería al alto poder de suministro de este nutriente. Sierra y Rodríguez (1985), estudiando el poder de suministro del suelo Nueva Braunau, estimaron potenciales de mineralización neta mayores de 150 kg N ha⁻¹, sólo en la capa arable del suelo.

5.5. Efecto de dos fuentes de nitrógeno y potasio en suelo Fresia, localidad Río Frío

La respuesta en rendimiento de tubérculos del cv. Desireé, según dos fuentes y cuatro dosis de nitrógeno se aprecia en la Figura 26. El rendimiento del testigo sin nitrógeno es de 25 t ha⁻¹ similar a los obtenidos en Línea Cruzada y Santa María. La aplicación de nitrógeno como urea en dosis de 100 kg N ha⁻¹ permite alcanzar un rendimiento de 32 t ha⁻¹ y al aumentar el nitrógeno a 150 kg ha⁻¹ el rendimiento se incrementa ligeramente en 3 t ha⁻¹ adicionales. La dosis mayor aplicada no incrementa la producción. La respuesta a la aplicación de salitre sódico es muy similar. En la Figura 27 se

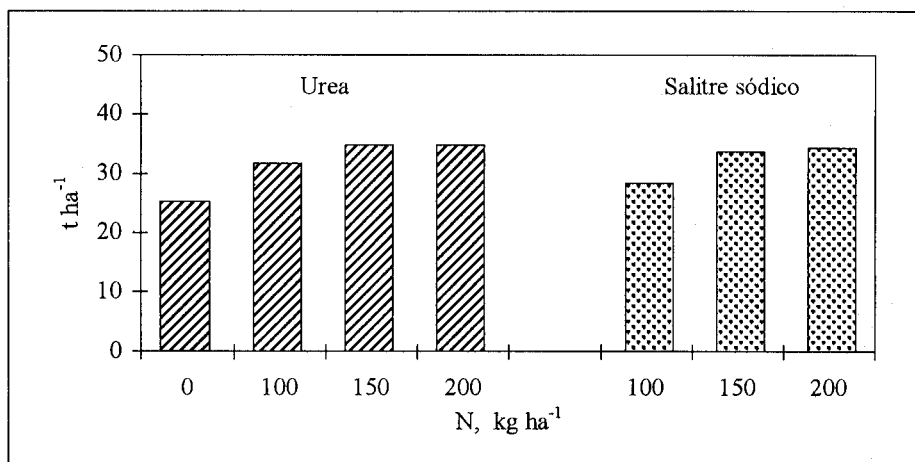


Figura 26. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de nitrógeno como urea y salitre sódico en el rendimiento del cv. Desireé, localidad Río Frío, suelo Fresia. Provincia de Llanquihue.

muestra el efecto de la no aplicación de potasio, comparada con su respectivo tratamiento con potasio. La no adición de este elemento no restringe mayormente la producción, aun cuando se aprecia un leve incremento, no significativo, al usar urea. La no respuesta al potasio se explica por el adecuado contenido inicial del suelo, $0,72 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ (Cuadro 11). Al aplicar salitre sódico el rendimiento obtenido es similar.

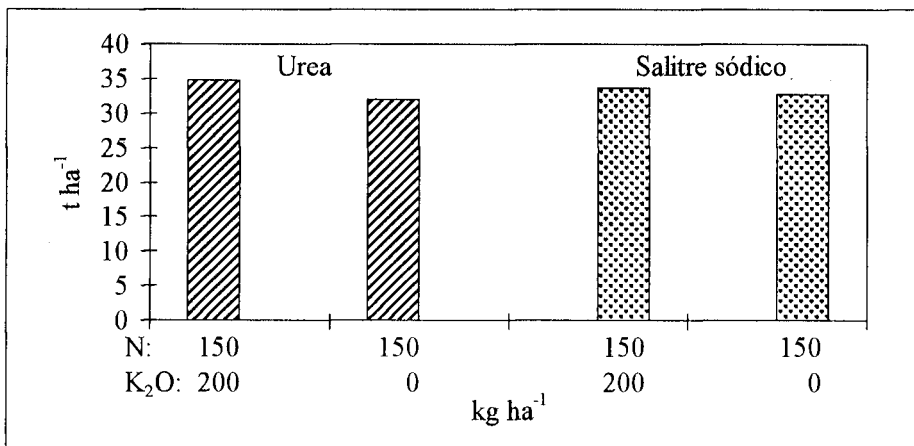


Figura 27. Efecto de urea y salitre sódico, con y sin Potasio, en el rendimiento de la papa variedad Desiree, localidad de Río frío, suelo Fresia. Provincia de Llanquihue.

Conclusiones

- Las principales fuentes nitrogenadas evaluadas no muestran diferencias significativas entre sí. El uso de urea y salitres pueden ser una adecuada alternativa.
- Los fosfatos rápidos o solubles como los amoniacales y el superfosfato triple son los más recomendables. Los primeros deben localizarse y acompañarse con potasio.
- Las fuentes potásicas, sulfato y cloruro, no presentan mayor diferencia en rendimiento, al igual que el salitre potásico. El muriato de potasio debe aplicarse en dosis no mayores de $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ en forma localizada para evitar toxicidad por cloruros. En dosis mayores se recomienda incorporar al voleo previo a la plantación.

CAPÍTULO 6

Forma de aplicación de los fertilizantes en el cultivo de la papa

6.1. Nitrógeno

Este nutriente presenta una clara movilidad en el suelo, generalmente las fuentes fertilizantes nitrogenadas poseen una gran solubilidad y un elevado índice de salinidad. Esto determina que este elemento debe manejarse en dosis bajas si se aplica localizado junto a la semilla. En la Figura 28 se aprecia el efecto de la aplicación del fertilizante colocado junto a la semilla con diferentes dosis de nitrógeno, en este caso usando como fuente salitre sódico. Este experimento realizado en el Centro Regional de Investigación

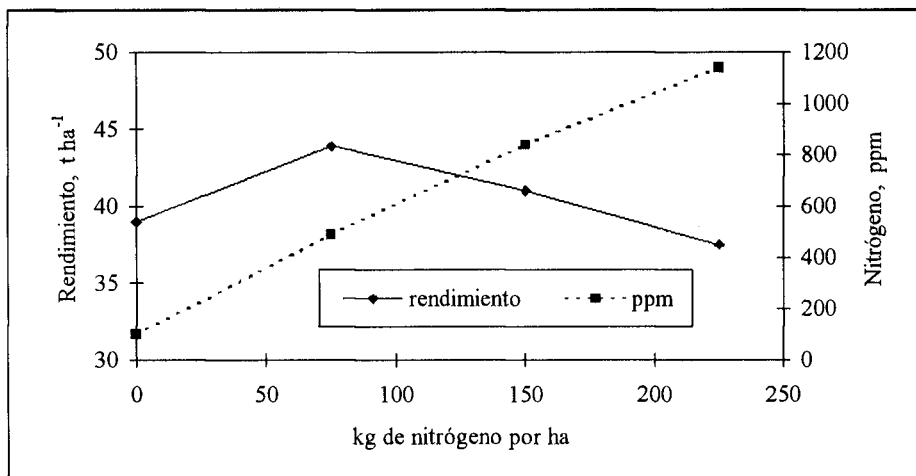


Figura 28. Variación del contenido de nitrógeno mineral, 40 días después de la plantación, en la banda fertilizada, según diferentes dosis de nitrógeno aplicado como salitre sódico y su efecto sobre el rendimiento de tubérculos en papa variedad Yagana.

Remehue y en suelo Osorno, permitió establecer que con 150 kg N ha^{-1} aplicado en el surco de siembra el rendimiento del cultivar Yagana se redujo en relación al tratamiento con 75 kg N ha^{-1} . Además, mediciones de nitrógeno mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) realizados en la banda de fertilización 40 días después de la plantación, permiten establecer una relación lineal positiva de la concentración de nitrógeno mineral entre 480 y 1.180 ppm al aplicar 75 y 225 kg N ha^{-1} respectivamente, dosis mayores de 800 ppm de nitrógeno en la banda fertilizada producen un claro detrimento del rendimiento, esta concentración se alcanza con aplicaciones de 150 kg N ha^{-1} y se agudiza más aún con 225 kg N ha^{-1} . Es interesante destacar que el suelo sin fertilización nitrogenada presenta en la banda de fertilización alrededor de 100 ppm de nitrógeno mineral. Es importante señalar que no hubo precipitaciones durante los 50 días posteriores a la plantación. Esto explicaría el marcado efecto depresivo del fertilizante nitrogenado. Es probable que si hubieran existido precipitaciones después de la plantación, este efecto sería menor debido al movimiento y dilución de la concentración del nitrógeno aplicado. Sin embargo, la recomendación técnica más apropiada sería no aplicar más de 70 kg N ha^{-1} en las cercanías de la semilla, para evitar este efecto. Meisinger y col. (1978), estudiando el efecto depresivo de diferentes mezclas de fertilizantes en suelos del Este de EE.UU. reportaron que en aplicaciones localizadas 5 cm bajo y 5 cm al lado de la semilla de una mezcla de urea y fosfatos amoniacales se produjeron reducciones significativas del rendimiento. Dosis altas de nitrógeno como urea u otra fuente amoniacal en las cercanías de la semilla puede inducir a una deficiencia de potasio por desbalance de ambos elementos en la zona de raíces.

6.2. Fósforo

La movilidad del fósforo en el suelo es mínima, se estima que no es mayor de 1 cm desde la periferia del gránulo del fertilizante. Este fenómeno se debe a la gran reactividad del material alofánico que constituyen los trumaos. Por otra parte, la solubilidad natural de los fosfatos es baja y, por lo tanto, su índice salino es igualmente bajo, lo que permite hacer aplicaciones importantes de este elemento en las cercanías de la semilla sin generar efectos depresivos en la producción. Sin embargo, dosis altas en las cercanías de las raíces pueden inducir a una deficiencia temprana de zinc en las plantas jóvenes. En la Figura 29 se muestra el efecto de cuatro dosis de

fósforo usando como fuente superfosfato triple y una dosis constante de nitrógeno y potasio, considerando tratamientos de aplicación de fertilizantes al voleo y localizado, además de un tratamiento de 1/3 del fertilizante localizado y 2/3 al voleo. Cabe señalar, que durante la temporada de crecimiento del cultivo se manifestó una primavera con bastantes precipitaciones. Además, el nivel inicial de fósforo disponible del suelo no era bajo. En general, la respuesta a la aplicación de fósforo no fue alta. En la dosis menor de fósforo aplicado, el calibre consumo fue menor en el caso del tratamiento al voleo, pero el calibre semilla fue ligeramente mayor con el fósforo aplicado al voleo. La tendencia de aumentar el calibre consumo respecto a la semilla al aplicar el fósforo al voleo se manifiesta claramente en los tratamientos con 350 y 450 kg P_2O_5 ha⁻¹. Con la dosis máxima de fósforo este fenómeno no se manifiesta. El tratamiento que considera 1/3 de la mezcla localizada y 2/3 de la mezcla fertilizante al voleo, permite lograr un alto rendimiento de semilla y de calibre consumo.

En general, se puede señalar que el efecto de localización del fósforo no presenta un claro beneficio respecto de su aplicación al voleo. Sin embargo, los dos factores señalados de primavera húmeda y contenido de fósfo-

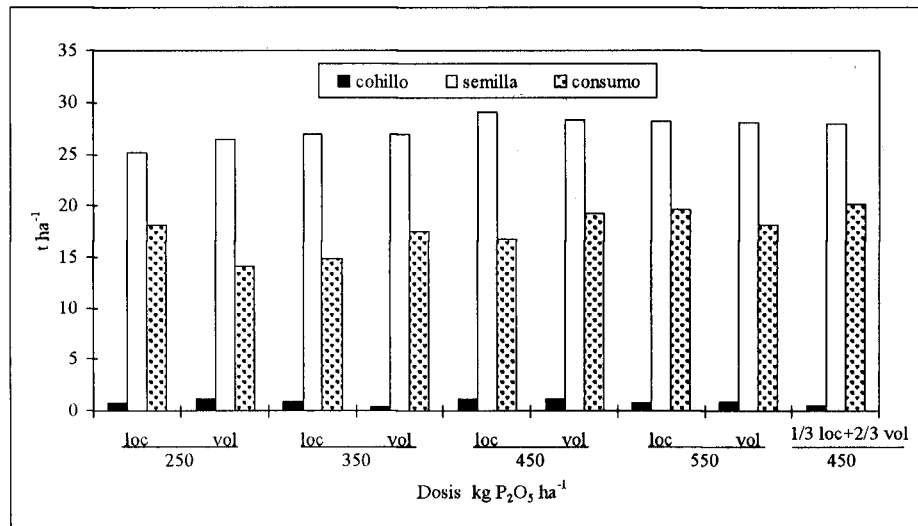


Figura 29. Efecto de diferentes dosis de fósforo y localización en el rendimiento de papa cv. Desiree.

ro medio en el suelo, permiten explicar estos resultados. Es altamente probable que en un suelo con un bajo contenido de fósforo disponible (menos de 4 ppm) el efecto de localización sea benéfico en relación a la aplicación al voleo. Este efecto se puede agudizar más aún en una primavera seca, debido a que el fósforo mejora su movilidad en la solución del suelo con un adecuado contenido de humedad.

En otro experimento realizado en el CRI Remehue con el cv. Desireé, se compararon tres tratamientos de localización y dos niveles de nutrientes NPK. Los rendimientos de los diferentes tratamientos se muestran en la Figura 30. En general, no se manifiesta un claro efecto de los tratamientos de localización. Sin embargo, se debe señalar que los tres tratamientos fueron muy similares, es decir, los fertilizantes se colocaron en el surco de plantación, evitando el contacto directo de la sal fertilizante con la semilla. El tratamiento con mayor rendimiento en la dosis baja y en todo el experimento fue el C, es decir, el 50% del fertilizante al fondo del surco y tapado

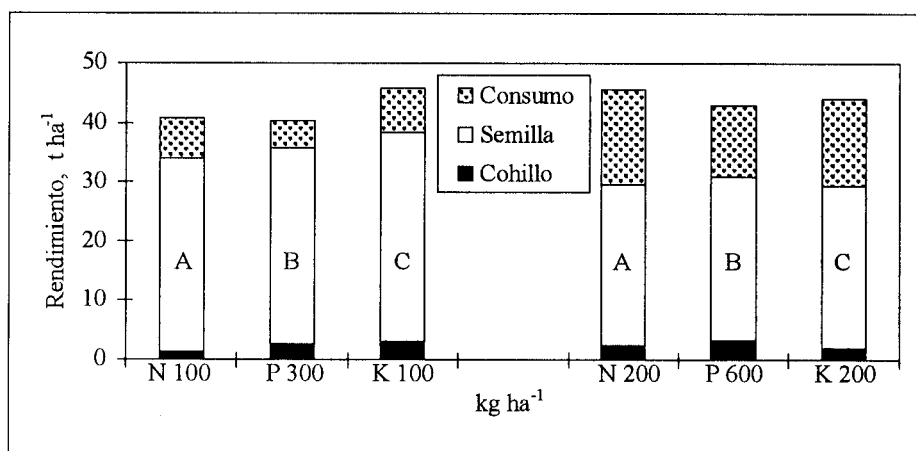


Figura 30. Efecto de la localización de dos niveles de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y calibre de la papa variedad Desireé.

- A:** Todo el fertilizante al fondo del surco.
- B:** Igual que A, pero se tapa el fertilizante con el suelo.
- C:** 50% del fertilizante al fondo del surco y se tapa con medio borde y sobre éste se aplica el otro 50%, bajo el borde no utilizado se coloca la semilla.

con suelo y luego se aplica el otro 50% y bajo el borde no utilizado se coloca la semilla. En general, los mayores rendimientos de calibre semilla se logran con las dosis bajas de N_{100} , P_{300} y K_{100} . Con la fertilización alta, los rendimientos son similares, pero la contribución del calibre consumo es mayor. En otros experimentos realizados con fósforo y potasio, se ha observado que una adecuada fertilización con fósforo y nitrógeno, permite incrementar el rendimiento, pero al aumentar la dosis de potasio el calibre de los tubérculos se incrementa notablemente, esto es particularmente importante en el cv. Desireé.

6.3. Potasio

El potasio es poco móvil en suelos con un contenido normal de arcilla. Sin embargo, en suelos arenosos puede presentar más movilidad. La localización del potasio es deseable, no obstante, algunas fuentes potásicas presentan un índice salino moderadamente alto como el muriato de potasio y el salitre potásico. En el caso de usar dosis altas de potasio, 400 a 600 kg K_2O ha⁻¹, se recomienda no localizar toda la dosis, para evitar la alta concentración salina cercana al tubérculo semilla. En estos casos, es preferible incorporar un 50% de la dosis antes de la plantación, como preabonadura.

Conclusiones

- La forma de aplicación está relacionada con las dosis a aplicar. Altas dosis de fertilizantes deben incorporarse al voleo en todo el suelo, previo a la plantación.
- Dosis normales de nutrientes deben aplicarse en forma localizada con máquina plantadora.
- No aplicar fertilizantes en el mismo surco de plantación, y menos en siembras tardías.

CAPÍTULO 7

Fertilización y su relación con otros factores de manejo

7.1. Fertilización y población de plantas

Información en relación a diferentes niveles de nutrientes aplicados y distintas poblaciones de plantas de papa se obtuvo entre 1976 y 1981, a través de la evaluación de 4 experimentos de campo realizados en el CRI Remehue. El primero se estableció con la variedad Arka y consistió en evaluar tres poblaciones, 30, 40 y 50 mil plantas por ha y tres niveles de nitrógeno 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ (Grandon y Rojas, 1976). Estos resultados permiten afirmar que la población de 50 mil plantas/ha junto a la dosis de 100 kg N ha⁻¹ presentó el mayor rendimiento con 46,5 t ha⁻¹, el tratamiento con 40 mil plantas e igual dosis de nitrógeno alcanzó las 41 t ha⁻¹. Al aplicar 200 kg N ha⁻¹ el rendimiento de las diferentes poblaciones de plantas decreció ostensiblemente (Figura 31). Al parecer poblaciones cercanas a las 45 mil plantas por ha serían las más adecuadas.

Otra serie de tres experimentos de campo con el cv. Desireé se realizó entre 1979 y 1981, para evaluar el efecto de tres formulaciones de fertilizantes que incluían nitrógeno, fósforo y potasio, empleando salitre sódico, superfosfato triple y sulfato de potasio, respectivamente. Las dosis aplicadas fueron: 1) N = 100; P₂O₅ = 350; K₂O = 100; 2) N = 180; P₂O₅ = 450; K₂O = 150 y 3) N = 260; P₂O₅ = 550; K₂O = 200. Las poblaciones se evaluaron desde 30 a 80 mil plantas por ha. En la Figura 32 se presenta el efecto sobre el rendimiento y el calibre obtenido en la primera temporada.

El rendimiento máximo del ensayo se aproximó a las 60 t ha⁻¹, con la dosis máxima de nutrientes y la mayor población de plantas. La fertilización menor permitió alcanzar alrededor de 40 t ha⁻¹, a excepción del tratamiento con 50

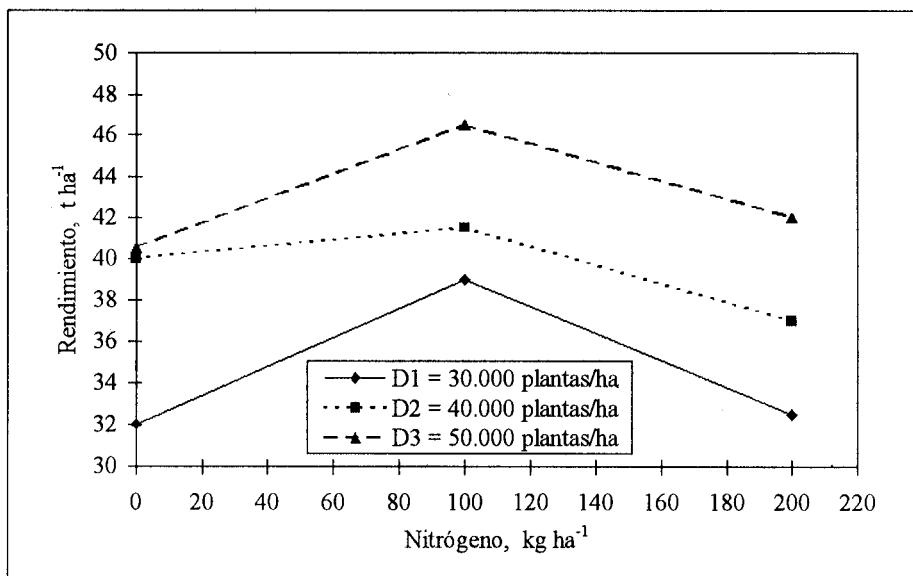


Figura 31. Efecto de tres dosis de nitrógeno (salitre sódico) y tres poblaciones de plantas de papa, en la producción de tubérculos comercial cv. Arka. Grandon y Rojas, 1976. Centro Regional de Investigación Remehue.

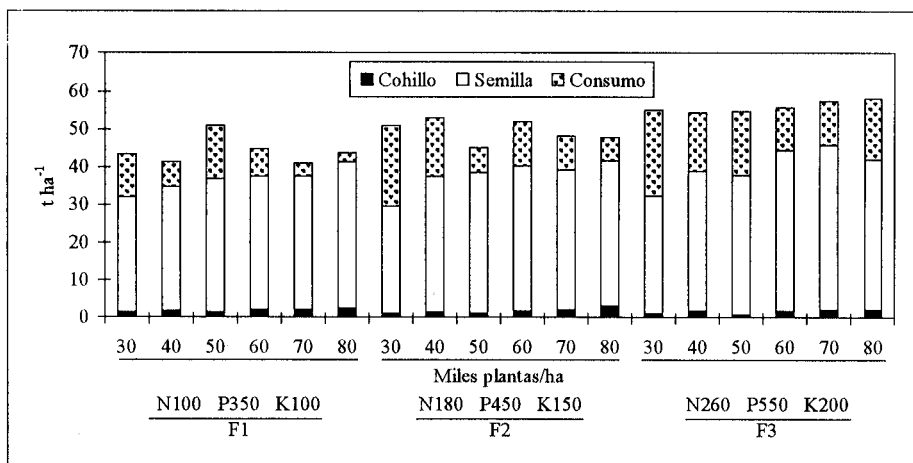


Figura 32. Efecto de tres niveles de fertilización y seis poblaciones de plantas de papa cv. Desireé. Centro Regional de Investigación Remehue. Temporada 1979-80.

mil plantas, que superó las 50 t ha⁻¹. La dosis media de nutrientes incrementó el rendimiento a niveles cercanos a las 50 t ha⁻¹ y la dosis mayor aumentó en general el rendimiento de tubérculos entre 55 y 59 t ha⁻¹. Este alto rendimiento se explica por los adecuados niveles de precipitación registrada durante la estación de crecimiento y su adecuada distribución, alcanzando un total de 322 mm de agua caída entre octubre y enero (Cuadro 12).

Cuadro 12. Precipitaciones registradas durante la estación de crecimiento en las tres temporadas de experimentos de densidad de plantación, en el CRI Remehue (mm)

Temporada	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Σ
79 - 80	59	116	109	38	322
80 - 81	11	64	114	126	315
81 - 82	52	22	32	72	178

Fuente: Estación Agrometereológica. CRI Remehue.

Los mayores rendimientos de calibre semilla se logran con las poblaciones más altas. Esto se aprecia claramente con el tratamiento de mayor fertilización, con 30 mil plantas se obtienen alrededor de 31 t ha⁻¹ de semilla, mientras que con 60 mil plantas se logran 42,5 t ha⁻¹ de semilla, por otra parte el calibre consumo de ambos tratamientos es de 22,7 y 11,4 t ha⁻¹, respectivamente. Si el objetivo es producir consumo se debe trabajar con poblaciones bajas por ejemplo de 40 mil plantas y dosis altas de fertilizantes. Para producir semilla, en el caso del cv. Desireé, la población de 60 mil plantas presenta el mejor comportamiento, junto a una fertilización alta.

En la temporada 1980-1981 los rendimientos alcanzados por el cv. Desireé fueron menores, superando un solo tratamiento las 50 t ha⁻¹, con la población de 40 mil plantas y la fertilización media. Es interesante destacar el efecto depresivo que manifiestan todos los tratamientos con la máxima fertilización, superando ligeramente las 40 t ha⁻¹. Sin embargo, igualmente se aprecia un efecto positivo del incremento poblacional en relación al calibre semilla. La explicación para este menor rendimiento se debe a la mala

distribución de las lluvias en las primeras etapas del crecimiento. Esta “se-
quia” temprana explica la clara depresión del rendimiento de los tratamien-
tos con dosis más altas de fertilizantes, debido al efecto salino, incrementado
por la falta de humedad en el suelo, estos tratamientos no superan las 40 t
ha⁻¹ de rendimiento. A la inversa los mejores rendimientos promedios se
alcanzan con la menor fertilización (Figura 33).

Abundantes precipitaciones después de la siembra permiten movilizar los
nutrientes que generan una mayor salinidad como el nitrógeno y el potasio
fuera del área de formación de raicillas del tubérculo-semilla, estimulando
su crecimiento normal. Como se aprecia en el Cuadro 12, durante octubre
precipitaron sólo 11 mm y en noviembre, 64 mm. Cabe señalar, que en la
temporada anterior en ambos meses se registraron lluvias de 59 y 116 mm
respectivamente, lo que explicaría el alto rendimiento. Como se señaló en
el Capítulo referido a forma de localización del fertilizante, es de gran im-
portancia su adecuada localización respecto de la semilla, esta distancia
debe ser superior a los 4 cm y la distancia entre fertilizante y semilla de-
penderá de la dosis de nitrógeno y potasio aplicada.

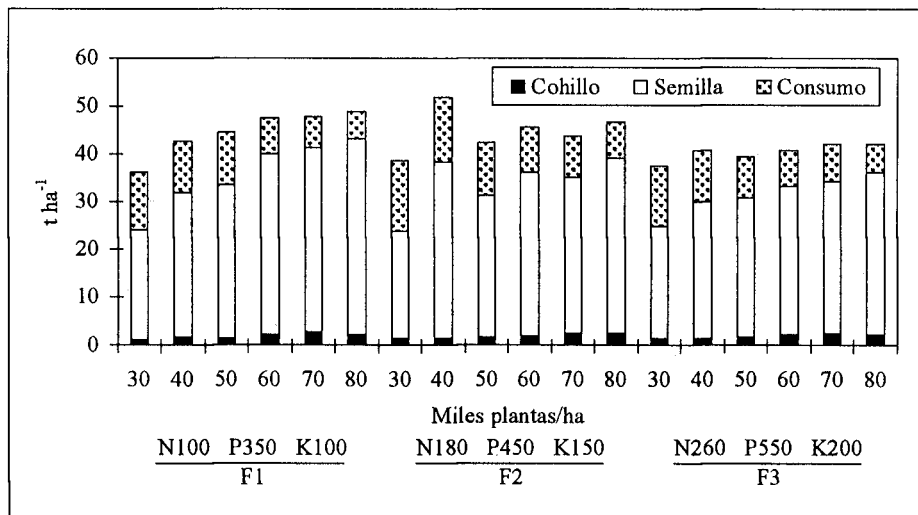


Figura 33. Efecto de tres niveles de fertilización y seis poblaciones de plantas de papa cv. Desireé. Centro Regional de Investigación Remehue. Temporada 1980-81.

De igual forma con la menor fertilización se aprecia la misma tendencia de aumentar el calibre semilla con el aumento de la densidad de tubérculos sembrados. El mejor rendimiento de semilla se alcanza con la población de 60 mil plantas y la menor dosis de fertilización, 38 t ha⁻¹ de tubérculos.

En la tercera temporada de ensayo (1981-1982) los rendimientos del experimento fueron más bajos aún, alcanzando un solo tratamiento niveles cercanos a las 40 t ha⁻¹ (Figura 34). El menor rendimiento general del experimento se debe a las menores precipitaciones registradas durante gran parte de la primavera. El efecto salino posiblemente fue mucho menor y no se aprecia una depresión del rendimiento de los tratamientos con mayor dosis de fertilizante, debido a que durante el mes de octubre precipitaron 52 mm. Sin embargo, durante los meses siguientes las lluvias fueron escasas, como se aprecia en el Cuadro 12, para incrementarse al final de la estación de crecimiento, momento en que el rendimiento del cultivo ya está determinado. No obstante, destaca en general, la gran contribución del calibre semi-

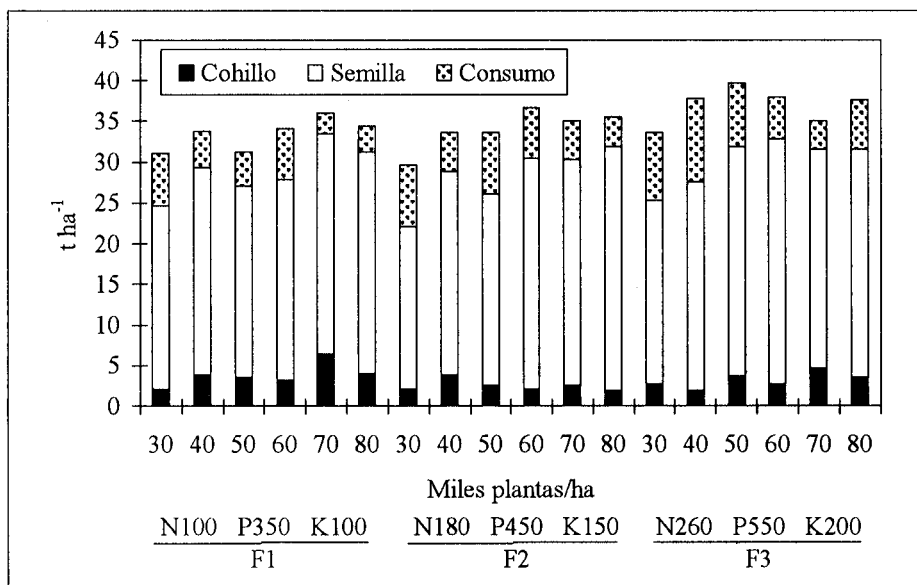


Figura 34. Efecto de tres niveles de fertilización y seis poblaciones de plantas de papa cv. Desiree. Centro Regional de Investigación Remehue. Temporada 1981-82.

lla en el rendimiento de la mayoría de los tratamientos, independiente del nivel de fertilización aplicado. Al igual que en las dos temporadas anteriores se aprecia un incremento del calibre semilla al incrementar la población de plantas. Con las dosis media y alta, los mayores rendimientos de semilla se logran con poblaciones de 60 mil plantas, sin embargo, con la dosis menor de fertilización y con sólo 40 mil plantas se alcanzan igualmente altos rendimientos de semilla. En general, se puede afirmar que el cv. Desireé requiere de más de 50 mil plantas para lograr altos rendimientos de semilla, y con una adecuada fertilización.

Conclusiones

- Con poblaciones altas de plantas se deberían aplicar dosis de nutrientes más altas que las normales.
- Las poblaciones más altas de plantas permiten obtener mayores rendimientos de calibre semilla.
- El tipo de cultivar de papa determina una relación diferente entre los factores de población y fertilización.

CAPÍTULO 8

Estimación de la fertilización según balance nutricional

La necesidad de fertilización del cultivo de la papa obedece, a una demanda de nutrientes minerales generada por el cultivo, debido a un bajo suministro por el suelo. La papa, como la mayoría de las especies vegetales, presenta una gran demanda de nutrientes minerales primarios, conocidos como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, la papa requiere de otros nutrientes secundarios como calcio, magnesio y azufre y una serie de microelementos. Los elementos nutritivos señalados se encuentran en los diferentes suelos en cantidades variables, dependiendo esto del manejo histórico del suelo y del manejo de corto plazo.

En general, los suelos con mejor fertilidad corresponden a aquellos de desmonte reciente (20 a 25 años) y escaso laboreo. Suelos de menor fertilidad corresponden a aquellos incorporados a la agricultura (desmontados) más de 50 años y que hayan sido cultivados intensivamente, y fertilizados solamente con nitrógeno y fósforo. Estos últimos corresponden a la mayor parte de los suelos de la zona sur.

La mayoría de los suelos de la zona sur se fueron incorporando gradualmente a la agricultura, a través de un proceso lento pero sostenido. Este diferente manejo actual de los últimos 5 a 10 años determina finalmente que la fertilidad de los suelos sea muy variable, en cuanto a la disponibilidad de los diferentes nutrientes. La mejor forma de establecer un diagnóstico de la fertilidad de los potreros de un predio, es mediante un adecuado muestreo de los suelos y posterior análisis completo de fertilidad, todo esto adecuadamente asociado con una óptima interpretación de estos resultados.

El análisis de suelo permite conocer el probable suministro de nutrientes por el suelo. Sin embargo, la necesidad de fertilización del cultivo obedece, como se señaló, a una demanda de nutrimentos minerales generada por el cultivo. De esta forma la fertilización del cultivo puede ser definida por la siguiente relación:

$$\text{Fertilización de la papa} = \frac{\text{Demanda del cultivo (rendimiento)} - \text{Suministro del suelo (análisis de suelo)}}{\text{Eficiencia}}$$

Es decir, la fertilización del cultivo dependerá de la demanda del cultivo, que se estima según el rendimiento esperado y el suministro que se puede estimar mediante un adecuado análisis del suelo. Además, se debe considerar que los fertilizantes aplicados al cultivo presentan una eficiencia de utilización, que será analizada en detalle más adelante.

8.1. Estimación de la fertilización nitrogenada para el cultivo de la papa

El elemento más difícil de precisar su dosificación es el nitrógeno, debido a que el suministro de éste es fuertemente afectado por la temperatura del suelo y, además, porque la mineralización del N es un proceso biológico (Paul y Yuma, 1981). En términos generales, se puede señalar que los suelos con más materia orgánica pueden requerir de menos fertilización nitrogenada y los suelos con menor materia orgánica (rojos arcillosos) pueden requerir de más fertilización nitrogenada. Sin embargo, además de la cantidad total de materia orgánica, la calidad de ésta determina finalmente el suministro de nitrógeno. El laboreo continuado del suelo disminuye el suministro de nitrógeno. Por otra parte, el manejo del suelo con praderas de rotación larga que incluyan leguminosas permiten mantener un adecuado suministro de nitrógeno. La época de crecimiento del cultivo es otro factor importante que afecta el suministro de nitrógeno, por efecto de la temperatura. La papa es un cultivo de primavera-verano, época en que normalmente el aporte de nitrógeno por el suelo es máximo.

En el Cuadro 13 se presenta una estimación de la fertilización nitrogenada según diferente manejo, tipo de suelo y rendimiento esperado. Para producir 25 t ha⁻¹ de tubérculos, se requieren dosis bajas de nitrógeno, especialmente en los suelos trumaos. En suelos rojos arcillosos se requieren dosis mayores, sin embargo, éstas dependen del manejo del suelo. Si el rendimiento que se espera es mayor, ya sea por efecto de aplicación de riego o por efecto de zona agroecológica, se debe aumentar la dosis de nitrógeno. Sin embargo, dosis muy altas de nitrógeno en áreas de suelos rojos arcillosos sin riego, pueden producir efectos depresivos si no van acompañados de un adecuado suministro de otros nutrientes y de riego abundante. Un exceso de nitrógeno puede producir un efecto depresivo sobre la calidad de los tubérculos y puede retardar la madurez y cosecha de la chacra de papa.

Cuadro 13. Estimación de la fertilización nitrogenada según diferente manejo, tipo de suelo y rendimiento esperado

Tipo de suelo y manejo	Rendimiento esperado, t ha ⁻¹			
	25	35	45	55
	Dosis de N, kg ha ⁻¹			
Rojo arcilloso con Pradera degradada	90	140	210	300
Rojo arcilloso con Pradera con leguminosas, 3 años	60	100	180	250
Trumao con Pradera degradada	50	75	160	220
Trumao con Pradera con leguminosas, 5 años	40	60	75	140

El nitrógeno en dosis medias y bajas debe aplicarse todo a la siembra localizado, en banda, bajo y al lado de la semilla. En dosis superiores a 180 kg N ha⁻¹ se recomienda aplicar una fracción en preabonadura con el último rastraje (30% del total). La papa es un cultivo de rápido crecimiento inicial, por lo tanto, no se recomienda fraccionar demasiado el nitrógeno, y a la aporca se debe aplicar no más del 20% del total considerado. Esta última práctica debe realizarse en plantaciones que aspiren a un elevado rendimiento y con dosis altas de N.

Respecto de la fuente nitrogenada se ha verificado en algunos casos un buen comportamiento de la forma nítrica más amoniacal, caso de los nitratos de amonios y de la urea, también el salitre puede ser una buena alternativa. El mejor comportamiento de las fuentes que incluyen nitrógeno amoniacal se debe a las características climáticas de intensas precipitaciones que suelen ocurrir durante la primavera, lo que puede favorecer el movimiento en profundidad de las formas de nitrógeno nítrico. El nitrógeno aplicado a la aporca sería recomendable que fuera 100% nítrico, ya que de esta forma es rápidamente aprovechable por la planta y además se evita su eventual volatilización.

Otra alternativa de fuente nitrogenada puede ser los fosfatos amoniacales como fosfato diamónico y monoamónico. Estos fertilizantes, bien manejados, pueden ser una buena alternativa, se deben usar con pH mayor de 5,4 y controlar su acidez mediante enmienda calcárea (cal).

8.2. Estimación de la fertilización fosfatada

El fósforo es un elemento generalmente deficiente en los suelos trumaos y rojos arcillosos de la zona sur. Además, como se señaló, la papa presenta un sistema radicular de baja densidad que determina una baja capacidad de exploración del suelo y, por consiguiente, se requieren niveles más altos de P-disponible en el suelo, para lograr altos rendimientos. Por otra parte, los suelos trumaos presentan un mayor poder de fijación de fósforo que los rojos arcillosos. Esto significa que las dosis de P_2O_5 requeridas por el cultivo de la papa son más altas en un suelo trumao que en un suelo rojo arcilloso.

En el Cuadro 14 se presenta una aproximación de las dosis requeridas por un cultivo de papa según diferente rendimiento esperado y según diferente disponibilidad de fósforo. Suelos trumaos con niveles muy bajos de P-Olsen y rendimientos esperados altos, deben ser fertilizados con altas dosis de P_2O_5 y, por el contrario, suelos con niveles altos de P-Olsen y rendimientos esperados bajos, deben recibir una fertilización baja de fósforo.

Cuadro 14. Estimación de la fertilización fosfatada en suelos trumaos según diferente disponibilidad de fósforo en el suelo y rendimiento esperado

Nivel de P-Olsen (ppm)	Rendimiento esperado, t ha ⁻¹			
	25	35	45	55
	Dosis de P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹			
1 - 5	200	330	460	600
6 - 10	100	200	360	470
11 - 15	80	120	250	350
16 - 25	60	70	150	240
+ 26	50	60	100	140

El fósforo debe aplicarse en bandas, localizado para mejorar su eficiencia de utilización, principalmente en suelos con niveles bajos en este elemento. Al aplicar dosis muy altas, para alcanzar altos rendimientos, se recomienda incorporar una parte del fósforo al voleo en la capa arable (no más del 30% de la dosis) y el resto debe aplicarse localizado en dos bandas al lado y bajo la semilla.

En el Cuadro 15 se presenta la fertilización estimada de fosfato para el cultivo en suelos rojos arcillosos. En general, las dosis requeridas en este tipo de suelos es más baja, debido al menor poder de fijación de estos suelos.

Un alto rendimiento esperado en suelo rojo arcilloso es difícil de alcanzar si no se riega el cultivo. En la Décima Región y en condiciones de secano es posible alcanzar 35 t ha⁻¹ de papa en algunos años con adecuadas precipitaciones en noviembre y diciembre, en este tipo de suelos.

Cuadro 15. Fertilización estimada de fósforo en suelos rojos arcillosos según distinta disponibilidad de fósforo inicial y diferente rendimiento esperado

Nivel de P-Olsen (ppm)	Rendimiento esperado, t ha ⁻¹			
	25	35	45	55
	Dosis de P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹			
1 - 5	160	260	360	440
6 - 10	90	170	280	360
11 - 15	70	110	200	280
16 - 25	50	75	110	190
+ 26	40	60	70	110

8.3. Estimación de la fertilización potásica

La papa es un cultivo que consume abundantes cantidades de potasio. Cada qqm de papa cosechada, extrae alrededor de 0,4 kg de K₂O en los tubérculos, lo que significa una gran exportación de este elemento del potrero. La cantidad de potasio que se debe aplicar al cultivo depende principalmente de dos factores, rendimiento esperado del cultivo y contenido de potasio disponible en el suelo. Este último parámetro puede ser conocido mediante un análisis de suelo realizado previo a la plantación del cultivo. En el Cuadro 16, se presenta una estimación de la fertilización potásica que debe ser aplicada al cultivo según diferentes niveles de rendimiento posible de alcanzar y la disponibilidad en el suelo del elemento.

Dosis de potasio (K) muy altas debe aplicarse cuando el suelo presenta una disponibilidad muy baja del nutriente y se pretende cosechar altos rendimientos. Por otra parte, cuando el rendimiento esperado es bajo, y el nivel del suelo es alto (+ de 200 ppm en la capa arable), el cultivo puede no requerir la aplicación de fertilizante potásico, sin embargo, se debería aplicar una dosis de mantención del elemento para evitar una pérdida de fertilidad, la cual puede afectar en el futuro a otros cultivos de la rotación.

Respecto de la fuente potásica, se pueden señalar el sulfato de potasio, el cloruro de potasio y el salitre potásico. Todas estas fuentes son adecuadas y permiten aportar el potasio requerido por el cultivo. El muriato de potasio debe aplicarse con moderación para evitar una eventual toxicidad por el exceso de cloruro. Sin embargo, el cloruro se pierde (lixiviación) fácilmente desde el perfil del suelo por efecto del exceso de humedad durante el invierno. Experimentos realizados en el CRI Remehue durante varias temporadas han demostrado que el muriato de potasio es posible de aplicar en dosis de 120 kg ha⁻¹ de K₂O en forma localizada. Es importante señalar que el potasio mejora el calibre y calidad del tubérculo.

Cuadro 16. Fertilización estimada de potasio en suelos Trumaos, según distinta disponibilidad de potasio inicial y diferente rendimiento esperado

Potasio de intercambio (ppm)	Rendimiento esperado, t ha ⁻¹			
	25	35	45	55
	Dosis de K ₂ O, kg ha ⁻¹			
1 - 50	140	250	360	460
51 - 100	100	140	250	350
101 - 150	80	120	160	240
151 - 250	60	100	120	180
+ 250	50	80	100	120

8.4. Estimación de la fertilización con magnesio, azufre y micronutrientes

El magnesio es un elemento secundario de gran importancia para alto rendimiento (más de 40 t ha⁻¹). Los suelos arenosos de la Precordillera Andina de la zona sur, pueden presentar deficiencia de este elemento, al igual que los Nadis y terrazas arenosas colindantes a ríos.

Sin embargo, en los trumaos de la zona sur, el magnesio puede ser deficiente aún en suelos de lomajes, esto dependerá del grado de intensificación del manejo que haya tenido el potrero. Por lo tanto, su disponibilidad debe ser evaluada mediante análisis de suelo. Si el rendimiento esperado es mayor de 35 t ha^{-1} se recomienda aplicar magnesio en dosis de 40 a 50 kg MgO ha^{-1} , usando una fuente soluble. En este sentido, el Sulpomag (Sulfato doble de potasio y magnesio) puede ser una buena alternativa. El uso de altas dosis de potasio, puede inducir a una deficiencia de magnesio, por lo tanto, al aplicar una dosis alta de potasio sería recomendable el uso de magnesio. Contenidos inferiores a $0,25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de magnesio en el suelo pueden ser considerados bajos, y en los cuales debería aplicarse este elemento.

El azufre es un elemento secundario que puede ser importante en suelos muy erosionados y de bajo contenido de materia orgánica. En general, este elemento puede ser deficitario en suelos de transición y rojos arcillosos y en primaveras frías y la respuesta al azufre puede ser importante si se pretende alcanzar rendimientos altos. En suelos trumaos, con alto contenido de materia orgánica, la probabilidad de respuesta al azufre será baja. En cuanto a micronutrientes, existen algunas evidencias experimentales de respuesta a niveles de rendimiento alto, el boro y el zinc serían elementos importantes de considerar en una fertilización completa para papa, que tenga como objetivo alcanzar rendimientos mayores de 50 t ha^{-1} . Finalmente, se debe señalar que la papa es un cultivo tolerante a la acidez del suelo, sin embargo, bajo pH 5,1 el cultivo se afecta en su rendimiento potencial, la literatura señala, además, que a pH mayor de 5,9 los tubérculos se pueden afectar por sarna.

La fertilización de la papa es una práctica agronómicamente importante en la zona sur, ya que generalmente produce un fuerte incremento en la producción de tubérculos y además representa un componente importante de los costos de producción. Sin embargo, la calidad de semilla, la época de plantación y el control de malezas son factores muy importantes de considerar para lograr altos rendimientos.

Conclusiones

- Mediante el método del balance nutricional se puede lograr una adecuada aproximación de las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, al considerar el rendimiento esperado del cultivo.
- Como método de diagnóstico del suministro de nitrógeno es importante considerar el manejo anterior del suelo.
- Como método de diagnóstico del contenido de fósforo y potasio, se recomienda evaluar su disponibilidad mediante el análisis químico de suelo.
- La aplicación de magnesio y azufre sería importante de considerarla en suelos arenosos y en plantaciones con alto rendimiento esperado, más de 50 t ha⁻¹.

CAPÍTULO 9

Diagnóstico de la fertilidad del suelo

Un adecuado diagnóstico de la fertilidad del suelo previo a la plantación del cultivo es muy recomendable. Como se ha señalado, el efecto de la fertilización sobre el rendimiento y la calidad del cultivo puede ser muy importante. La técnica de diagnóstico de la fertilidad del suelo más usada, es el análisis químico de una muestra de tierra o análisis de suelo. Sin embargo, el análisis químico del tejido vegetal (análisis peciolar) puede orientar al agricultor sobre el estado nutricional de un cultivar de papa. Esta última técnica, presenta el inconveniente que el diagnóstico puede ser tardío, generalmente se recomienda muestrear las plantas a los 75 días después de la plantación, o inicios de floración. Sin embargo, el análisis peciolar permite evaluar directamente el estado nutricional de la planta.

9.1. Análisis de suelo

El análisis químico de suelo es una herramienta muy útil para establecer el nivel de fertilidad química de los suelos de la zona sur. El principio básico consiste en extraer del suelo los nutrientes aprovechables fácilmente por las raíces de las plantas. Sin embargo, un buen análisis de suelo debe ser previamente calibrado con la respuesta del cultivo en condiciones de campo y en diferentes temporadas, para de esta forma incluir el efecto de diferentes condiciones climáticas. El laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos del CRI Remehue ha desarrollado un extenso estudio de calibración del cultivo de la papa que incluyen los resultados de más de 45 experimentos de campo, evaluando la respuesta, previo conocimiento de la disponibilidad inicial del suelo del contenido de nitrógeno mineral, fósforo disponible Olsen y potasio intercambiable. Esta información permite asegurar un adecuado diagnóstico de la fertilidad del suelo. Sin embargo, se debe reconocer que los índices de disponibilidad de fósforo y potasio son mejores que el

índice de disponibilidad de nitrógeno. Este último elemento debe relacionarse con el manejo de los últimos 3 años del suelo más que con el contenido de nitrógeno mineral disponible. Además, la época de preparación del suelo afecta la disponibilidad de nitrógeno. Preparaciones de suelo tardío, en relación a la época de plantación del cultivo de papa, afectan la disponibilidad de nitrógeno. Suelos preparados con anticipación, permiten llegar al momento de la plantación con un contenido alto de nitrógeno mineral producto de la mineralización, la cual es estimulada por el laboreo del suelo, al incorporar residuos vegetales, ya sea de praderas y/o cultivos precedentes.

Se ha demostrado que el mayor error de un análisis de suelo se debe a un mal muestreo. Esto se debe a la gran variabilidad natural de la fertilidad de los suelos, incrementada en muchos casos por el manejo de fertilizantes en forma localizada, lo que puede determinar áreas de suelo con altos niveles de nutrientes disponibles, en relación a otras áreas con niveles bajos de fertilidad. Se recomienda coleccionar varias submuestras, con un número mínimo de 20, en lo posible de igual volumen, ya sea mediante pala o barreno de fertilidad, este último es más recomendado. Para el cultivo de papa se recomienda muestrear a 25 cm de profundidad. El área máxima de muestreo no debe superar las 10 ha y se deben muestrear por separado las áreas de suelo que son diferentes o que presenten un diferente manejo anterior. Las muestras deben conservarse en bolsas plásticas limpias. Cuando el suelo esté muy húmedo, se recomienda usar doble bolsa plástica e identificar la muestra con un papel colocado entre ambas bolsas. Las muestras se deben mantener en lugares frescos y fríos, de preferencia a la sombra. No se recomienda guardar las muestras por más de dos días, en caso contrario, se deben refrigerar (no congelar).

Se debe solicitar un análisis completo de fertilidad que incluya calcio, magnesio, potasio, fósforo y aluminio de intercambio, además de pH, materia orgánica y nitrógeno disponible.

El análisis de suelo, obtenido a partir de un buen muestreo y bien interpretado, puede transformarse en una gran ayuda para el extensionista o el agricultor. Sin embargo, existen muchos otros factores de manejo que deben optimizarse para lograr un alto rendimiento y una adecuada calidad de los tubérculos cosechados.

9.2. Análisis foliar

La ventaja del análisis foliar es que permite conocer el estado nutricional de la planta, mientras que el análisis de suelo permite estimar el contenido de nutrientes disponibles para las raíces de la planta. Sin embargo, pueden existir múltiples factores que afecten la absorción de estos nutrientes disponibles como la presencia de nematodos u otros patógenos que pueden afectar el sistema radicular. También un déficit hídrico en el suelo puede afectar la absorción de nutrientes o una disminución de la temperatura ambiental. Con todo, una desventaja del análisis foliar es que el diagnóstico se realiza tardíamente, lo que dificulta su posible corrección, por ejemplo el fósforo, potasio, calcio y en gran medida el nitrógeno. No obstante, es posible corregir deficiencias de micronutrientes y en menor medida dosis pequeñas de nitrógeno.

El muestreo de pecíolos se debe realizar desde inicio de floración hasta plena flor. Generalmente, este estado se inicia a los 75 días después de la plantación. Se debe muestrear la cuarta hoja, contando desde el ápice superior hacia abajo.

Las hojas se deben defoliar inmediatamente, dejando sólo los pecíolos. Se deben coleccionar, por lo menos, 60 pecíolos por muestra de potreros homogéneos en cuanto a suelo y de una superficie no superior a 6 ha. Se deben guardar en bolsas de papel con agujeros, para facilitar la desecación del material vegetal. Guardar en refrigerador a 4 °C si se mantienen durante 24 horas en el predio. En el Cuadro 17 se señalan los estándares de diagnóstico para pecíolos de papa, publicados por la Universidad del Estado de Ohio, EE.UU. Cabe señalar que los valores que se indican se han obtenido para el cv. Russet Burbank.

Si bien es cierto, el análisis peciolar puede ser una técnica de diagnóstico tardía, sin embargo, al agricultor de papa especializado, además de poder corregir posibles deficiencias de micronutrientes, le puede ayudar a mejorar su fertilización en potreros colindantes en la temporada siguiente. Finalmente, se puede señalar que ambas técnicas, el análisis de suelo y el análisis foliar, deben complementarse.

Cuadro 17. Rango de concentración de nutrientes en la cuarta hoja muestreada desde el ápice hacia abajo, durante la floración

Elemento	Bajo	Medio	Suficiente
Nitrógeno nítrico (ppm)	< 10.000	10.000 - 15.000	> 15.000
Fósforo (%)	0,17	0,17 - 0,22	> 0,22
Potasio (%)	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Calcio (%)	< 0,4	0,4 - 0,6	> 0,6
Magnesio (%)	< 0,15	0,15 - 0,3	> 0,3
Azufre (%)	< 0,15	0,15 - 0,2	> 0,2
Zinc (ppm)	< 10	10 - 20	> 20
Boro (ppm)	< 10	10 - 20	> 20
Manganeso (ppm)	< 20	20 - 30	> 30
Fierro (ppm)	< 20	20 - 50	> 50
Cobre (ppm)	< 2	2 - 4	> 4

Nota: Tejido analizado pecíolos.

Fuente: Rowe C. Randall (1993) Potato Health Management.

Conclusiones

- Un adecuado diagnóstico de la fertilidad del suelo a través de análisis químico de suelos completo es una práctica recomendable.
- El análisis peciolar es sugerido para corregir posibles deficiencias de nitrógeno y micronutrientes, pero su mayor importancia radica en determinar el estado nutricional de la planta para, de esta forma, corregir futuras plantaciones en el mismo predio.
- El análisis químico de suelo, es una buena herramienta de diagnóstico, siempre y cuando el muestreo se haya realizado correctamente.

CAPÍTULO 10

Fertilizantes

Los fertilizantes son, generalmente, sales que contienen uno o más nutrientes y pueden ser de origen orgánico o inorgánico, pueden ser altamente solubles o muy insolubles. Por otra parte, pueden presentar una escasa elaboración industrial o en casos extremos corresponden a productos de síntesis de la industria petroquímica. Estos se caracterizan por su alta pureza y gran concentración de nutrientes, caso del fosfato diamónico, sin embargo, estos fertilizantes debido a su gran pureza no aportan nutrientes adicionales como es el caso de aquellos que presentan menos elaboración.

Todos los fertilizantes generan un cierto grado de salinidad. En el Cuadro 18 se presenta el índice de salinidad tomando como base el salitre sódico. En general, los fertilizantes de mayor índice salino son los nitrogenados, seguido de los potásicos, los fertilizantes con menor índice de salinidad son los fosfatados y las enmiendas como el carbonato de calcio, el óxido de magnesio y el yeso.

En el presente capítulo se analizarán los principales fertilizantes presentes en el mercado nacional, destacando sus bondades y limitaciones para el cultivo de la papa.

10.1. Fertilizantes nitrogenados

Los principales fertilizantes nitrogenados que se comercializan en la zona sur para el cultivo de la papa corresponden a la urea y el salitre sódico y potásico (Cuadro 19).

Cuadro 18. Índice de salinidad de algunos fertilizantes**(Salitre sódico = 100)**

	%
Nitrogenados	
Nitrato de amonio	105
Sulfato de amonio	69
Nitrato de calcio	65
Salitre sódico	100
Urea	75
Salitre potásico	92
Fosfatados	
Super fosfato triple	10
Fosfato monoamónico	30
Fosfato diamónico	34
Potásicos	
Cloruro de potasio	116
Nitrato de potasio	74
Sulfato de potasio	46
Sulfato de potasio y magnesio	43
Fosfato monopotásico	8
Otros	
Óxido de magnesio	2
Yeso agrícola	8
Sulfato de magnesio	44

Nota: Índice calculado según igual peso del material.

La urea es un fertilizante de origen orgánico, de alta concentración de nitrógeno (46%). Su reacción inicial en el suelo incrementa el pH y luego de seis a diez días se produce una reacción ácida. Este fenómeno se debe a que la hidrólisis inicial produce (NH_4^+) que alcaliniza el medio y luego la oxidación a NO_3^- genera acidez. Sin embargo, la intensidad de este proceso depende de la cantidad de urea aplicada al suelo y del poder amortiguador del suelo, que está en buena medida determinado por la suma de cationes, principalmente calcio y magnesio. El uso continuado de urea en los suelos trumaos, debe incluir un programa de encalado de modo de regular la acidez en el mediano plazo. En suelos con pH menor de 5,1, medido en agua, es recomendable usar cuidadosamente este fertilizante.

El salitre sódico es una fuente de nitrógeno nítrico (NO_3^-) muy soluble que contiene cantidades importantes de sodio. Es un fertilizante que genera una reacción alcalina en el suelo, debido al importante aporte de sodio. Se caracteriza por presentar una salinidad moderadamente alta, es altamente higroscópico y presenta contenidos de boro interesantes, que permiten aportar este micronutriente a los suelos de la zona sur, que son ligeramente deficitarios. Es recomendable su uso en la segunda dosis antes de la aporca debido a que es de acción rápida.

El salitre sódico presenta, en general, un buen comportamiento para el cultivo de la papa. Se debe evitar su uso en dosis altas, localizado cerca de la semilla, pues en este caso puede deprimir el rendimiento, sin embargo, todos los fertilizantes nitrogenados presentan la misma restricción. El salitre potásico es una alternativa más interesante aún, para aportar nitrógeno y potasio al cultivo, dado que la papa requiere cantidades importantes de este elemento.

Cuadro 19. Principales fertilizantes recomendados para el cultivo de la papa

	Nitrógeno			P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	CaO
	Org	NO ₃	NH ₄					
						%		
Fertilizantes nitrogenados								
Urea	45	-	-	45	-	-	-	-
Salitre sódico	-	16	-	16	-	-	-	-
Salitre potásico	-	15	-	15	-	14	-	-
Salitre potásico	-	15	-	15	-	8	-	-
Nitrato de amonio	-	16,7	16,7	33	-	-	-	-
Nitromag	-	13,5	13,5	27	-	-	-	5 7
Supernitro	13,8	11,2	-	25	-	-	-	-
Nitrato de potasio	-	13	-	13	-	44	-	-
Sulfato de amonio	-	-	21	21	-	-	8	-
Fertilizantes fosfatados								
Fosfato diamónico	-	-	18	18	46	-	1	-
Fosfato monoamónico	-	-	10	10	50	-	2	-
Superfosfato triple	-	-	-	-	46	-	1	- 20
Superfosfato normal	-	-	-	-	25	-	11	- 32
Fertilizantes potásicos								
Sulfato de potasio	-	-	-	-	-	50	18	-
Sulfato doble de potasio y magnesio	-	-	-	-	-	22	22	18
Muriato de potasio	-	-	-	-	-	60	-	-
Nitrato de potasio	-	-	-	-	-	44	-	-
Fertilizantes azufrados								
Fertiyeso	-	-	-	-	-	-	18	- 33
Azufre Denicola	-	-	-	-	-	-	65	- +
Azufre Borlando	-	-	-	-	-	-	60	- +
Fosfoyeso	-	-	-	-	0,70	-	19	- 33
Agroyeso Volcán	-	-	-	-	-	-	18	- 32
Fertilizantes calcáreos								
Cal (Soprocal)	-	-	-	-	-	-	0,35	2,0 44
Cal lansa (fango)	-	-	-	-	1,00	-	0,12	1,3 46
Cal de conchas	-	-	-	-	-	-	0,12	2,6 42
Estiércol (base fresco)								
Vacuno	-	-	0,7	0,7	0,30	0,79	+	+
Oveja	-	-	0,6	0,6	0,30	1,20	+	+
Cerdo	-	-	0,5	0,5	0,40	0,50	+	+
Pollo	-	-	1,5	1,5	1,20	0,61	+	+
Purines	-	-	0,5	0,5	0,16	0,24	+	+
Compost (seco)	-	2,5	-	2,5	2,30	1,20	+	+
								4,0

- No contiene el elemento.

+ Contiene muy pequeñas cantidades del elemento.

Org.: Orgánico.

Otras fuentes de nitrógeno interesantes y presentes en el mercado, es el nitrato de amonio que contiene un 34% de nitrógeno, con un 50% como nitrato y el otro 50% como amonio.

10.2. Fertilizantes fosfatados

Entre los más importantes destacan los altamente solubles como el fosfato diamónico y monoamónico. Entre los monocálcicos destacan el superfosfato triple y el superfosfato normal o simple. Los más utilizados son los fosfatos amoniacales y el superfosfato triple.

Los fosfatos amoniacales se caracterizan porque contienen nitrógeno además de fósforo, al estado de amonio y altas concentraciones de fósforo. Son fertilizantes de reacción final ácida, muy solubles y de alta pureza. El uso continuado de estos fertilizantes requiere el uso de enmienda calcárea para neutralizar la acidez que generan en el tiempo. El uso de rocas fosfóricas no es recomendable para la fertilización de papas, debido al bajo poder de entrega de fósforo de estos materiales. El guano de covaderas del norte (guano rojo y guano blanco) es una buena alternativa, pero se deben usar cantidades importantes y además el principal problema de estos materiales es que se comercializan sin ningún control de calidad, en cuanto a su contenido de fósforo. En general, para la papa se recomienda el uso de fosfatos solubles de acción rápida.

10.3. Fertilizantes potásicos

Entre los principales fertilizantes potásicos destacan el sulfato de potasio, el sulfato doble de potasio y magnesio, el nitrato de potasio, el salitre potásico y el cloruro de potasio. El sulfato de potasio aporta potasio y azufre, mientras que el sulfato doble incluye además magnesio, este fertilizante es muy recomendable en suelos, con baja suma de bases como ñadis, especialmente de las provincias de Llanquihue y Chiloé. El nitrato de potasio (44%) es una muy buena fuente de potasio, además incluye un 13% de nitrógeno nítrico, de rápida absorción por el cultivo. El salitre potásico, como se señaló, es quizás el fertilizante de mejor balance entre nitrógeno y potasio para el cultivo de la papa. El cloruro de potasio debe ser utilizado en dosis moderadas (120 kg ha^{-1} de K_2O) para evitar una posible toxicidad por clo-

ruro, la ventaja de este fertilizante es su bajo costo. Se debe señalar que el cloro es un elemento que se lava rápidamente del suelo por las altas precipitaciones que ocurren en la zona sur. Lo ideal es aplicarlo en un cultivo precedente a la papa, para facilitar el lavado del cloro en la temporada anterior. Esto puede ser particularmente importante, si se requiere aplicar altas dosis de potasio como cloruro de potasio, 400 kg ha^{-1} de K_2O , o más.

10.4. Fertilizantes que aportan calcio y/o magnesio

El yeso agrícola es una fuente importante de calcio, medianamente soluble. Se puede considerar también como una enmienda para suelos salinos (zona norte), además contiene azufre a la forma de sulfato (SO_4^{2-}). Esta enmienda no modifica mayormente el pH del suelo. En papa se puede aplicar en cantidades importantes, de 1 ó 2 t ha^{-1} y no tiene mayor restricción. Puede ser muy recomendable en suelos muy pobres en calcio, con menos de 2 $\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$.

El carbonato de calcio (CaCO_3) o enmienda calcárea es un corrector de la acidez del suelo, que permite incrementar el contenido de calcio, pero modificando el pH del suelo. En el caso de la papa no se recomienda un encalado antes de la plantación. Se sugiere usar esta enmienda en praderas de remolacha, trigo, etc. Como se señaló, el encalado en papas promueve la aparición de sarna en los tubérculos cosechados. Otra fuente es el nitrato de calcio, fertilizante nitrogenado cuyo catión acompañante es el calcio. Es una muy buena alternativa como fuente de calcio altamente soluble, sin embargo, su restricción puede ser el costo.

Entre los fertilizantes magnésicos destacan el sulfato de magnesio, el óxido de magnesio y el sulfato doble de potasio y magnesio. El primero es altamente soluble, mientras que el óxido es más insoluble. El sulfato doble presenta una solubilidad intermedia.

10.5. Micronutrientes

Los micronutrientes se pueden presentar como sales de diferentes características. A continuación se analiza cada elemento por separado.

- Fierro.** Este micronutriente se puede aplicar como sulfato de fierro. Se puede aplicar vía foliar o al suelo.
- Manganeso.** El sulfato de manganeso es una buena alternativa para suministrar este microelemento. El fierro y manganeso, sin embargo, no son deficitarios en los suelos trumaos.
- Cobre.** Las sales de sulfato de cobre permiten suministrar este micronutriente, ya sea vía foliar o aplicada al suelo.
- Zinc.** La forma más económica para aportar zinc es el empleo de sulfato, el cual se puede aplicar al follaje o al suelo. Este elemento puede ser deficiente en los suelos trumaos.
- Boro.** Este micronutriente se puede incorporar al suelo a través del salitre sódico, la boronatrocalcita o el ácido bórico, este último se puede aplicar vía foliar al cultivo de papa. El boro es un microelemento deficitario en los suelos de la zona sur.

10.6. Mezclas de fertilizantes

En los años noventa las mezclas físicas de fertilizantes se han incorporado fuertemente en el mercado. Los agricultores han aceptado esta tecnología que, si bien es cierto posee ventajas, sin embargo, presenta también algunas desventajas. Las ventajas del sistema se pueden resumir en que: facilitan la labor del agricultor y la mezcla de “fábrica” generalmente puede ser mejor que la realizada por el agricultor en el predio. Aun cuando esto dependerá de cada agricultor en particular. Es interesante el empleo de estas mezclas cuando se siembran grandes superficies del cultivo. Por ejemplo al sembrar 50 ha de papa, se debería mezclar alrededor de 75 t de material fertilizante. Entre las desventajas se debe destacar el mayor costo que tienen estas mezclas. Además, en muchos casos la mezcla no se ajusta a las reales necesidades de nutrientes requeridos, pues no considera la disponibilidad determinada por un análisis de suelo. El ideal para un adecuado uso de las mezclas sería la preparación de éstas según análisis de suelo. Esto permitiría racionalizar el uso de los nutrientes de acuerdo a las reales necesidades del suelo y del cultivo de papa.

Conclusiones

- Las rocas fosfóricas no son recomendables para el cultivo de la papa por su lenta entrega.
- La mayoría de los fertilizantes que se comercializan en el mercado no presentan grandes restricciones de uso.
- Todos los fertilizantes deben localizarse adecuadamente para evitar el efecto salino que puede afectar el adecuado crecimiento de los brotes.
- Las mezclas fertilizantes serían recomendables si la preparación de éstas se basa en un análisis de suelo, adecuadamente interpretado.

Literatura Citada

- Dahnke, W.C. and D.C. Nelson. 1976.** Soils and fertilizers p. 14. In potato production in North Dakota. North Dakota State University, Extension Bulletin 26.
- Fajardo, R.M.; Norero Sch., A.; Urzúa, S.H.; Honorato, P.R.; Lira V., J.E. 1964.** Calibración de análisis de tierra y plantas para fertilización de papas. Tesis Ing. Agr. Pontificia Universidad Católica de Chile. 185 p.
- Fernández Del P., M. 1977.** Crecimiento y Fertilización de la Papa. Estación Experimental Carillanca. Temuco - Chile. Boletín Técnico N° 33, 47 p.
- Grandon, M.; Rojas R., J.S. 1976.** Informe Técnico. Programa papa. Estación Experimental Remehue, INIA, Osorno.
- James, D.W.; Hurst, R.L.; Westermann, Tundall. 1994.** Nitrogen and potassiums fertilization of potatoes evaluating nutrient element interactions in petioles with response surfaces. American Potato Journal. Vol 71. p. 249-265.
- Jaworski, C.A. y Hanna, W.J. 1964.** Soil test Calibration with Irish Potato Yields. Journal Series, New Jersey Agricultural Experimental Station New Brunswick, New Jersey. 227-234.
- Joern, B.C. and Vitosh, M.L. 1995.** Influence of applied nitrogen on potato II, Recovery and partitioning of applied nitrogen. American Potato Journal. Vol 72. p. 73-84.
- Kunkel, R. and Thornton, R.E. 1986.** Understanding the potato. Scientific Paper N° 7267, College of Agriculture and Home Economics, Washington State University, Pullman.

- Kupers, R.J.P. 1972.** Dry matter production of potatoes and the uptake of nutrients at different stages of growth. 7 p. In international course of potato production Wageningen. International Agricultural Center.
- Laughlin, W.M.; Martin, P.F.; Smith, G.R. 1974.** Lime and phosphorus influence in Kennebec potato yield and chemical composition. American Potato Journal. Vol. 51:12. p. 393-402.
- Locascio, S.J.; Bartz, J.A.; Weingartner, D.P. 1992.** Calcium and potassium fertilization of potatoes grown in North Florida. American Potato Journal Vol. 69 p. 95-104.
- Lorenz, O.A.; Weir, B.L.; Bishop, J.C. 1974.** Effect of sources of nitrogen on yield and nitrogen absorption of potatoes. American Potato Journal. Vol. 52:2 p. 56-65.
- Marschner, H. 1986.** Mineral Nutrition of Higher plants. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim. Federal Republic of Germany Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers.
- Meisinger, J.J.; Bouldin, D.R. and Jones, E.D. 1978.** Potato yield reductions associated with certain fertilizer mixtures. American Potato Journal Vol. 55, p. 227-234.
- Montenegro, A. y Rodríguez, J. 1984.** Suministro de K en Ultisoles y Andisoles de la región de la Araucanía. Ciencia e Investigación Agraria 11: 99-108.
- Panique, E.; Kelling, K.A.; Schulte, E.E.; Hero, D.E.; Stevenson, W.R.; James, R.V. 1997.** Potassium rate and source effects on potato yield quality and disease interaction. American Potato Journal. Vol 74. p. 379-398.
- Paul, E.A. and Juma, N.G. 1981.** Mineralization and Immobilization of soil Nitrogen by microorganisms. Terrestrial Nitrogen Cycles Ecol. Bull. (Stockholm) 33: 179-195. Clark, F. E. & Rosswall T. (Eds.).

- Polizotto, R.K.; Wilcox, E.G. and Jones, M.Ch. 1975.** Response of Growth and Mineral composition of potato to nitrate and Ammonium Nitrogen American Soc. Hort. Sci 100 (2):165-168.
- Porter, G.A. and Sisson, J.A. 1991.** Response of Russet Burbank and Shepody potatoes to nitrogen fertilizer in two cropping systems. American Potato Journal. Vol 68 p. 425-443.
- Robert, S.; Cheng, H.H. and Buttler, I.W. 1992.** Recovery of starter nitrogen 15 fertilizers with supplementarily applied ammonium nitrate on irrigated potato. American Potato Journal. Vol 69. p. 309-314.
- Rodríguez, S.J. 1990.** La fertilización de los cultivos, un método racional Departamento Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía. Pontifica Universidad Católica de Chile.
- Rodríguez, S.J. y Sierra, B.C. 1987.** Efecto del historial de cultivo en el pool de N lábil y resistente del suelo. Ciencia e Investigación Agraria 14: 63-70.
- Rowe, C. Randall. 1993.** Potato Health Management. Plant Health Management Series. Department of plant pathology Ohio State University.
- Rykbost, K.A.; Christensen, N.W. and Maxwell, J. 1993.** Fertilization of Russet Burbank in short season enviroment. American Potato Journal. Vol. 70, p. 699-710.
- Schenkel, S.G.; Baherle V., P.; Floody, A.T. y Gajardo M., M. 1972.** Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas VIII Macronutrientes, Provincia de Valdivia. Agricultura Técnica Vol. 32: 37-48.
- Sierra, B.C. 1985.** Informe Técnico anual. Programa fertilidad de suelos y Programa de papas. Estación Experimental Remehue. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Osorno.

- Sierra, B.C.; Rojas R., J.S. 1989.** Informe Técnico anual. Programa de Fertilidad de Suelos y Programa de papa. Estación Experimental Remehue, INIA. Osorno.
- Silva, G.H.; Chase, R.W.; Hammerschmidt, R.; Vitosh, M.L. and Kitchen, R.B. 1991.** Irrigation nitrogen and gypsum effects on specific gravity and internal defects of Atlantic potatoes. American Potato Journal. Vol 68 p. 751-765.
- Soltanpour, Parvis. 1969.** Accumulation of dry matter and N, P, K by Russet Burbank, Oromonte and Red Mc Clure Potatoes. American Potato Journal Vol. 46, p. 11-119.
- Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975.** Soil fertility and fertilizers. Third Ed. Macmillan Publishing Co. Inc. New York. 694 p.
- Vander, Zaag and Kagenzi, C. 1986.** The phosphorus requirements of five consecutive potato crops on an Andept in Rwanda American Potato Journal. Vol. 63 N° 3, p. 121-129.
- Volke, H.V. 1973.** Fertilización nitrogenada y fosfatada del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. Agricultura Técnica 33(1):6-15.
- Westermann, D.T. and Davis, J.R. 1992.** Potato nutritional management changes and challenges into the next century. American Potato Journal. Vol. 69, p. 753-767.