

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

# EL CULTIVO DE LA PAPA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

## MANEJO DEL SUELO, FERTILIZACIÓN Y ALGUNOS OTROS FACTORES DE MANEJO AGRONÓMICO



### AUTORES

Carlos Sierra Bernal  
José Santos Rojas  
Andrés France Iglesias  
Julio Kalazich Barassi  
Cornelio Contreras Seguel

Ing. Agr. M. Sc.  
Ing. Agr. PhD.  
Ing. Agr. PhD.  
Ing. Agr. PhD.  
Ing. Agr.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

# EL CULTIVO DE LA PAPA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

## MANEJO DEL SUELO, FERTILIZACIÓN Y ALGUNOS OTROS FACTORES DE MANEJO AGRONÓMICO

### AUTORES

**Carlos Sierra Bernal**  
**José Santos Rojas**  
**Andrés France Iglesias**  
**Julio Kalazich Barassi**  
**Cornelio Contreras Seguel**

**Ing. Agr. M. Sc.**  
**Ing. Agr. PhD.**  
**Ing. Agr. PhD.**  
**Ing. Agr. PhD.**  
**Ing. Agr.**

### **Autores**

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| Carlos Sierra Bernal      | Ing. Agr. M. Sc. |
| José Santos Rojas         | Ing. Agr. PhD.   |
| Andrés France Iglesias    | Ing. Agr. PhD.   |
| Julio Kalazich Barassi    | Ing. Agr. PhD.   |
| Cornelio Contreras Seguel | Ing. Agr.        |

### **Director Responsable**

|                        |                  |
|------------------------|------------------|
| Francisco Meza Álvarez | Ing. Agr. M. Sc. |
|------------------------|------------------|

Centro Regional de Investigación Intihuasi

### **Editor**

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| Carlos Sierra Bernal | Ing. Agr. M. Sc. |
|----------------------|------------------|

### **Comité Editor**

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Angélica Salvatierra González | Ing. Agr. PhD. |
| Andrés Zurita Silva           | Ing. Agr. PhD. |

### **Boletín INIA N° 266**

Boletín editado por el Centro Regional de Investigación Intihuasi, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura Chile, como parte del proyecto "Transferencia de técnicas de manejo optimizado del riego y uso eficiente del nitrógeno en los principales cultivos del sector Pan de Azúcar, para asegurar la sustentabilidad de la actividad agrícola y de los recursos hídricos del acuífero El Culebrón", financiado por INNOVA-CORFO, 2012-2013, Cofinanciado por Minera TECK de Andacollo y la Junta de Vigilancia del Río Elqui, 2012-2013.

**Permitida su reproducción total o parcial citando la Fuente y los autores.**

### **Cita bibliográfica correcta**

Sierra B. C., J. Santos Rojas, A. France I., J. Kalazich B., y C. Contreras S. 2013. El Cultivo de la papa en la región de Coquimbo. Manejo del Suelo, Fertilización y algunos otros Factores de Manejo Agronómico. 134 p. Boletín INIA N° 266. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Intihuasi, La Serena Chile.

### **Diseño y Diagramación**

Miradatres Ltda.

### **Impresión**

Editorial

Cantidad de ejemplares 600

La Serena Chile 2013

El ISSN de la serie Boletín INIA es 0717-4829



## ÍNDICE

|   |  |    |
|---|--|----|
| <b>Capítulo 1</b>   | Introducción   | 11 |
| <b>Capítulo 2</b>   | Antecedentes generales del cultivo                                       | 11 |
| <b>Capítulo 3</b>   | Antecedentes del Clima del Área de Pan de Azúcar                         | 17 |
| <b>Capítulo 4</b>   | Características de los suelos de la zona productora de papa de La Serena | 21 |
| 4.1. Características Físicas y Químicas de los suelos de la zona productora de papa           |  | 21 |
| 4.1.2. Estado Actual de las condiciones físicas de los suelos                                 |  | 21 |
| 4.1.3. Movimiento del agua en suelos físicamente degradados                                   |  | 21 |
| 4.1.4. Prácticas de Manejo del suelo recomendadas para mejorar infiltración del agua de Riego |  | 22 |
| 4.1.4.1. Laboreo del suelo  |  | 22 |
| 4.1.4.2. Enmiendas orgánicas  |  | 22 |
| 4.1.4.2.1. Abonos verdes  |  | 22 |
| 4.1.4.2.2. Estiércoles  |  | 22 |
| 4.1.4.2.2.1. Estiércol de cabra   |  | 23 |
| 4.1.4.2.2.2. Guano de pavo y/o ponedoras  |  | 23 |
| 4.1.5. Manejo de Materias Orgánicas   |  | 24 |
| 4.1.5.1. Época de aplicación  |  | 25 |
| 4.1.5.2. Forma de Aplicación  |  | 25 |
| 4.1.6. Ácido sulfúrico o sulfuroso  |  | 25 |
| 4.1.7. Salinidad de los suelos.   |  | 25 |
| 4.1.8. Reacción o pH del suelo  |  | 25 |
| <b>Capítulo 5</b>   | Características del cultivo de la papa                                   | 27 |
| 5.1. Biomasa del cultivo e índice de cosecha  |  | 27 |
| 5.2. Estados de desarrollo del cultivo de papa de primavera                                   |  | 28 |
| 5.2.1. Primer estado de crecimiento. Plantación a Emergencia                                  |  | 28 |
| 5.2.2. Segundo estado de crecimiento. Crecimiento Vegetativo                                  |  | 28 |
| 5.2.3. Tercer estado de crecimiento. Inicio de tuberización                                   |  | 29 |
| 5.2.4. Cuarto estado de crecimiento. Llenado de tubérculos                                    |  | 29 |
| 5.2.5. Quinto estado de crecimiento. Maduración de tubérculos.                                |  | 29 |
| Fenología del cultivo (esquema)   |  | 30 |



|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Capítulo 6</b> | Manejo Agronómico del cultivo  | 31 |
| 6.1.              | Variedades de papa   | 31 |
| 6. 2.             | Calidad de semilla   | 32 |
| 6.3.1.            | Resultados de Ensayos de cuatro variedades de papa en la Parcela Experimental Pan de Azúcar                                | 36 |
| 6.3.2.            | Resultados de Ensayos de cinco variedades de papa en la Parcela Experimental Pan de Azúcar                                 | 37 |
| 6.4.              | Prebrotación de tubérculos   | 38 |
| 6.5.              | Rotación de cultivo  | 39 |
| 6. 6.             | Preparación de suelo   | 39 |
| 6. 7.             | Plantación   | 39 |
| 6.7.1.            | Plantación de fines de verano  | 40 |
| 6.7.2.            | Plantación de fines de invierno  | 40 |
| 6. 8.             | Población de plantas   | 40 |
| 6. 9.             | Nemátodos  | 42 |
| 6.9.1.            | Ventajas de los nematicidas  | 44 |
| 6.9.2.            | Desventajas de los nematicidas   | 44 |
| 6.10.             | Nutrición del cultivo de la papa y su relación con la susceptibilidad a plagas y enfermedades.                             | 45 |
| 6. 11.            | Desórdenes Fisiológicos  | 50 |
| <b>Capítulo 7</b> | Uso de enmiendas en el cultivo de papa.  | 51 |
| 7.1.              | Efecto de tres dosis de guano de pavo no compostado en papa cv Cardinal, en suelo arcilloso serie Barriales                | 51 |
| 7. 2.             | Efecto de dos fuentes de estiércol de cabra y pavo estabilizado en papa cv. Cardinal                                       | 52 |
| 7.2.1.            | Antecedentes Metodológicos   | 52 |
| 7.2.2.            | Resultados Obtenidos   | 53 |
| 7.3.              | Efecto de la agregación de azufre elemental granulado a mezcla fertilizante, en papa cv Cardinal.                          | 56 |
| 7.3.1.            | Antecedentes metodológicos   | 56 |
| 7.3.2.            | Resultados experimentales obtenidos  | 57 |
| 7.3.2.1.          | Efecto del azufre elemental, sobre el pH del suelo   | 57 |
| 7.3.2.2.          | Efecto de la enmienda azufrada sobre la salinidad del suelo  | 58 |
| 7.3.2.3.          | Disponibilidad de nutrientes en el suelo al inicio del experimento   | 60 |
| 7.4.              | Efecto de la mezcla fertilizante con azufre elemental (S°) granulado, sobre el rendimiento del cultivo de papa cv Cardinal | 60 |



|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Capítulo 8</b> | Fertilización del cultivo de papa   | 67  |
| 8.1.              | Antecedentes Generales  | 67  |
| 8.2.              | Requerimientos Nutricionales del cultivo  | 67  |
| 8.2.1.            | Elementos esenciales para el cultivo  | 67  |
| 8.2.2.            | Nitrógeno   | 67  |
| 8.2.3.            | Fósforo   | 68  |
| 8.2.4.            | Potasio   | 69  |
| 8.2.5.            | Calcio  | 70  |
| 8.2.6.            | Magnesio  | 70  |
| 8.2.7.            | Azufre  | 70  |
| 8.2.8.            | Micronutrientes   | 70  |
| 8.2.9.            | Elementos benéficos   | 72  |
| 8.3.              | Extracción de nutrientes minerales por el cultivo de la papa  | 72  |
| 8.4.              | Evolución de la formación de materia seca y absorción de nutrientes en papa variedad Karú y Patagonia | 72  |
| 8.4.1.            | Absorción de nutrientes por la variedad Karú  | 72  |
| 8.4.2.            | Absorción de nutrientes por la variedad Patagonia   | 85  |
| 8.5.              | Respuesta del cultivo de papa a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio                     | 92  |
| 8.5.1.            | Respuesta al Nitrógeno  | 92  |
| 8.5.2.            | Respuesta al Fósforo  | 93  |
| 8.5.2.1.          | Efecto de fósforo en papa cv Asterix, en suelo arcilloso serie Barriales                              | 94  |
| 8.5.2.2.          | Efecto de fósforo en papa cv Patagonia, predio Pan de Azúcar  | 97  |
| 8.5.3.            | Respuesta al Potasio  | 98  |
| <b>Capítulo 9</b> | Fuentes Fertilizantes   | 101 |
| 9.1.              | Efecto de diferentes fuentes Fertilizantes  | 101 |
| 9.1.1.            | Nitrógeno   | 101 |
| 9.1.2.            | Fósforo   | 101 |
| 9.1.3.            | Potasio   | 101 |
| 9.1.4.            | Calcio  | 101 |
| 9.1.5.            | Magnesio  | 101 |
| 9. 2.             | Resultados Experimentales de ensayo de fuente nitrogenada y potásica                                  | 102 |



|                    |   |     |
|--------------------|---|-----|
| <b>Capítulo 10</b> | Época de Aplicación de los Fertilizantes                                    | 105 |
| 10.1.              | Nitrógeno   | 105 |
| 10.2.              | Fósforo   | 105 |
| 10.3.              | Potasio   | 105 |
| 10.4.              | Calcio  | 105 |
| 10.5.              | Magnesio  | 105 |
| 10.6.              | Azufre  | 106 |
| 10.7.              | Micronutrientes   | 106 |
| <b>Capítulo 11</b> | Forma de Aplicación de los Fertilizantes                                    | 107 |
| 11.1.              | Nitrógeno   | 107 |
| 11.2.              | Fósforo   | 107 |
| 11.3.              | Potasio   | 108 |
| <b>Capítulo 12</b> | Fertilización y relación con otros Factores de Manejo                       | 109 |
| 12.1.              | Fertilización y riego   | 109 |
| 12.2.              | Efecto de dos tasas de riego en papa variedad Patagonia                     | 110 |
| 12.3.              | Fertilización y densidad de plantación                                      | 112 |
| <b>Capítulo 13</b> | Estimación de la fertilización según el Método del Balance Nutricional      | 115 |
| 13.1.              | Estimación de la fertilización nitrogenada                                  | 115 |
| 13.2.              | Estimación de la fertilización fosfatada                                    | 116 |
| 13.3.              | Estimación de la fertilización potásica                                     | 117 |
| 13.4.              | Estimación de la fertilización con magnesio, azufre y micronutrientes       | 118 |
| 13.5.              | Eficiencia de recuperación de los nutrientes                                | 119 |
| <b>Capítulo 14</b> | Diagnóstico de la Fertilidad del suelo y del estado nutricional del cultivo | 121 |
| 14.1.              | Análisis de suelo   | 121 |
| 14.2.              | Análisis Foliar   | 122 |
| <b>Capítulo 15</b> | Fertilizantes, Enmiendas y Bioestimulantes                                  | 125 |
| 15.1.              | Fertilizantes nitrogenados  | 125 |
| 15.2.              | Fertilizantes fosfatados  | 128 |



|   |     |
|---|-----|
| 15.3. Fertilizantes potásicos                       | 128 |
| 15.4. Fertilizantes que aportan calcio y/o magnesio | 128 |
| 15.5. Micronutrientes                               | 128 |
| 15.5.1. Hierro                                      | 129 |
| 15.5.2. Manganeso                                   | 129 |
| 15.5.3. Cobre                                       | 129 |
| 15.5.4. Cinc  | 129 |
| 15.5.5. Boro  | 129 |
| 15.6. Mezclas Fertilizantes                         | 129 |
| 15.7. Enmiendas                                     | 129 |
| 15.8. Bioestimulantes                               | 130 |
| <b>Capítulo 16</b> Literatura citada                | 131 |



## Agradecimientos

El presente Boletín ha sido posible gracias al trabajo y aporte de varios agricultores empresarios y pequeños agricultores de Pan de Azúcar y El Romero, así como también de estudiantes tesisistas o practicantes de diversos Institutos y Universidades de la Región. Instituciones como FIA y Corfo han permitido también desarrollar diversos trabajos agronómicos que hoy día se incluyen en este boletín. El personal de INIA desde profesionales, técnicos, administrativos y operarios, cada uno en su área ha contribuido a que este trabajo pueda ser entregado a los productores de la Región.

A nivel nacional, información agronómica escrita sobre el cultivo de papa no es abundante. Especial agradecimiento a los siguientes Profesionales, Técnicos y Administrativos de INIA.

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Jaime Salvo del Pedregal   | Ing. Agr. Ph D. |
| Víctor Pizarro Berríos     | Ing. Agr.       |
| Luis Felipe Muñoz Carvajal | Ing. Agr.       |

|                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| Fernando Graña Sarmiento     | Ing. Ejec. Agrícola |
| Rubén Alfaro Pizarro         | Ing. Ejec. Agrícola |
| Víctor Alfaro Espinoza       | Ing. Ejec. Agrícola |
| Luiggi Schiappaccase Alvarez | Ing. Ejec. Agrícola |

### Secretarias

Ana Narbona Valdovino  
Olga Guzmán Peralta  
Patricia Contreras Alvear  
Erika González Villalobos



## Capítulo 1

### Introducción

La fertilización del cultivo de la papa es una práctica importante, porque el cultivo responde de manera significativa, especialmente al nitrógeno y potasio, y esto se explica por el escaso arraigamiento natural que presenta el cultivo. Además, la pobre condición física de los suelos de la zona, afecta aun más el escaso crecimiento de raíces del cultivo, afectando así la eficiencia de absorción de nutrientes. En la zona se produce papa de primor todo el año, para abastecer el norte grande y la zona central del país. La mala condición física de los suelos es un factor negativo relevante, que afecta el potencial de rendimiento del cultivo, otro factor negativo es la favorable condición ambiental para el desarrollo del tizón tardío, enfermedad que afecta durante gran parte del año al cultivo en la región. Por otra parte, plagas como mosca minadora y la polilla de la papa, son factores relevantes de considerar al momento de iniciar un cultivo de papa, en la zona.

En el presente boletín se entrega información agronómica del cultivo de la papa, obtenida en su mayor parte en suelos de las localidades de El Romero y Pan de Azúcar.

## Capítulo 2

### Antecedentes generales del cultivo

La papa es un cultivo que presenta un gran historial de manejo en la zona de La Serena, su cultivo se practica de manera comercial desde hace más de 60 años, y es uno de los cultivos anuales más importantes en la Región de Coquimbo, concentrándose en localidades como El Romero, Coquimbito, Altovalsol y Pan de Azúcar. Además, existen pequeñas áreas de cultivo en la zona de Cerrillos de Tamaya, como también en las comunas de Canela y Mincha, donde se cultivan pequeñas superficies del tubérculo.

La principal época de plantación es a fines de verano y otoño, para cosechar en Agosto y Septiembre, meses de mayor valor de la papa. La producción de papa de La Serena abastece los mercados del norte grande y de Santiago durante gran parte del año, especialmente cuando la oferta de papa de la zona sur decrece. Los rendimientos de pequeños y grandes agricultores alcanzan las 20 y 40 ton ha<sup>-1</sup> de tubérculos respectivamente. Esto considerando riego tradicional y semilla de buena calidad.

Las cifras de intenciones de siembra de papa del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para la temporada 2007/2008 señalaron un total de 56.310 hectáreas en el país, lo que significó un 5% más que la siembra de la temporada anterior, según las cifras preliminares del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE (2007).

Se debe recordar, que la cosecha 2006/07 fue reducida en comparación con las de años recientes, tanto por una menor siembra como por los bajos rendimientos en el sur del país, producto del ataque de tizón tardío en ese año.



Según cifras del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, la superficie durante la temporada 2006/2007 alcanzó a 54.097 ha, con una producción de 831 mil toneladas, y un rendimiento de 15,4 ton ha<sup>-1</sup>, bastante menor que lo reportado en la encuesta de cosecha de cultivos anuales de la temporada 2005/06, que alcanzó a 1.391.378 toneladas, con un promedio de 22 ton ha<sup>-1</sup>. Las heladas ocurridas a fines del año 2007 y la sequía posterior perjudicaron los rendimientos de los cultivos de papa temprana y la cosecha de papa de guarda. Las heladas afectaron cerca de 1.000 hectáreas entre las regiones de Coquimbo y Valparaíso, con diversos grados de daño, lo que redujo la oferta de papa temprana y de media estación o cuaresmera en la zona central (INE, 2007).

En el Cuadro 1 se presenta la superficie, producción y rendimiento del cultivo de papa por región. El cultivo se concentra en la zona sur del país, siendo la región de la Araucanía la que registra la mayor superficie cultivada, le siguen en importancia la región de Los Lagos y la del Bío-Bío, en estas tres regiones se concentra el 63% de la superficie cultivada del país.

**Cuadro 1.** Superficie (ha), producción (ton) y rendimiento (ton ha<sup>-1</sup>) de papa por región y país, temporada 2006/2007.

| Región                 | Superficie (ha)  | %     | Producción ton   | Rendimiento ton ha <sup>-1</sup> |
|------------------------|------------------|-------|------------------|----------------------------------|
| Arica y Parinacota     | 24               | 0,044 | 94,0             | 3,9                              |
| Tarapacá               | 94               | 0,174 | 137,5            | 1,47                             |
| Antofagasta            | 4                | 0,007 | 21,4             | 4,76                             |
| Atacama                | 250              | 0,46  | 3.266,2          | 13,1                             |
| Coquimbo               | 3.233            | 6     | 56.370,8         | 17,4                             |
| Valparaíso             | 2.165            | 4     | 20.229,3         | 9,3                              |
| Metropolitana          | 5.236            | 10    | 87.050,7         | 16,6                             |
| O'Higgins              | 1.709            | 3     | 22.676,5         | 13,3                             |
| Maule                  | 3.369            | 6     | 44.973,2         | 13,3                             |
| Bío-Bío                | 8.441            | 16    | 97.709,3         | 11,6                             |
| La Araucanía           | 14.059           | 26    | 212.544,8        | 15,1                             |
| Los Ríos               | 3.971            | 7     | 72.422,9         | 18,2                             |
| Los Lagos              | 11.228           | 21    | 213.979,9        | 19,1                             |
| Aysén                  | 185              | 0,342 | 1.925,9          | 10,8                             |
| Magallanes y Antártica | 130              | 0,240 | 820,9            | 6,3                              |
| <b>Total País</b>      | <b>54.097,48</b> |       | <b>834.223,3</b> | <b>15,4</b>                      |

Fuente: Elaboración propia con datos de INE (2007).

La productividad por unidad de superficie y región se observa en la Figura 1. En ella se aprecia que los mayores rendimientos se obtienen en la región de los Lagos y de los Ríos, con valores superiores a 18 ton ha<sup>-1</sup>. Cabe señalar que, países como Holanda superan las 40 ton ha<sup>-1</sup> promedio en más de 200.000 has de superficie cultivada.



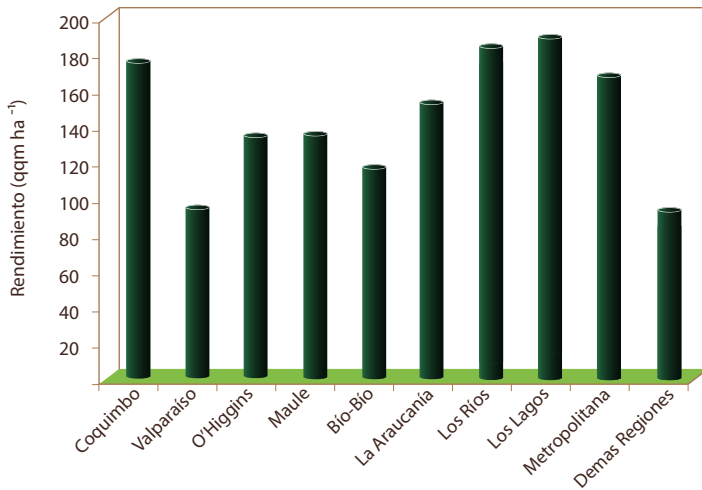


Figura 1. Rendimiento promedio del cultivo de la papa (qqm ha<sup>-1</sup>), por región, temporada 2006/2007. Fuente: Elaboración propia con datos de INE (2007).

## 2. Superficie Plantada, Producción y Rendimiento en la Región de Coquimbo.

En el Cuadro 2 se presenta la superficie, producción y rendimiento de papa por provincia y comuna en la Región de Coquimbo, la mayor superficie se concentra en la Provincia de Elqui (81 %) y a su vez, en las comunas de Coquimbo y La Serena, 43% y 37% de la superficie regional respectivamente. En Limarí destaca la mayor producción de la comuna de Ovalle, seguida de Punitaqui. En el valle de Choapa destacan las comunas de Illapel y Canela.

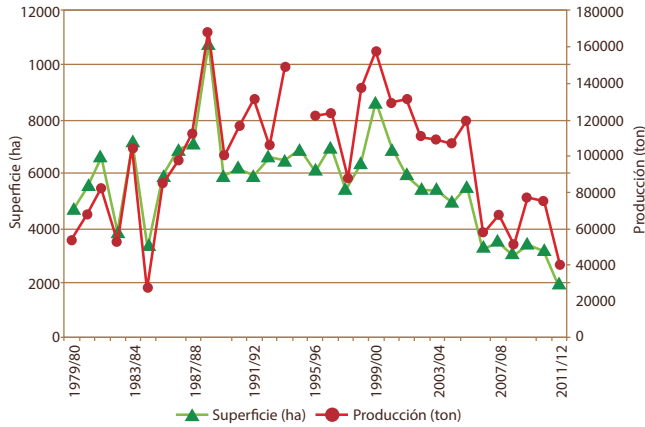


**Cuadro 2.** Superficie, producción y rendimiento de papa por Provincia y comuna en la Región de Coquimbo, Temporada 2006/2007. Fuente INE (2007).

| Provincia            | Comuna       | Superficie (ha) | Producción ton  | Rendimiento ton ha <sup>-1</sup> |
|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| Elqui                | Andacollo    | 0,3             | 3,0             | 0,9                              |
|                      | Coquimbo     | 1.383,5         | 21.082,8        | 15,2                             |
|                      | La Higuera   | -               | -               | -                                |
|                      | La Serena    | 1.191,8         | 26.141,2        | 21,9                             |
|                      | Paihuano     | -               | -               | -                                |
|                      | Vicuña       | 36,9            | 722,4           | 19,6                             |
| <b>Total</b>         |              | <b>2.612,5</b>  | <b>47.949,4</b> | <b>18,4</b>                      |
| Limaquí              | Combarbalá   | 3,1             | 14,0            | 4,5                              |
|                      | Monte Patria | 22,6            | 192,6           | 8,5                              |
|                      | Ovalle       | 282,1           | 3.827,2         | 13,5                             |
|                      | Punitaqui    | 48,2            | 266,6           | 5,5                              |
|                      | Río Hurtado  | 21,9            | 215,1           | 9,8                              |
|                      | <b>Total</b> |                 | <b>377,9</b>    | <b>4.515,5</b>                   |
| Illapel              | Canela       | 76,1            | 426,0           | 5,6                              |
|                      | Illapel      | 125,5           | 3.201,0         | 25,5                             |
|                      | Los Vilos    | 7,5             | 28,0            | 3,7                              |
|                      | Salamanca    | 33,3            | 250,9           | 7,5                              |
| <b>Total Illapel</b> |              | <b>242,4</b>    | <b>3.905,9</b>  | <b>16,1</b>                      |

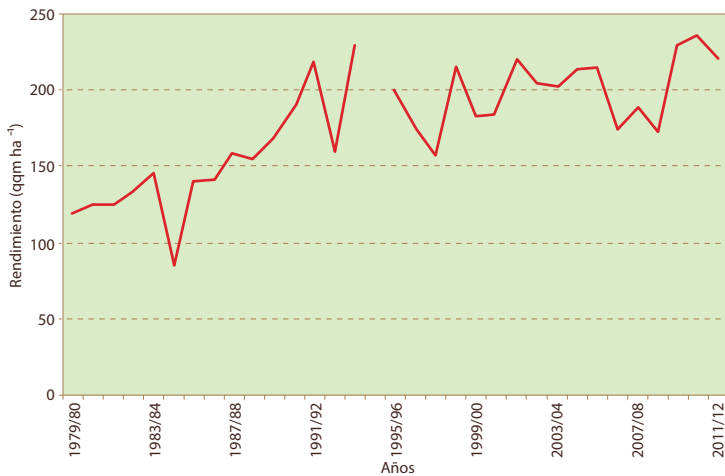
En la Figura 2 se muestra la evolución de la superficie (ha) y producción (ton) del cultivo de papa, en la Región de Coquimbo. Al analizar las series históricas de producción y superficie cultivada, se observa un comportamiento muy variable, con incrementos y descensos considerables entre años, no obstante la tendencia señala que se registró un incremento considerable en la década de los 80, para luego descender y estabilizarse en la siguiente década. Sin embargo, desde el año 2.000, se observa un claro descenso, siendo la superficie del año 2006/2007 similar a la cultivada en la temporada 1979/1980. Desde el año 1999 en adelante la superficie y la producción total presentan una clara tendencia a la disminución.





**Figura 2.** Evolución de la Superficie (ha) y producción (ton) del cultivo de papa, en la Región de Coquimbo, período 1979 a 2012. Fuente: Elaboración propia con datos de INE.

En la Figura 3 se aprecia que a pesar de la disminución en la superficie cultivada, el rendimiento presentó un incremento, registrando en la temporada 1979/1980 alrededor de 12 ton ha<sup>-1</sup>, cifra inferior a 18,5 ton ha<sup>-1</sup> rendimiento promedio del último quinquenio (2002/2007). En la temporada 2011-2012, el rendimiento promedio alcanzó las 22,5 ton ha<sup>-1</sup>



**Figura 3.** Evolución del rendimiento (qqm ha<sup>-1</sup>) del cultivo de papa, en la región de Coquimbo, Período 1979/1980 a 2006/2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de INE.





## Capítulo 3

### Antecedentes del clima del área de Pan de Azúcar

El clima del área de Pan de Azúcar se caracteriza por presentar inviernos benignos y veranos frescos debido a su cercanía al mar. Sin embargo, las heladas en invierno son recurrentes, especialmente en los años secos. Las precipitaciones son escasas y se concentran en invierno.

En la Figura 4 se aprecian los datos de 13 años de registro de precipitación obtenidos en la Parcela Experimental Pan de Azúcar. En tres de los años observados se aprecian niveles de precipitación mayores de 250 mm anuales, mientras que en la mayoría de los años las precipitaciones no superan los 120 mm. Desde el año 1993 a 1996, las precipitaciones no superan los 60 mm. Es importante destacar que estos montos precipitados sugieren que no existe agua de lavado del suelo, lo que favorece la acumulación de sales solubles e insolubles.

En la Figura 5 se aprecian los registros promedio mensuales de precipitaciones. Estas se concentran entre Mayo y Agosto, presentando los máximos precipitados en Junio. Sin embargo, en este mes la desviación estándar del promedio es máxima, seguida del mes de Agosto, entre Octubre y Marzo la precipitación es muy escasa.

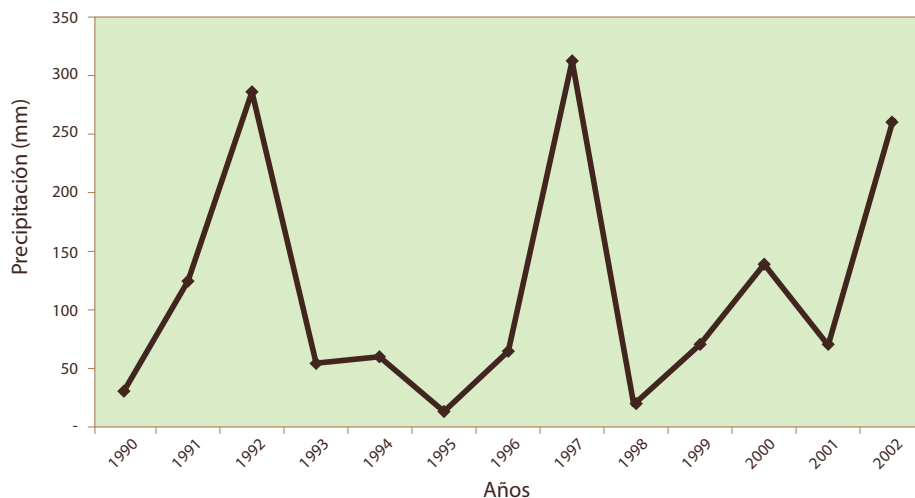
En la Figura 6 se presenta la evolución promedio de la temperatura del aire. Las máximas medias se producen en Enero y alcanzan los 25°C. Mientras que en Julio se logran las temperaturas máximas medias más bajas, que bordean los 20°C. En el caso de las mínimas medias estas varían entre 6 y 13°C en Julio y Enero respectivamente. Las temperaturas medias fluctúan entre 14 y 19°C para los mismos meses señalados. La amplitud térmica es baja, debido a la cercanía al mar. En la Figura 7 se aprecia la evolución de la temperatura del suelo observada tres veces al día.

Cabe señalar que estos registros se realizan en suelo no cultivado y sin riego. La temperatura más baja durante el año se registra en Julio a las 8 h, alcanzando los 12 °C, a las 20 h la temperatura se aproxima a los 14 °C. Mientras que la temperatura más alta se produce en Enero, casi 30 °C y corresponde a la registrada a las 20 h. A las 14 h la temperatura del suelo es más parecida a la temperatura registrada en la mañana, esto sugiere que a esta hora la temperatura del suelo va en ascenso. Es importante destacar que la temperatura del suelo durante el invierno permite una baja tasa de mineralización de nitrógeno. Además en Agosto la temperatura del suelo comienza a incrementarse.

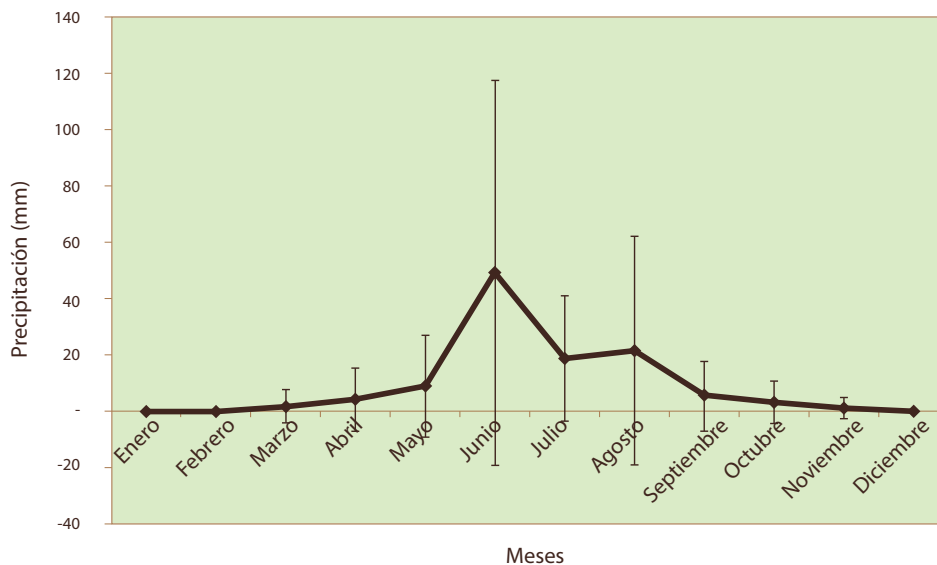
La temperatura del suelo es importante pues define el inicio de la actividad radicular y además determina el suministro de nutrientes por el suelo, especialmente de nitrógeno.

En general se puede señalar que el clima del área de Pan de Azúcar es templado, por efecto de la cercanía al litoral costero.





**Figura 4.** Registros de precipitación anual ( $\text{mm año}^{-1}$ ), en Parcela Experimental Pan de Azúcar, durante el período 1990/2002.



**Figura 5.** Registros de precipitación mensual ( $\text{mm mes}^{-1}$ ) y desviación estándar del promedio, Parcela Experimental Pan de Azúcar, durante el período 1990/2002.



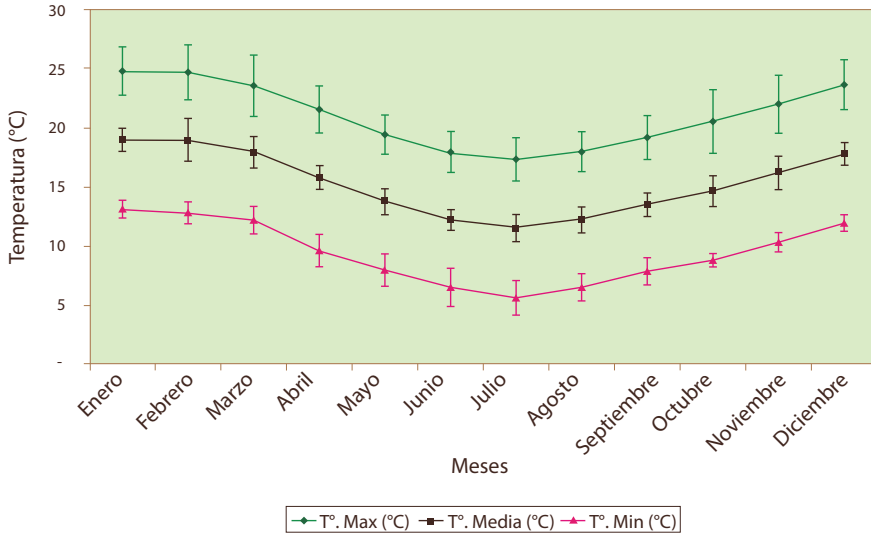


Figura 6. Evolución de la Temperatura del aire y desviación estándar del promedio, en Pan de Azúcar, período 1990/2002.

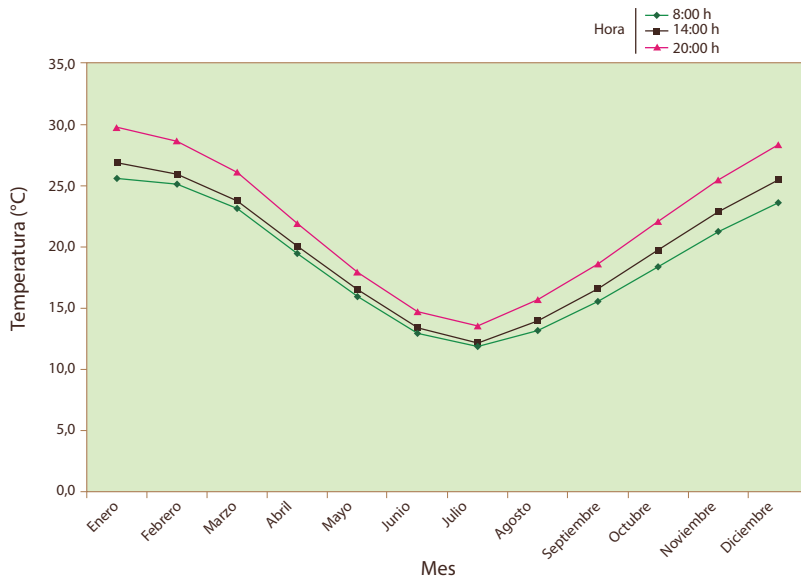


Figura 7. Evolución de la Temperatura del suelo (20 cm) en Pan de Azúcar, promedio mensual registrado a las 8 h; 14 h y 20 h, período 1990/2002





## Capítulo 4

# Características de los suelos de la zona productora de papa de La Serena

### 4.1. Características Físicas y Químicas de los suelos de la zona productora de papa

La principal característica física de los suelos donde se cultiva la papa es su escasa agregación, es decir los suelos presentan una pobre estructura, debido al mal manejo histórico de éstos. La erosión hídrica, no utilización de materia orgánica, quema de rastrojos, todo esto ha contribuido a deteriorar la condición física, afectando el movimiento del agua en el perfil del suelo. Esto determina condiciones de escasa aireación lo que afecta el arraigamiento del cultivo y además las escasas raíces crecen bajo condiciones de pobre aireación.

El escaso grado de estructuración del suelo es un aspecto de gran importancia, pues disminuye la infiltración del agua en los suelos y en consecuencia la aireación de los mismos, afectando el enraizamiento y la absorción de nutrientes lo que determina pudrición y deformación de los tubérculos, incremento de enfermedades como Rizoctonia, Erwinia y una mala nutrición de las plantas. Todo esto determina rendimientos moderados y además una gran ineficiencia en el uso de la fertilización aplicada. Esto obliga a los agricultores a fertilizar con dosis mucho más altas que las realmente requeridas por el cultivo, incrementando de esta forma los costos de producción, y aumentando además la contaminación especialmente por nitratos de las napas freáticas.

#### 4.1.2. Estado actual de las condiciones físicas de los suelos

En la actualidad existe un intenso deterioro físico de los suelos de la zona productora de papa y hortalizas, que se extiende en las comunas de La Serena y Coquimbo.

La textura ha sido parcialmente modificada por la erosión hídrica, debido al mal manejo del riego gravitacional en el pasado. Los suelos presentan una gran pérdida de carbono activo. La materia orgánica residente es un material no disponible para la biomasa microbiana, por lo tanto la actividad biológica de estos suelos es baja. El aporte continuado de agentes cementantes como el bicarbonato que están ingresando continuamente vía agua de riego, determinan la formación de carbonatos esto genera que el suelo se endurezca más fácilmente, afectando la porosidad media por donde debe fluir el agua, bajo estas condiciones deben crecer raíces y tubérculos del cultivo.

#### 4.1.3. Movimiento del agua en suelos físicamente degradados

En muchos suelos de textura franco arcillo arenoso y franco arcillosos, la velocidad de infiltración cae drásticamente a las 2 h de riego, lo que implica un flujo muy lento del agua en profundidad. El agua se “cuelga” con facilidad, en la zona más compactada, es decir entre los 20 y 30 cm, afectando la aireación del suelo en la zona de mayor cantidad de raíces. Este efecto es más grave en suelos de textura fina y media, la solución para este problema es el subsolado. En suelos franco arenosos este problema no es tan grave porque presentan una gran macroporosidad, por



lo tanto el agua drena más fácilmente, pero igualmente estos suelos pueden estar compactados y presentar problemas de infiltración.

#### **4.1.4. Prácticas de manejo del suelo recomendadas para mejorar infiltración del agua de riego**

- Laboreo superficial y subsolado
- Enmiendas orgánicas y abonos verdes
- Ácido sulfúrico, especialmente en suelos calcáreos
- Yeso agrícola en suelos arcillosos no calcáreos
- Ácidos Húmicos y extractos húmicos
- Nitrato de calcio en suelos arcillosos

##### **4.1.4.1. Laboreo del suelo**

La labranza del suelo permite incrementar transitoriamente la porosidad del suelo, favoreciendo así la infiltración del agua de riego. Esta práctica de manejo se tratará más en detalle, en el capítulo de manejo agronómico del cultivo.

##### **4.1.4.2. Enmiendas orgánicas**

###### **4.1.4.2.1 Abonos verdes**

Consisten en cultivos que se siembran y luego se incorporan al suelo, al estado de floración con el objetivo de mejorar la condición física y química de los suelos. Avena, cebada, trigo, tréboles, lupinos, vicias y otras especies pueden usarse con este objetivo.

La velocidad de descomposición de estos abonos verdes se relaciona directamente con la relación C/N de estos tejidos. A mayor contenido de nitrógeno, el tejido vegetal se descompone más rápidamente, caso de poroto, alfalfa, tréboles o lupino. Mientras que tejidos de plantas con menor contenido de nitrógeno se descomponen más lentamente, caso de residuos de cereales, trigo, avena, cebada, maíz (Ingels y col 1998).

En la región, los abonos verdes presentan una rápida descomposición, debido a la temperatura ambiental más bien alta durante varios meses del año, esto acelera la tasa de mineralización del tejido vegetal incorporado al suelo.

Sin embargo, los beneficios del abono verde son innegables, pues favorecen de manera significativa la producción de papa. Estos beneficios son los mismos que produce cualquier tipo de materia orgánica.

###### **4.1.4.2.2. Estiércoles**

Existe una gran gama de estiércoles y guanos, en general los guanos de aves y cerdos presentan más nutrientes que fibra, mientras que los estiércoles de vacuno, equino, cabra y ovino presentan



más fibra que nutrientes disponibles. Es recomendable su uso previo compostaje, para evitar malos olores y posible contaminación de hortalizas de consumo fresco que se incluyen en la rotación.

- Las enmiendas orgánicas presentan una serie de beneficios agronómicos para los suelos y plantas.
- Mantienen bajas poblaciones de nematodos.
- Mejora porosidad del suelo.
- Incrementa retención de humedad aprovechable.
- Aporta nutrientes y regula la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.
- Los estiércoles se caracterizan porque presentan contenidos de nutrientes muy variables.
- Todos estos factores promueven un mejor arraigamiento de las plantas, lo que determina un mejor aprovechamiento de los fertilizantes aplicados y en consecuencia una productividad más estable de los cultivos en el tiempo.

#### 4.1.4.2.2.1. Estiércol de cabra

Es un material pobre en nutrientes minerales de alta disponibilidad como nitrógeno y fósforo. Contiene cantidades ligeramente altas de sodio, este incrementa el pH lo cual no es recomendable porque afecta disponibilidad de fósforo y micronutrientes. Los guanos más salinos son aquellos provenientes de zonas más áridas, caso de Vallenar y Copiapó. La calidad del guano está afectada por la alimentación que recibe el animal. Se debe compostar 3 a 4 meses antes de aplicarlo, y se recomienda lavarlo para extraer las sales solubles que contiene. Es más aportador de fibra que de nutrientes minerales. Se puede caracterizar como un guano de acción lenta.

#### 4.1.4.2.2.2. Guano de pavo y/o ponedoras

A diferencia de los estiércoles de animales mayores, contiene más nutrientes minerales especialmente nitrógeno total y disponible. Su contenido salino generalmente es superior al del guano de cabra, pero el origen de la salinidad en gran parte está dada por el gran aporte de nitrógeno disponible como amonio y nitrato. El aporte de fósforo es muy alto, lo cual es muy positivo. El pH, a diferencia del guano de cabra, es ligeramente ácido lo cual es igualmente positivo. Otra característica del guano de pavo o ponedoras es que no presenta semillas de malezas, aspecto agronómico importante ya que el guano de cabra presenta una cantidad considerable de semillas de especies nativas. En los cuadros 3, 4, 5 y 6 se presenta el contenido de nitrógeno y las diferentes formas presentes en tres tipos de guano. Además, de otros parámetros químicos, como pH, salinidad, y otros nutrientes. El nitrógeno disponible del guano de cabra es mucho menor que el del guano de pavo ya sea fresco o estabilizado. El pH es más ácido en el caso del guano de pavo y el contenido de fósforo total y disponible es igualmente más bajo en el caso del guano de cabra, además la salinidad del guano de cabra es ligeramente inferior a la del guano de pavo. En relación a los contenidos de potasio, calcio y magnesio total, son más altos en el caso del guano de pavo. En cuanto al sodio y cloruro los contenidos son similares en ambos tipos de enmiendas.



**Cuadro 3.** Contenido y formas de nitrógeno del guano de cabra y de pavo estabilizado y fresco.

| Tipo de Guano     | Nitrógeno amoniacal | Nitrógeno Nítrico | Nitrógeno disponible | Nitrógeno total |
|-------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| ppm               |                     |                   |                      |                 |
| Pavo Estabilizado | 2.620               | 1.010             | 3.630                | 18.600          |
| Cabra             | 182                 | 140               | 322                  | 16.000          |
| Pavo fresco       | 3.522               | 642               | 4.164                | 36.300          |

**Cuadro 4.** Reacción, salinidad y contenido de fósforo disponible y total del guano de pavo estabilizado, fresco y de cabra.

| Tipo de Guano     | pH   | CE   | Fósforo disponible | Fósforo total |
|-------------------|------|------|--------------------|---------------|
|                   |      | dS/m | ppm                |               |
| Pavo Estabilizado | 6,45 | 26,6 | 2.180              | 23.000        |
| Cabra             | 7,9  | 18,1 | 1.331              | 3.200         |
| Pavo fresco       | 5,87 | 20,0 | 2.215              | 18.500        |

**Cuadro 5.** Contenido de K, Ca y Mg soluble y total del guano de pavo estabilizado, fresco y de cabra.

| Tipo de estiércol | Potasio soluble | Potasio total | Calcio soluble | Calcio total | Magnesio soluble | Magnesio total |
|-------------------|-----------------|---------------|----------------|--------------|------------------|----------------|
| ppm               |                 |               |                |              |                  |                |
| Pavo Estabilizado | 942             | 25.000        | 244            | 40.200       | 134              | 7.000          |
| Cabra             | 915             | 19.600        | 1.453          | 20.300       | 305              | 6.300          |
| Pavo fresco       | 759             | 26.200        | -              | 27.400       | -                | 5.400          |

**Cuadro 6.** Contenido de Na y Cl soluble y total del guano de pavo estabilizado, fresco y de cabra.

| Tipo de Guano     | Sodio soluble | Sodio total | Cloruro soluble | Cloruro total | Materia orgánica |
|-------------------|---------------|-------------|-----------------|---------------|------------------|
|                   |               |             |                 |               | %                |
| ppm               |               |             |                 |               |                  |
| Pavo Estabilizado | 586           | 1.700       | 2.297           | 8.450         | 52,1             |
| Cabra             | 160           | 2.200       | 3.111           | 8.300         | 51,6             |
| Pavo fresco       | -             | 2.700       | -               | 6.800         | -                |

#### 4.1.5. Manejo de materias orgánicas

En un predio siempre existen fuentes de materia orgánica, que deben manejarse para ser bien aprovechadas. Los residuos de cosechas si no son incorporados al suelo, deben compostarse durante unos 90 a 120 días, en ningún caso deben quemarse. Este proceso consiste en apilar el material, regarlo y moverlo para facilitar su descomposición parcial. En el caso de los orujos y



alperujos, esto favorece la eliminación de restos de alcohol y aceites que pueden ser negativos para la biología del suelo.

#### **4.1.5.1. Época de aplicación**

La época más recomendable para aplicarlo, es el receso de las plantas, es decir en invierno, incorporado al suelo con rastrajes.

#### **4.1.5.2. Forma de aplicación**

El guano si es compostado se puede aplicar con menos anticipación, si es fresco se debe aplicar 1 o 2 meses antes de la siembra.

#### **4.1.6. Ácido Sulfúrico o sulfuroso**

La inyección de ácido sulfúrico permite la acidificación del agua de riego, esto puede lograrse mediante la aplicación directa de ácido sulfuroso y/o sulfúrico al agua de riego. Esta práctica se debe realizar considerando el uso de equipos de inyección con ajuste de pH, es decir, se puede aplicar agua acidulada a un pH previamente determinado. Esta práctica es muy recomendable en suelos que presenten carbonato de calcio o en aguas ricas en bicarbonato.

#### **4.1.7. Salinidad de los Suelos**

Por sus características agroclimáticas, de escasa precipitación durante el año, los suelos de la región no están expuestos a un lavado natural como ocurre desde Aconcagua hacia el sur. Esto genera acumulación de sales aportadas por el agua de riego, que en muchos casos produce aumento de la salinidad de los suelos, especialmente cuando el drenaje es imperfecto. Sales como bicarbonato y otros iones como cloruros, sulfatos y sodio aportados por el agua de riego o los fertilizantes incrementan sostenidamente la salinidad del suelo. El riego con aguas de pozo salinas aumentan de manera importante la salinidad. Esta situación es común en los suelos del área de Pan de Azúcar y Tambillos que se riegan con aguas de pozos salinas.

#### **4.1.8. Reacción o pH del suelo**

El pH o reacción química del suelo corresponde a la concentración de oxidrilos (OH) e hidrógenos (H+) presentes en la solución del suelo. Cuando la concentración de ambos elementos es igual, el pH de la solución es neutro o lo que es lo mismo, pH 7.0. Cuando se incrementa la concentración de hidrógenos en la solución el pH se hace ligeramente ácido. La mejor reacción del suelo para el cultivo de papa corresponde a valores ligeramente superiores a 6.0, (Finck 1982). En este rango de pH se produce la mejor disponibilidad de elementos nutritivos para ser absorbidos por las raíces de las plantas. El pH natural de estos suelos es moderadamente alcalino, 7,5 a 7,8.

Además, presentan niveles muy variables de calcita, pero en algunos casos pueden contener carbonatos en niveles moderadamente altos.



Estos niveles de pH son muy poco adecuados para el cultivo de la papa. Además, el continuo aporte de bicarbonato por el agua de riego, incrementa a través del tiempo la reacción del suelo por efecto de nuevas relaciones de equilibrio químico que se establecen entre los diferentes elementos en el suelo. El aumento de pH del suelo es un proceso que se verifica lenta pero sostenidamente, este fenómeno se agudiza en suelos con mal drenaje.

Sin embargo, las diferentes especies de plantas presentan diferentes requerimientos de pH en el suelo. Por ejemplo, entre las especies que requieren de pH ácido, destacan el arándano, la azalea, la frutilla, el palto, la papa. Entre las especies que prefieren pH más bien neutro a ligeramente alcalino destacan la alfalfa, el olivo, la remolacha, y betarraga. La gran mayoría de los cultivos prefieren un pH que varía entre 6,0 y 7,0. Como se señaló anteriormente, muchos suelos de la región presentan valores superiores a 7,5 alcanzando valores en algunos casos superiores a 8,0. Esto indicaría que la acidificación del agua de riego puede ser una práctica interesante de implementar, especialmente en los sistemas de riego presurizado. Cabe señalar que la acidulación del agua de riego no debe alcanzar niveles inferiores a 6,0. Acidulaciones excesivas del agua de riego, pueden producir en el corto plazo de un cultivo, 2 a 3 meses, desde una muerte de raíces hasta una intoxicación por manganeso (Mn), por excesiva absorción de este elemento.

La cantidad de ácido a agregar para modificar el pH depende del tipo de ácido y del tipo de agua que se use. Por ejemplo, el agua de los ríos Elqui, Limarí o Choapa requieren de distintas cantidades de ácido para alcanzar un mismo valor de pH.

El alto pH de los suelos es un factor que afecta una óptima nutrición del cultivo de la papa en los suelos de la zona. La papa es una especie acidófila, es decir requiere idealmente una reacción del suelo menor de 7,0 para lograr un alto rendimiento.

Toda esta situación afecta una adecuada nutrición de las plantas con elementos como fósforo, hierro, cinc y boro principalmente. Este efecto es particularmente importante en siembras de invierno, debido a la menor temperatura del suelo, lo que disminuye fuertemente la disponibilidad de estos nutrientes en la solución suelo.



## Capítulo 5

### Características del cultivo de la papa

La papa (*Solanum tuberosum*) es una especie ampliamente cultivada en las cercanías de La Serena. A diferencia de la zona sur, en el área de La Serena y Coquimbo la papa se cultiva durante todo el año, pero el cultivo económicamente más importante para los agricultores es la plantación de otoño, para cosechar a fines de invierno y primavera.

Es un cultivo de alta respuesta a la aplicación de fertilizantes debido a sus características de baja densidad radicular, no más de 1,7 cm/cm<sup>3</sup>, (Cuadro 7) mientras que la alfalfa puede alcanzar los 10 cm/cm<sup>3</sup>. Además, las pobres condiciones físicas del suelo determinan que el cultivo responda de manera importante a dosis moderadamente altas de fertilizantes, especialmente nitrógeno y potasio, (Finck, 1982).

La papa es una especie de cultivo de crecimiento rápido, aún cuando existen variedades de más lento desarrollo. 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 140 días, siendo frecuente un ciclo de 120 días. Esta característica determina que el cultivo requiere un adecuado suministro de nutrientes en los primeros 45 días post emergencia de las plantas.

**Cuadro 7.** Densidad radicular (Dr) de algunos grupos de cultivos.

| Cultivo         | Densidad radicular (cm/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|--|
| Cereales        | 4—5                                      |
| Maíz            | 3—4                                      |
| Remolacha, raps | 2—3                                      |
| Papa            | 1—2                                      |

Fuente: Rodríguez S. J. 1990

#### 5.1. 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, 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 ésta cubierta vegetal será responsable del posterior llenado de los tubérculos. Una biomasa vegetal aérea poco vigorosa, determina generalmente un rendimiento escaso.

El cultivo de papa presenta un alto índice de cosecha, cercano al 75%, siendo una de las especies con mayor índice si se compara con raps, frejoles, maíz y trigo. Esta relación presenta cierta estabilidad, 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.



## 5.2. Estados de desarrollo del Cultivo de papa de primavera

|                       |      |                          |
|-----------------------|------|--------------------------|
| Estado de Crecimiento | I.   | Plantación a Emergencia  |
|                       | II.  | Crecimiento Vegetativo   |
|                       | III. | Inicio de tuberización   |
|                       | IV.  | Llenado de tubérculos    |
|                       | V.   | Maduración de tubérculos |

### 5.2.1. Primer Estado de Crecimiento. Plantación a Emergencia

La plantación con máquina debe ser lenta, no más de 4 km/h, considerando una profundidad efectiva final entre 10 y 15 cm, la cual a su vez dependerá del calibre del tubérculo, semillas mayores de 65 mm pueden plantarse mas profundo y viceversa. Tubérculos de mayor calibre son recomendables de usar en siembras de otoño debido a que presentan más reserva y por lo tanto permiten un mejor establecimiento en suelos franco arcillosos.

Este período 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 de preemergencia para evitar la competencia con el crecimiento del cultivo y así favorecer la rápida emergencia de los tallos, porque son menos susceptibles a *Rizoctonia* cuando se ha formado tejido verde (Kunkel y Thorton, 1986). El contenido de humedad a la siembra dependerá del grado de brotación del tubérculo. Semillas con buen tiempo de receso y bien pre-brotadas se recomienda plantarlas con suelo húmedo, mientras que semillas que no presenten esta condición se sugiere sembrarlas con suelo seco, esto permite que los tubérculos incrementen su temperatura y de esta forma aceleren su brotación y uniformidad de emergencia. Esta práctica es común entre los productores y se denomina “abrigar” la papa. En la zona de La Serena se pueden distinguir tres tipos de plantación, de fines de verano, de fines de invierno y de primavera.

### 5.2.2 Segundo Estado de Crecimiento. 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 la absorción de nutrientes y en esta fase se produce la máxima absorción de N-P-K. 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 45 días después de la emergencia. 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 15 a 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 mantenerse protegido de plagas y enfermedades, para evitar una mayor propagación posterior. A finales de este período en algunas variedades se inicia la tuberización.

La etapa de crecimiento vegetativo en las siembras de fines de verano se caracteriza por ser corta debido al mayor régimen térmico del suelo y de la atmósfera.



### 5.2.3. Tercer Estado de Crecimiento. 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 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 enviar los pecíolos al laboratorio para su análisis. El resultado del análisis de pecíolos puede sugerir la aplicación de micronutrientes o nitrógeno vía foliar.

### 5.2.4. Cuarto Estado de Crecimiento. Llenado de tubérculos

Después de terminado el proceso de tuberización, se inicia el llenado de los tubérculos. Este 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, y potasio. En esta etapa la mayor parte de todos los nutrientes ya absorbidos se translocan hacia los tubérculos. Un déficit hídrico en este período puede inducir una senescencia temprana de las plantas.

### 5.2.5. Quinto Estado de Crecimiento. 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.

En la Figura 8 se muestra la fenología del cv Patagonia, creciendo en Pan de Azúcar, en plantación establecida a principios de Septiembre.



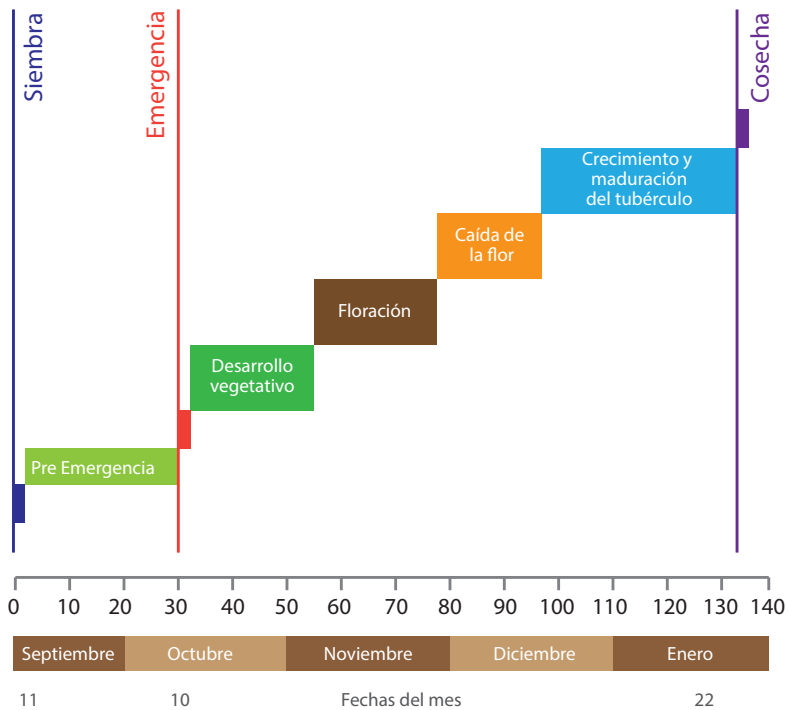


Figura 8. Fenología del cultivo de la papa cv. Patagonia en parcela Experimental INIA Pan de Azúcar Región de Coquimbo, temporada 2012-2013.



## Capítulo 6

### Manejo Agronómico del cultivo

#### 6.1. Variedades de papa

En la actualidad las variedades de papa más plantadas son: Asteric, Sinfonía, Rodeo, Karú, además está ingresando al mercado Patagonia-INIA cv que presenta bastante tolerancia a tizón tardío; la variedad Cardinal está en retirada, debido a que es un cultivar muy sensible a tizón tardío, y de mala calidad culinaria, aun cuando presenta un buen comportamiento de crecimiento invernal. Otras variedades de uso industrial son Atlantic, Kennebec, Norchip, Russet Burbank, Schepody y Yagana variedades de pulpa y piel amarilla y/o blanca usadas para la industria de chips, precocidas y prefritas en bastones.

En relación a la oferta de variedades, en la actualidad Cardinal es un cultivar con menor potencial que en el pasado, porque al parecer habría perdido su resistencia a nemátodos e incluso a tizón, cabe señalar que esta información corresponde a observaciones de técnicos y agricultores. Sin embargo, la poca información experimental de terreno corrobora lo señalado, normalmente la variedad Cardinal presenta un bajo rendimiento en relación a otros cultivares como Karú, Asterix, Rodeo, Sinfonía, y Desireé plantada en primavera.

Los cultivares de papa más recomendados para esta zona serían aquellos resistentes a nemátodos, tizón tardío y carbón de la papa. Se debería seleccionar materiales genéticos más adaptados a condiciones de día corto, con baja radiación y baja temperatura. Con sistemas radiculares agresivos que permitan explorar los suelos sin estructura y pobres en materia orgánica de la región. Además, estos nuevos cultivares deben ser tolerantes a pH neutro a moderadamente alcalino.



Foto 1 Yagana INIA y Ona INIA, ambas variedades para agroindustria y consumo fresco.

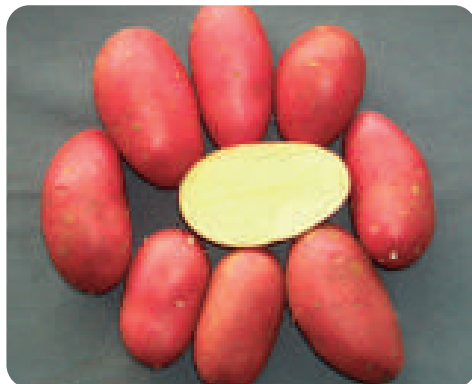


Foto 2 Pukará INIA y Karú INIA, variedades para papa temprana, consumo fresco.

## 6.2. Calidad de semilla

La calidad de semilla es un factor esencial para lograr altos rendimientos (Rojas y Orena, 2006). Debe considerar su estado de madurez fisiológica, calidad en cuanto a su estado sanitario, libre de virosis y enfermedades de bodega, entre estas últimas, Rizoctonia y Erwinia. Plantas libres de virus y enfermedades de bodega son aspectos que se logran superar al traer semilla de buena calidad de la zona sur. Sin embargo, la semilla del sur está disponible para los productores en Julio-Agosto, lo que implica su cultivo en Septiembre y Octubre, es decir la papa semilla es multiplicada por el productor en la primavera para preparar su semilla-hija para la siembra del próximo invierno. La papa-semilla que logra llegar de la zona sur en Febrero o Marzo no tiene el tiempo de receso requerido para iniciar una óptima brotación, después de plantada. Por lo tanto, la calidad fisiológica del tubérculo es un aspecto importante a considerar. En general el tiempo de receso requerido por la papa entre cosecha y siembra es de tres meses, aun cuando esto depende de la variedad. Idealmente la semilla recién cosechada en el sur debería llegar a la zona en Diciembre o Enero, para de esta forma plantar en Marzo o Abril. Esto se puede lograr con semilla cosechada tempranamente en la zona sur.

La mejor calidad de semilla se logra con papa semilla certificada proveniente de las zonas autorizadas para producir semilla, la parte sur de la Novena y la Décima Región. La semilla hija sembrada disminuye su rendimiento en un 20 %, por lo tanto la semilla nieta no es recomendable sembrarla, debido a que su rendimiento puede ser bastante bajo, debido a infecciones de virus transmitidas por pulgones, (Larraín, 2003). Al respecto INIA-INTIHUASI realizó algunos experimentos donde se demostró la disminución de rendimiento al comparar la siembra de semilla-certificada proveniente del sur y semilla-hija.

En el Cuadro 8 se muestra el nivel de fertilidad del suelo, en el sitio donde se realizaron ensayos de variedades de papa en los años 1996 y 1997. En los dos años se evaluaron siete y ocho cultivares de papa, de calidad certificada y controlada del sur en el caso de Cardinal y Rosara.



En el cuadro 9 se presenta el rendimiento de ocho cultivares de papa y dos calidades de semilla. Entre las variedades con mayor rendimiento destaca Pukará, seguida de Desireé y Yagana. En cuarto lugar se ubica Cardinal con un rendimiento de 31,27 ton/ha, no obstante este material corresponde a semilla controlada del sur. Las variedades Atlantic y Ona no superaron las 30 ton/ha de rendimiento. En promedio las variedades certificadas incluyendo Cardinal alcanzaron a 31,76 ton/ha. En el caso de las semillas hija de certificada, todos los rendimientos decrecen, a excepción de Ona que mantiene su bajo rendimiento similar el obtenido con semilla certificada.

La disminución de rendimiento varió entre 0 y 30 % para Ona, la disminución de rendimiento entre semilla certificada e hija de certificada es de un 21,2 %, considerando en este promedio la variedad Cardinal que presenta una calidad original menor. Esto significa en promedio 6,46 ton/ha de rendimiento menor al sembrar semilla hija.

**Cuadro 8.** Nivel de fertilidad inicial del suelo, de sitios con experimentos de papa. Centro Experimental Pan de Azúcar, temporadas 1996 y 1997.

| Ensayo Variedades | pH  | C.E   | M.O | N     | P  | K   | Ca            | Mg  | Na   |
|-------------------|-----|-------|-----|-------|----|-----|---------------|-----|------|
|                   |     | dS/cm | %   | mg/kg |    |     | meq / 100 grs |     |      |
| 1996              | 7,5 | 2,4   | 1,2 | 36    | 18 | 201 | 7,8           | 1,9 | 0,92 |
| 1997              | 7,0 | 2,6   | 1,3 | 38    | 15 | 194 | -             | -   | -    |

**Cuadro 9.** Rendimiento de ocho cultivares de papa y dos calidades de semilla, certificada e hija de certificada, Parcela Experimental Pan de Azúcar, 1996.

| Variedades | Semilla Certificada | Semilla Hija de Certificada | Variación | Disminución de Rendimiento |
|------------|---------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------|
|            | Ton/ha              |                             |           | %                          |
| Pukará     | 39,22               | 31,10                       | -8,12     | -20,7                      |
| Desireé    | 35,00               | 29,55                       | -5,45     | -15,6                      |
| Yagana     | 32,54               | 22,86                       | -9,68     | -29,7                      |
| Cardinal   | 31,27*              | 24,44**                     | -6,83     | -21,8                      |
| Atlantic   | 28,21               | 23,13                       | -5,08     | -18,0                      |
| Ona        | 24,31               | 24,98                       | 0,00      | 3,0                        |
| Romano     | -                   | 21,09                       | -         | -                          |
| Rosara     | -                   | 19,42**                     | -         | -                          |
| Promedio   | 31,76               | 25,30                       | 6,46      | -21,2                      |

\*= Controlada del sur\*\*= Hija de controlada del sur.



**Cuadro 10.** Rendimiento total y calibre de tubérculos, de siete variedades de papa, de calidad de semilla certificada e hija de certificada, temporada 1996.

| Tratamientos | Calidad de semilla | Broza  | Semilla | Consumo | Total   |
|--------------|--------------------|--------|---------|---------|---------|
|              |                    | Ton/ha |         |         |         |
| Cardinal     | Controlada         | 0.46   | 11.60   | 19.24   | 31.3 ab |
| Cardinal     | Hija controlada    | 0.73   | 12.40   | 11.25   | 24.4 ab |
| Pukará       | Certificada        | 0.50   | 10.40   | 28.30   | 39.2 a  |
| Pukará       | Hija Cert          | 0.20   | 8.10    | 22.80   | 31.1 ab |
| Ona          | Certificada        | 0.24   | 11.40   | 12.62   | 24.3 ab |
| Ona          | Hija Cert          | 0.30   | 12.90   | 11.77   | 25.0 b  |
| Yagana       | Certificada        | 0.42   | 16.80   | 15.47   | 32.7 ab |
| Yagana       | Hija Cert          | 0.44   | 14.30   | 8.04    | 22.8 ab |
| Rosara       | Controlada         | 0.31   | 10.50   | 8.65    | 19.5 ab |
| Rosara       | Hija controlada    | 0.16   | 6.60    | 14.34   | 21.1 b  |
| Desireé      | Certificada        | 0.41   | 10.20   | 24.43   | 35.0 ab |
| Desireé      | Hija Cert          | 0.35   | 9.70    | 19.47   | 29.5 ab |
| Atlantic     | Certificada        | 0.39   | 8.30    | 19.40   | 28.1 ab |
| Atlantic     | Hija Cert          | 0.50   | 7.50    | 15.09   | 23.1 ab |

Cardinal y Rosara: Semilla controlada del sur e hija.

**Cuadro 11.** Concentración de nutrientes en peciolo de seis variedades de papa. Centro Experimental Pan de Azúcar (1996).

| Variedades | N-NO <sub>3</sub> | P    | K   | Ca  | Mg  | Mn  | Zn | Cu |
|------------|-------------------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|
|            | ppm               | %    |     |     |     | ppm |    |    |
| Pukará     | 985               | 0,18 | 8,5 | 2,5 | 1,1 | 222 | 72 | 12 |
| Desireé    | 950               | 0,21 | 8,1 | 2,2 | 0,9 | 215 | 46 | 12 |
| Yagana     | 1.130             | 0,20 | 8,6 | 2,2 | 0,8 | 217 | 70 | 12 |
| Cardinal   | 1.330             | 0,20 | 9,7 | 2,0 | 0,8 | 332 | 40 | 12 |
| Atlantic   | 665               | 0,21 | 9,8 | 1,3 | 0,8 | 257 | 78 | 10 |
| Ona        | 965               | 0,14 | 8,8 | 2,4 | 1,0 | 337 | 73 | 15 |

En el Cuadro 12 se presentan los rendimientos de siete cultivares de papa plantados en la temporada 1997, los rendimientos de la semilla hija disminuyen significativamente, hasta un promedio de 17,3 ton/ha, mientras que la semilla "nieta" no disminuye de manera importante su rendimiento.



**Cuadro 12.** Rendimiento de siete cultivares de papa y dos calidades de semilla, hija de certificada y nieta de certificada, Parcela Experimental Pan de Azúcar, 1997.

| Variedades | Semilla Hija certificada | Semilla nieta | Variación | Disminución de Rendimiento |
|------------|--------------------------|---------------|-----------|----------------------------|
|            | Ton/ha                   |               |           | %                          |
| Pukará     | 17,1                     | 16,9          | - 0,2     | -1,2                       |
| Desireé    | 29,4                     | 25,4          | - 4,0     | -13,6                      |
| Yagana     | 13,1                     | 14,3          | + 1,2     | + 9,2                      |
| Cardinal   | 8,1                      | 9,2           | +1,1      | +13,6                      |
| Atlantic   | 16,7                     | 12,3          | - 4,4     | -26,3                      |
| Ona        | 19,6                     | 14,6          | - 5,0     | -25,5                      |
| Rosara     | 17,0                     | 19,3          | + 2,3     | 13,5                       |
| Promedio   | 17,3                     | 16,0          |           |                            |

**Cuadro 13.** Rendimiento según calibre y calidad de semilla de siete variedades de papa, temporada 1997.

| Tratamientos | Calidad semilla | Broza  | Semilla   | Consumo  | Total      |
|--------------|-----------------|--------|-----------|----------|------------|
|              |                 | Ton/ha |           |          |            |
| Cardinal     | Hija Contr      | 0.52 a | 5.80 de   | 1.76 e   | 8.08 e     |
| Cardinal     | Nieta contr     | 0.69 a | 5.97 de   | 2.51 cde | 9.16 de    |
| Pukará       | Hija Cert       | 0.28 a | 9.54 bcd  | 7.28 bc  | 17.09 bcde |
| Pukará       | Nieta           | 0.49 a | 9.34 cde  | 7.10 bc  | 16.92 bcde |
| Ona          | Hija Cert       | 0.61 a | 11.54 abc | 7.43 bc  | 19.58 abc  |
| Ona          | Nieta           | 0.60 a | 9.43 bcde | 4.54 cd  | 14.57 cde  |
| Yagana       | Nieta           | 0.49 a | 8.78 cde  | 3.82 d   | 13.08 cde  |
| Yagana       | Nieta Cert      | 0.43 a | 9.82 bcd  | 4.05 d   | 14.29 cde  |
| Rosara       | Hija contr      | 0.54 a | 8.56 cde  | 7.88 bc  | 16.98 bcde |
| Rosara       | Nieta contr     | 0.42 a | 8.67 cde  | 10.26 ab | 19.35 abcd |
| Desireé      | Hija Cert       | 0.63 a | 15.85 a   | 12.95 a  | 29.43 a    |
| Desireé      | Nieta           | 0.66 a | 14.68 ab  | 10.02 ab | 25.36 ab   |
| Atlantic     | Hija Cert       | 0.20 a | 6.07 de   | 10.46 ab | 16.74 bcde |
| Atlantic     | Nieta           | 0.36 a | 4.13 e    | 7.83 bc  | 12.32 cde  |

Cardinal y Rosara: semillas hijas y nieta de controlada del sur.



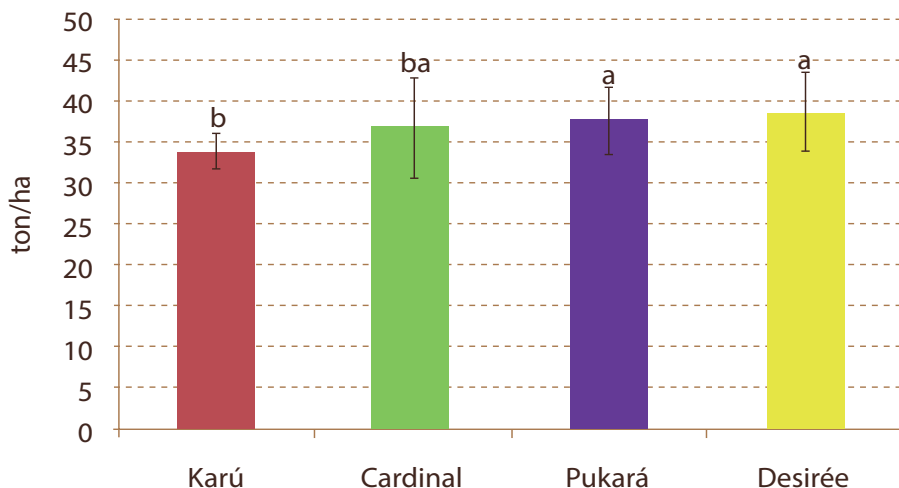


Foto 3 Semillero de papa variedad Desireé, Sub Estación Experimental La Pampa, INIA-Osorno.

### **6.3.1. Resultado de Ensayo de cuatro variedades de papa en la Parcela Experimental Pan de Azúcar Año 2004**

En la Figura 9 se muestra la comparación de rendimiento comercial obtenido por cuatro cultivares de papa, evaluados en el campo experimental de INIA en Pan de Azúcar, en ensayo plantado en Septiembre del año 2004, regado por surco. Las variedades Desireé y Pukará presentan los rendimientos más altos, cabe destacar que Desireé normalmente presenta un muy buen rendimiento en siembras de primavera, pero no así en siembras de otoño.





Letras distintas en una misma columna y factor, indican diferencia estadística significativa ( $p < 0,01$ ) según test de Duncan.

**Figura 9.** Rendimiento comercial de cuatro cultivares de papa, en la Parcela Experimental Pan de Azúcar, Año 2004.

### 6.3.2. Resultados de Ensayo de cinco variedades de papa en la Parcela Experimental Pan de Azúcar Año 2005

En el Cuadro 14 se aprecia el resultado del rendimiento por calibre de cinco cultivares de papa, en experimento realizado en la Parcela Experimental Pan de Azúcar, regado por surco. Los rendimientos alcanzados fueron moderadamente altos variando entre 30,43 y 46,9 ton/ha. Cabe señalar que el experimento se estableció a fines de Septiembre, eso explica el buen rendimiento total de los cultivares. Destacan por su mayor rendimiento Desirée y Pukará. La variedad con tubérculos de mayor calibre correspondió a Asterix. Como ya fue señalado, el cultivar Desirée presenta buen rendimiento plantada en primavera, pero en siembras de invierno no tiene buen comportamiento.



**Cuadro 14.** Rendimiento de tubérculos de cinco variedades de papa, según calibres cosechados, Parcela Experimental Pan de Azúcar, 2005.

| Variedades | Consumo | Semillón | Semilla | Semillita | Desecho | Total   |
|------------|---------|----------|---------|-----------|---------|---------|
|            | ton /ha |          |         |           |         |         |
| Cardinal   | 5,51    | 16,46    | 3,15    | 2,31      | 3,0     | 30.43 a |
| Asterix    | 9,83    | 19,90    | 7,56    | 3,65      | 0,0     | 40.94 b |
| Desireé    | 9,06    | 17,90    | 10,87   | 5,07      | 4,0     | 46.90 c |
| Pukará     | 8,46    | 16,50    | 12,79   | 3,96      | 2,0     | 43.71 b |
| Karú       | 6,13    | 15,35    | 13,68   | 3,73      | 3,0     | 41.89 b |

#### 6.4. Pre-brotación de tubérculos

Para alcanzar altos rendimientos en papa se debe lograr una adecuada brotación previa a la siembra de los tubérculos, para de esta forma obtener varios tallos por tubérculo-semilla. A mayor número de tallos emergidos mayor rendimiento del cultivo. Una pre-brotación homogénea de los tubérculos se logra mediante el manejo de la semilla en bodegas con luz difusa y dispuestas en repisas de modo de evitar el sombreamiento de la semilla. La luz difusa se logra modificando el techo de la bodega, instalando planchas de techo transparente para facilitar la iluminación parcial de la bodega. Esto favorece una brotación pareja de brotes verdes y cortos. Todo esto determina una emergencia pareja del cultivo de papa.

Los productores de la zona solucionan este problema de brotación, plantando en otoño en suelo con escasa humedad, regando 15 a 20 días después de la plantación, esta práctica la denominan “abrigar” la papa. En primavera se debe plantar sin previo riego y luego regar 10 a 15 días después. Esto favorece la brotación en el suelo y después del primer riego el cultivo emerge rápido y uniforme.



Foto 4 Bodega de papa en la zona sur de Chile

## 6.5. Rotación de cultivos

La rotación corresponde a una secuencia de cultivos que se repite en el tiempo, por ejemplo: papa – trigo – avena – pradera. La rotación con diversos cultivos permite mantener un mejor equilibrio biológico en el suelo. El monocultivo en el caso de la papa es muy negativo, pues deprime el rendimiento rápidamente debido a que proliferan poblaciones de nemátodos y enfermedades del suelo.

El cultivo no tolera bien el monocultivo, se sugiere intercalar por lo menos dos cultivos entre cada cultivo de papa, evitando que éstos no sean especies solanáceas como, tomate, pimiento morrón o pepino dulce. Pre-cultivos adecuados para rotar con papa son trigo, cebada, avena, maíz, lechuga, apio, zanahoria, repollo, coliflor, brócoli considerando siempre al cultivo de papa como cabecera de rotación.

## 6.6. Preparación de suelo

La preparación del suelo para el cultivo de papa debe ser bien acabada, logrando un terrón fino, lo que significa tierra bien mullida, hasta una profundidad de 40 cm. Si el suelo presenta textura fina es decir es arcilloso o franco arcilloso y además presenta una estrata endurecida se debe subsolar, para favorecer el movimiento del agua en el perfil del suelo. Esta labor se debe practicar con poca humedad para favorecer el resquebrajamiento del suelo. Este aspecto es muy importante en el caso de plantaciones de otoño, ya que en el caso de lluvias excesivas de invierno, el suelo puede drenar fácilmente, evitando la saturación de éste por muchos días. Además, en plantaciones de otoño se debe melgar considerando una mayor pendiente de los surcos, para favorecer el drenaje más rápido del suelo, en caso que el invierno sea muy lluvioso.

Una adecuada labranza permite mullir el suelo para de esta forma favorecer una emergencia uniforme y un buen establecimiento de las plantas. El número de labores dependerá del cultivo anterior. Suelos manejados bajo praderas se deben rastrear 2 o 3 veces, dejar secar y luego voltear el suelo con arado y luego rastrear nuevamente dos veces. Estas labores se deben realizar uno o dos meses antes de la siembra, sin embargo esto depende del tipo de residuo del cultivo anterior. En caso de paja de cereales incorporar con anticipación previo al establecimiento del cultivo, debido a que se producirá inmovilización de nitrógeno, por efecto de descomposición de la paja. Residuos de lechuga o apio son más rápidos en descomponerse, por lo tanto se pueden incorporar pocos días antes del siguiente cultivo. El laboreo se debe practicar en suelos con humedad cercana a capacidad de campo, esto disminuye la formación de terrones.

## 6.7. Plantación

La plantación con máquina sembradora debe hacerse a baja velocidad no más de 4 km/h, especialmente en suelos con mucha pedregosidad o mal preparados. A mayor velocidad, la máquina plantadora no trabaja bien, estableciendo siembras con hileras incompletas de tubérculos semilla, esto es importante de considerar al plantar con máquinas automáticas. Otro aspecto importante de considerar, al sembrar con plantadora es la homogeneidad del calibre de la semilla, es muy recomendable usar tubérculos previamente calibrados. Este aspecto es muy importante en máquinas semiautomáticas, el personal que va alimentando los capachos deben estar muy atentos, para evitar la falta de semillas en la hilera.



### 6.7.1. Plantación de Fines de verano y otoño

Esta plantación es la más común en la zona de La Serena, se realiza desde Febrero hasta Abril. Es un cultivo de alto riesgo por heladas especialmente las plantaciones de Abril, corresponde a un cultivo forzado, creciendo bajo condiciones de baja temperatura, día corto, baja radiación, esta situación es más crítica mientras más tardía sea la fecha de plantación. Normalmente se realiza con semilla hija de certificada o controlada del sur. Para siembras de Febrero o Marzo se sugiere aplicar la fertilización base al voleo incorporada previa a la plantación, para evitar daño por salinidad al localizar la mezcla fertilizante cercana al tubérculo semilla. En esta época de plantación los rendimientos alcanzados son más altos que aquellas plantaciones realizadas en Abril o Mayo, debido a las adversas condiciones climáticas del invierno. En estas plantaciones más tardías se recomienda incrementar la fertilización base y esta puede localizarse, ya que el efecto salino en la época fría de invierno es menos restrictivo para el cultivo.

El cultivo creciendo en invierno es el más importante desde el punto de vista comercial para el productor de papa. Éste se caracteriza porque, se practica en condiciones de día corto, con baja radiación, bajos umbrales térmicos y con riesgos de heladas. Es decir, el cultivo está expuesto a condiciones ambientales muy poco favorables. Sin embargo, bajo condiciones de día corto el cultivo de papa tiende a tuberizar rápidamente, además en estas condiciones el cultivo no florece.

### 6.7.2. Plantación de fines de Invierno

Ésta se establece normalmente entre mediados de Agosto y fines de Septiembre. Se realiza normalmente con semilla controlada o certificada del sur, bajo estas circunstancias el cultivo presenta muy buenas condiciones para su crecimiento, y se pueden alcanzar altos rendimientos, esta siembra le permite al productor, multiplicar su semilla traída del sur. En estas plantaciones tempranas se recomienda aplicar una fertilización base normal, la cual puede localizarse en banda cercana a la semilla, el suelo y el ambiente frío de fines del invierno, permite realizar esta práctica.

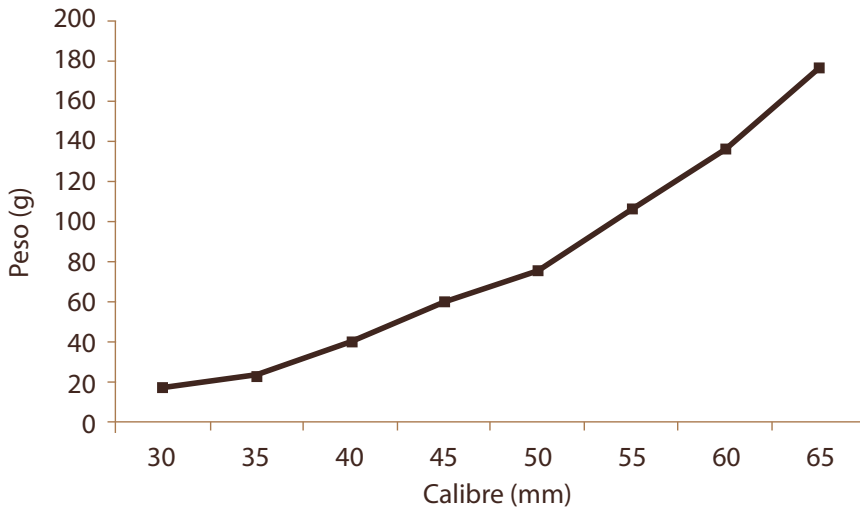
### 6.8. Población de plantas

La población de plantas depende del calibre de tubérculos: a mayor calibre se deben plantar menos tubérculos y viceversa. Normalmente se modifica la distancia sobre la hilera de plantación, mas que la distancia entre hilera, generalmente 0,75 m. Las poblaciones más frecuentes usadas son entre 45 mil y 50 mil plantas por ha. En el Cuadro 15 se muestran las poblaciones de tubérculos considerando diferentes distancias entre y sobre hilera de plantación, éstas pueden variar desde 35,7 hasta 79,3 mil plantas/ha. En la Figura 10 se muestra la relación entre el calibre y el peso de tubérculos de papa, variedad Desireé. Tubérculos de 45 mm pesan 60 gramos aproximadamente, a partir de la Figura 10 y del Cuadro 15 se pueden estimar las cantidades de semilla requerida.



**Cuadro 15.** Poblaciones de plantas de papa según diferente distancia entre y sobre hilera de plantación.

| Distancia sobre hilera<br>cm | Distancia entre hilera<br>metros |        |        |
|------------------------------|----------------------------------|--------|--------|
|                              | 0,70                             | 0,75   | 0,80   |
|                              | Número de tubérculos/ha          |        |        |
| 18                           | 79.365                           | 74.072 | 69.444 |
| 20                           | 71.429                           | 66.665 | 62.500 |
| 22                           | 64.934                           | 60.604 | 56.819 |
| 25                           | 57.143                           | 53.333 | 50.000 |
| 27                           | 52.910                           | 49.381 | 46.296 |
| 30                           | 47.619                           | 44.443 | 41.667 |
| 32                           | 44.643                           | 41.666 | 39.063 |
| 35                           | 40.816                           | 38.094 | 35.714 |



(Grandón y Rojas 1976).

**Figura 10.** Relación entre el calibre (mm) y el peso (g) de tubérculos de papa, variedad Desireé.



**Cuadro 16.** Requerimiento de semilla para diferentes densidades de plantación y calibres en cv Desireé, qqm/ha.

| Densidad            | Semillita |       | Semilla |      |      | Semillón |       |       |  |
|---------------------|-----------|-------|---------|------|------|----------|-------|-------|--|
|                     | mm        |       |         |      |      |          |       |       |  |
| Miles de plantas/ha | 30        | 35    | 40      | 45   | 50   | 55       | 60    | 65    |  |
| 30                  | 5,1       | 6,9   | 12,6    | 18,0 | 22,8 | 31,8     | 40,8  | 52,8  |  |
| 35                  | 5,95      | 8,05  | 14,7    | 21,0 | 26,6 | 37,1     | 47,6  | 61,6  |  |
| 40                  | 6,8       | 9,2   | 16,8    | 24,0 | 30,4 | 42,4     | 54,4  | 70,4  |  |
| 45                  | 7,65      | 10,35 | 18,9    | 27,0 | 34,2 | 47,7     | 61,2  | 79,2  |  |
| 50                  | 8,5       | 11,5  | 21,0    | 30,0 | 38,0 | 53,0     | 68,0  | 88,0  |  |
| 55                  | 9,35      | 12,65 | 23,1    | 33,0 | 41,8 | 58,3     | 74,8  | 96,8  |  |
| 60                  | 10,2      | 13,8  | 25,2    | 36,0 | 45,6 | 63,6     | 81,6  | 105,6 |  |
| 65                  | 11,05     | 14,95 | 27,3    | 39,0 | 49,4 | 68,9     | 88,4  | 114,4 |  |
| 70                  | 11,9      | 16,1  | 29,4    | 42,0 | 53,2 | 74,2     | 95,2  | 123,2 |  |
| 75                  | 12,75     | 17,25 | 31,5    | 45,0 | 57,0 | 79,5     | 102,0 | 132,0 |  |
| 80                  | 13,6      | 18,4  | 33,6    | 48,0 | 60,8 | 84,8     | 108,8 | 140,8 |  |

Nota: Información generada por el Programa de papa INIA Remehue (1980).

## 6.9. Nemátodos

Los nemátodos son transportados por el agua, a través de los canales de riego y proliferan mejor en suelos de textura gruesa y francos. Aspecto de gran relevancia en los suelos de la región de Coquimbo, especialmente importante es el nemátodo dorado, especie específica que parasita la papa (*Globodera rostochiensis*), principal nemátodo del cultivo a nivel mundial y regional. El ciclo biológico está extremadamente sincronizado con el cultivo de papa. Las temperaturas óptimas para su ciclo están entre 15 a 25 °C, completando su ciclo en 40 a 50 días. Cada hembra deposita sobre 400 huevos que solo eclosionarán en presencia de exudados radiculares de papa. Los huevos pueden permanecer viables por 20 años. La reducción de rendimiento puede alcanzar a 140 Kg/ha huevo/g de suelo.

Otra especie de gran importancia agronómica en los suelos de la región es *Meloidogyne*, llamado nemátodo agallador, el cual puede parasitar una gran gama de cultivos, más de 2.000 especies distintas, y se caracteriza por formar nódulos en las raíces de las plantas, que semejan un rosario.

Corresponde al género de nemátodos más importante para la agricultura. Presenta un amplio rango de huéspedes. Posee un hábito endoparásito sedentario, produciendo numerosas agallas en las raíces y cuello de las plantas. Las hembras pueden depositar alrededor de 300 (250 a 400) huevos dentro de masas gelatinosas. Su ciclo dura 7 a 8 semanas siendo el rango de temperatura entre 10 a 24 °C (France, 2012), y posee gran habilidad para producir interacciones con patógenos radiculares o foliares.



Las poblaciones naturales de saprófagos que corresponden a controladores naturales de nemátodos son escasas en los suelos del norte chico, debido a la carencia de materia orgánica del suelo, esto favorece la sobrevivencia de estas plagas en las tierras. El mejor control de nemátodos consiste en la aplicación de materia orgánica, esto permite incorporar altas poblaciones de saprófagos, muchos de los cuales son controladores naturales de los nemátodos.

La materia orgánica aporta importantes cantidades de nutrientes y microorganismos que ayudan a controlar los nemátodos. Entre los organismos que controlan nemátodos se encuentran hongos, bacterias, virus, ácaros, colémbolas y nemátodos predadores. Para mantener este reservorio de microorganismos antagonistas es fundamental mantener altos niveles de materia orgánica en el suelo.

Los nematicidas químicos desarrollados son muy eficaces pero eliminan toda la microfauna del suelo, afectando incluso a los controladores naturales, además su efecto residual no supera los 5 meses. El uso de fungicidas y nematicidas ayudan a eliminar en forma rápida hongos y nemátodos de los cultivos. Sin embargo, son productos tóxicos que afectan muchos organismos, incluidos aquellos benéficos, e incluso al ser humano. Si se utilizan de forma indebida contaminan el medio ambiente y las aguas subterráneas. Por lo tanto, deben usarse con mucha precaución. Si se aplican nematicidas es muy importante posteriormente aplicar materia orgánica para repoblar el suelo de microorganismos benéficos. Además de la aplicación de materia orgánica, una forma práctica de disminuir las poblaciones es manteniendo el suelo barbechado y sin regar durante todo el verano.

Otras múltiples prácticas agronómicas son recomendadas para mantener bajas poblaciones de nemátodos. Entre estas destacan: la elección del suelo, incorporación al suelo de los rastrojos, que permite en alguna medida sanitizar el suelo, solarizado del suelo húmedo mediante plástico, mantener rotación y tipo de cultivos, usar semillas y maquinaria libre de nemátodos, preparación intensiva del suelo, adecuado manejo de la humedad del suelo, camas altas y camellones, y buen control de malezas.

Los nemátodos son especies naturalmente muy adaptadas a regiones áridas y semiáridas, por lo tanto siempre estarán presentes en los suelos del norte chico, lo importante es convivir con ellos pero con bajas poblaciones.



Foto 5 Nematodo dorado de la papa, *Globodera rostochiensis*

### 6.9.1. Ventajas de los nematicidas

- Bajan rápidamente las poblaciones de nemátodos.
- Pueden proteger la semilla y raíces del ingreso de nemátodos del suelo.
- Interfieren con la alimentación y reproducción de nemátodos.
- Aumentan los rendimientos cuando hay altas poblaciones.

### 6.9.2. Desventajas de los nematicidas

- No son selectivos.
- Son Altamente tóxicos.
- Afectan la actividad biológica del suelo.
- Contaminan el suelo y la napa freática.
- Son caros.
- Los países desarrollados no aceptan residuos de nematicidas.
- Debieran tender a desaparecer en el mediano plazo.
- Inducen aumento de poblaciones de nemátodos.

**Cuadro 17.** Ingrediente activo y nombre comercial de nematicidas comerciales actualmente en el mercado.

| Ingrediente Activo         | Modo de Acción                                      | Nombre Comercial                       |
|----------------------------|---|--|
| Aldicarb                   | Carbamato sistémico                                 | Temik                                  |
| Carbofuran                 | Carbamato sistémico                                 | Carbodan, Curaterr, Carbofuran, Furdan |
| Ethoprop                   | Fosforado de contacto                               | Mocap                                  |
| Fenamiphos                 | Fosforado sistémico                                 | Nemacur                                |
| Fosthiazato                | Fosforado sistémico                                 | Cierto                                 |
| Metam sodio                | Ditiocarbamato fumigante liquido                    | BL-1480                                |
| Oxamyl                     | Carbamato sistémico                                 | Vydate                                 |
| Terbufos                   | Fosforado sistémico                                 | Counter                                |
| Bromuro de metilo          | Halógeno fumigante                                  | Bromuro de metilo, Bromopic, Metabromo |
| Dazomet                    | Tiadiazinas fumigante                               | Basamid                                |
| Extracto de quillay        | Saponinas, taninos y polifenoles de contacto        | QL Agri 35                             |
| Myrothecium verrucaria     | Toxina fungosa de contacto                          | Di Tera                                |
| Quitosano                  | Derivado de quitina, inductor del control biológico | Biorend, Bioriego                      |
| Tetratiocarbonato de sodio | Tiocarbonato de contacto                            | Enzone                                 |

Fuente: (France A. 2012).



## 6.10. Nutrición del cultivo de la papa y su relación con la susceptibilidad a plagas y enfermedades

La mosquita minadora y la polilla, son plagas muy importantes en el área de cultivo del tubérculo, (Larraín, 2003). La papa al igual que la mayoría de las especies de plantas requiere de una nutrición balanceada para alcanzar una menor incidencia de plagas y enfermedades. Una adecuada nutrición permite a la planta generar sus propias defensas produciendo compuestos como elicitores, los cuales le permiten una mayor resistencia a plagas y enfermedades producidas por patógenos. Para lograr una óptima nutrición del cultivo no implica solamente aplicar una fertilización inorgánica balanceada, sino además se requiere mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo. Existe amplia información sobre la relación entre enfermedades fungosas de la papa y el exceso de nitrógeno en el tejido vegetal. Este efecto se explica porque el exceso de este elemento adelgaza las paredes celulares de los tejidos, facilitando la entrada de las hifas de hongos, especialmente importante puede ser el caso de oídio y *Phytophthora*. Además, al promover un gran crecimiento vegetativo, las plantas generan un dosel excesivo que afecta la ventilación de las mismas, estimulando la proliferación de estos hongos patógenos. Por otra parte, la deficiencia aguda de nitrógeno en papa puede hacer más sensible el cultivo al ataque de hongos como *Alternaria* o tizón temprano, lo cual se produce porque en las hojas basales deficientes en nitrógeno el hongo se desarrolla más fácilmente. Estudios reportan que la absorción excesiva de sodio promueve el ataque de eriófidos (ácaros), debido a la acumulación de ciertas formas de azúcares no totalmente sintetizados por la planta debido a la sustitución del K por Na, los cuales no permiten una adecuada metabolización de estos carbohidratos por parte de la planta. Por otra parte, la fertilización excesiva con nitrógeno y potasio puede inducir una deficiencia de calcio, la cual puede hacer más susceptible las plantas a enfermedades como *Erwinia* e incluso afectar la calidad de los tubérculos, promoviendo pudriciones en la etapa de almacenaje del tubérculo.

El exceso de azúcares reductores producido por dosis altas de nitrógeno ha sido ampliamente reportado en la literatura, lo que afecta la calidad de la fritura de la papa para uso industrial como chips. En general el exceso de fertilización nitrogenada es la práctica más común que genera serios problemas de producción y calidad de los tubérculos.

Desde el punto de vista de las enfermedades del suelo, el manejo histórico de éste sin incorporación de materia orgánica durante largo tiempo determina una mayor incidencia de enfermedades del suelo como *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, *Fusarium* y *Erwinia*. Este efecto se debe a que la biodiversidad biológica del suelo disminuye de manera importante. Esta menor diversidad microbiana existente, se explica por la carencia de carbono lábil, el cual es el responsable de la menor actividad biológica en el suelo de hongos, bacterias y *Actinomycetes*, muchos de los cuales son eficaces controladores de los microorganismos patógenos, como es el caso de *Trichoderma*. Suelos con altos contenidos de carbono lábil presentan una biomasa microbiana mayor y más diversificada, lo que favorece un mayor equilibrio de los microorganismos en el suelo. Esto implica un mayor biocontrol de éstos, sobre las raíces de las plantas.

En relación a los nemátodos, el principio señalado para las enfermedades del suelo es el mismo que para los nemátodos, es decir una biomasa microbiana abundante y heterogénea será capaz de mantener poblaciones bajas de nemátodos en el suelo.



Como se puede apreciar, el manejo del suelo con adecuados tenores de materia orgánica lábil puede favorecer una mejor condición sanitaria del suelo. También un manejo racional de la fertilización con fertilizantes inorgánicos puede igualmente, promover un sistema productivo más sustentable y con menor necesidad de agroquímicos, incorporando de esta forma los conceptos de producción integrada.

Desde el punto de vista agronómico, la rotación y/o sucesión de cultivos es otra práctica que favorece significativamente la condición sanitaria del suelo. En resumen un adecuado manejo de las condiciones biológicas del suelo y del manejo racional de la fertilización promueven un mejor estado sanitario de éste.



Foto 6 Mosaico creso de la papa, producido por virus, en variedad Desirée.





Foto 7 Mosaico rugoso producido por virus, en papa variedad Yagana



Foto 8 Enrollamiento de la hoja, producido por virus, en papa variedad Pehuénche



Foto 9 Daño por helada en la variedad Patagonia-INIA



Foto 10 Costra negra producida por *Rhizoctonia Solani*, en un genotipo de papa





Foto 11 Sarna común, producida por *Streptomyces Scabies*, en variedad Karú- INIA



Foto 12 Sarna Plateada, producida por *Helminthosporium Solani*, en papa variedad Pukará-INIA



## 6.11. Desórdenes Fisiológicos

La papa es un cultivo que puede sufrir una serie de desórdenes fisiológicos entre los que se cuentan corazón hueco, corazón negro, partidura de tubérculos.

Corazón hueco es un desorden fisiológico producido por estrés debido a bruscas variaciones en el crecimiento durante la estación activa de desarrollo del cultivo, puede ser provocado por estrés hídrico o nutricional. La variedad elegida, la época y dosis de fertilización, la densidad de plantación y el control de la humedad del suelo son los factores mas predisponentes. El daño se inicia con el pardeamiento del centro del tubérculo el que posteriormente queda hueco.

Cuando el estrés se produce temprano en la estación de crecimiento, entonces se inicia con el pardeamiento del centro del tubérculo (corazón hueco), si el estrés se produce mas avanzada la estación de crecimiento del cultivo entonces no se produce el pardeamiento sino directamente el ahuecado del centro del tubérculo. Exceso de humedad por más de 5 días seguidos incrementa la posibilidad de producir este desorden. Existe susceptibilidad varietal, el cultivar Atlantic es sensible a corazón hueco.

La partidura de tubérculos se ha observado por la aplicación excesiva de nitrógeno en época avanzada de crecimiento del cultivo, también este fenómeno se agudiza en algunas variedades, caso de Karú, que produce tubérculos de gran tamaño. En la foto 13 se aprecia mancha ferruginosa, desorden fisiológico frecuente en suelos arenosos regados en exceso y también asociado a efecto varietal.



Foto 13 Mancha ferruginosa, desorden fisiológico en un genotipo de papa



## Capítulo 7

### Uso de enmiendas en el cultivo de papa

#### 7.1 Efecto de tres dosis de guano de pavo no compostado en papa cv Cardinal, en suelo arcilloso serie Barriales

En suelo arcilloso de la serie Barriales ubicado en el sector sur del área de Pan de Azúcar, frente a Nueva Vida, se estableció experimento con papa cultivar Cardinal, aplicando tres tratamientos 0, 15 y 30 ton/ha de estiércol de pavo fresco sin compostar. En el Cuadro 18 se presentan el efecto sobre el calibre y la producción total de papa. Los calibres semillón y consumo incrementan su tamaño, aumentando la producción comercial en 11,22 ton/ha respecto del tratamiento sin estiércol, dosis mayores de 15 ton/ha no mejoran el rendimiento del cultivo. Cabe señalar que los tres tratamientos recibieron fertilización química en dosis de 100, 120 y 120 Kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente. En el Cuadro 19 se muestra el efecto sobre algunos parámetros del suelo.

**Cuadro 18.** Efecto sobre el rendimiento y calibre de papa cv Cardinal de tres dosis de guano de pavo no compostado en papa cv. Cardinal. Suelo arcilloso serie Barriales, sector Pan de Azúcar, Ton/ha.

| Dosis de estiércol<br>Ton/ha | Broza | Semillón | Consumo | Comercial | Total  |
|------------------------------|-------|----------|---------|-----------|--------|
| 0                            | 3,8 a | 8,48 a   | 3,1 a   | 11,58 a   | 15,4 a |
| 15                           | 5,3 a | 14,8 b   | 8,0 b   | 22,80 b   | 28,1 b |
| 30                           | 4,1 a | 10,4 b   | 7,5 b   | 17,90 b   | 22,0 b |

Letras distintas indican diferencia significativa al 5%, según Tukey.



**Cuadro 19.** Efecto sobre algunos parámetros del suelo al aplicar tres dosis de guano de pavo no compostado en papa cv. Cardinal. Suelo arcilloso serie Barriales, sector Pan de Azúcar.

| Evolución de parámetros del suelo | Unidad  | Guano pavo ton/ha |      |      |
|-----------------------------------|---------|-------------------|------|------|
|                                   |         | 0                 | 15   | 30   |
| Ce Inicial                        | dS/m    | 2,2               | 2,7  | 5,3  |
| Ce a Floración                    | dS/m    | 4,6               | 5,5  | 8,0  |
| pH Inicial                        |         | 7,3               | 7,2  | 7,3  |
| pH a Floración                    |         | 7,1               | 6,7  | 6,3  |
| Materia orgánica Inicial          | %       | 0,9               | 1,1  | 1,2  |
| Materia orgánica a Floración      | %       | 0,92              | 1,0  | 1,5  |
| Nitrógeno mineral Inicial         | Ppm     | 8                 | 14   | 13   |
| Nitrógeno mineral a floración     | Ppm     | 46                | 122  | 216  |
| Nitrógeno mineral post cosecha    | Ppm     | 34                | 60   | 101  |
| Fósforo inicial                   | Ppm     | 100               | 101  | 89   |
| Fósforo a floración               | Ppm     | 102               | 143  | 118  |
| Fósforo post cosecha              | Ppm     | 104               | 118  | 152  |
| Potasio inicial                   | Ppm     | 325               | 389  | 355  |
| Potasio a floración               | Ppm     | 319               | 434  | 500  |
| Potasio post cosecha              | Ppm     | 434               | 445  | 465  |
| Calcio inicial                    | Cmol/kg | 5,8               | 6,4  | 7,2  |
| Calcio a floración                | Cmol/kg | 5,6               | 6,9  | 7,6  |
| Magnesio inicial                  | Cmol/kg | 3,0               | 3,4  | 4,1  |
| Magnesio a floración              | Cmol/kg | 3,3               | 4,1  | 5,2  |
| Sodio inicial                     | Cmol/kg | 0,51              | 0,56 | 0,72 |
| Sodio a floración                 | Cmol/kg | 0,74              | 1,12 | 1,24 |

## 7.2. Efecto de dos fuentes de estiércol, de cabra y pavo estabilizado en papa cv Cardinal

### 7.2.1. Antecedentes Metodológicos

En la localidad de San Rafael, área de Pan de Azúcar, en un suelo franco arenoso de la serie el Escorial se estableció un ensayo de campo para evaluar el efecto de dos fuentes de guano de cabra y de pavo estabilizado, sobre el rendimiento del cultivo de papa variedad Cardinal. La aplicación se realizó con máquina estercolera, aplicando 15 ton/ha de cada guano, en un área de 2 ha, la mitad con guano de pavo y la otra mitad con estiércol de cabra. Antes de la plantación se aplicó además mezcla fertilizante en dosis de 800 Kg/ha. Dicha mezcla aportó 104, 184 y 144 Kg/ha de nutrientes N-P205 y K20. La plantación se realizó el 8 de Agosto. El cultivo se estableció con máquina plantadora a 75 cm entre hilera y a 30 cm sobre la hilera. La aporca se realizó 38 días después de la plantación y se agregó urea y nitrato de potasio en dosis de 60 y 60 Kg/ha de N-K20 respectivamente. Los suelos se muestrearon para análisis de nemátodos y de nutrientes. A los 42 días después de plantado se evaluó la emergencia de plantas. A plena flor se colectaron muestras de peciolo para análisis nutricional de las plantas. La cosecha se realizó el 25 de Noviembre. El suelo presentó una profundidad de 60 cm. El ensayo fue regado por surcos.



## 7.2.2. Resultados Obtenidos

En el Cuadro 20 se presenta la población de plantas emergidas 42 días después de la plantación. En el tratamiento con guano de cabra la población de plantas emergidas alcanzó a 62,3 plantas en 20 metros lineales de plantación. Mientras que en la parcela con guano de pavo estabilizado la población de plantas alcanzó a 75,5 plantas. Es interesante destacar que este efecto fue estadísticamente significativo. Este efecto de mejor emergencia de plantas con guano de pavo podría explicarse por un mayor aporte inicial de nutrientes, especialmente de N y P determinado por esta fuente de guano. Este efecto ha sido reportado en trabajos de papa realizados en EUA (Kunkel y Thorton, 1986), en los cuales se señala que el cultivo en etapas tempranas requiere de una buena provisión de nitrógeno para iniciar un rápido crecimiento de las plantas. Además, dada la condición de suelo arenoso muy pobre en materia orgánica, se refuerza la idea que el aporte sostenido de nitrógeno y fósforo favoreció una emergencia más temprana del cultivo. Esto se ve corroborado por la mayor absorción de estos nutrientes detectado en los pecíolos de papa del tratamiento con guano de pavo (ver Cuadro 26).

**Cuadro 20.** Número de plantas de papa cv Cardinal emergidas el 21 de Septiembre, 42 días después de la plantación, según dos tratamientos guano de cabra y de pavo.

| Tratamiento Estiércol | Promedio |
|-----------------------|----------|
| Cabra                 | 62,3 a   |
| Pavo estabilizado     | 75,5 b   |

Letras distintas indican diferencia significativa al 5%.

Por otra parte, observaciones de campo realizadas el 14 de Octubre, es decir 60 días desde la plantación permiten afirmar que el cultivo manejado con guano de cabra estaba iniciando floración y la entre hilera estaba más abierta. Mientras que en el tratamiento con guano de pavo las hileras estaban más cerradas y existía menos floración, esto sugiere claramente que el cultivo estaba creciendo más activamente con guano de pavo.

Otra observación interesante de señalar es que en el sector manejado con guano de pavo se produjo una mayor infestación de malezas gramíneas, producto del mayor aporte de nitrógeno del estiércol de pavo. Esto sugiere que al usar esta enmienda, se debe estar atento a un buen control de gramíneas.

En el Cuadro 21 se señala el contenido de nutrientes minerales y algunos parámetros de fertilidad del suelo 30 días después de aplicadas las enmiendas orgánicas. El suelo presentó un contenido muy bajo de nitrógeno mineral disponible, pero ligeramente más alto en el caso del guano de pavo, igual tendencia se apreció en el caso del contenido de fósforo disponible, e igualmente altos contenidos de potasio. La aplicación de guano de pavo generó un pH ligeramente más ácido. La conductividad eléctrica se incrementó más en el tratamiento con guano de pavo. Esto se explica en buena medida por el mayor aporte de sales solubles de nitrógeno y potasio. Igual tendencia se observó en el caso del contenido de bases, todas se incrementaron en mayor cantidad con el estiércol de pavo, al compararlas con el guano de cabra, incluso el contenido de



sodio (ver Cuadro 22). Esto se explica por el mayor contenido de nutrientes del estiércol de pavo. Una tendencia similar se apreció en el caso del contenido de micronutrientes, (ver Cuadro 23).

En el Cuadro 24 se aprecia el contenido de nemátodos evaluados en muestras obtenidas 60 días después de aplicadas las enmiendas. Se apreciaron en general contenidos moderados a bajos de nemátodos en los suelos. Sin embargo, la adición de guano de pavo permitió lograr un menor contenido de nemátodos dorado de la papa (*Globodera rostochiensis*), y en el caso de *Pratylenchus* igualmente su cantidad fue menor al agregar guano de pavo. Probablemente esto se explique por efecto de la gran cantidad de amonio que contiene el guano de pavo, el cual fue capaz de controlar en forma muy efectiva la población de nemátodos.

En el Cuadro 25 se presenta la producción obtenida a la cosecha. El rendimiento total de la papa no fue alto, alcanzando a 29,3 y 26,25 ton/ha de producción comercial. Cabe señalar que un rendimiento alto para la zona de La Serena y sembrado en Septiembre debiera ser mayor a 40 ton/ha, es decir 800 sacos de 50 Kg. La producción obtenida alcanzó a 586 sacos de 50 Kg. El cultivo no presentaba un excelente vigor, al parecer la calidad de la semilla pudo haber afectado la potencialidad productiva del cultivo, a pesar de que era semilla controlada del sur. Dadas las características del ensayo, debiera haberse logrado sobre los 700 sacos de 50 Kg. Es decir más de 35 ton/ha de tubérculos. Es importante destacar que aunque el efecto de los estiércoles fue similar, esto se explica por dos razones, posiblemente la ya señalada calidad de la semilla y la alta fertilización nitrogenada recibida por el cultivo. Además, son suelos que tienen un historial de fertilización alta, por lo tanto esto enmascara el mejor efecto que debiera tener el guano de pavo, siendo importante destacar que éste contiene más nutrientes disponibles que el estiércol de cabra.

En el Cuadro 26 se presenta la absorción de nutrientes por el cultivo de la papa. La absorción de nitrógeno nítrico, es decir N no metabolizado, del tratamiento con guano de pavo fue muy superior, más que duplicó la concentración de lo absorbido por el tratamiento con guano de cabra. Igual tendencia se observó en el caso del nitrógeno total presente en los tejidos del pecíolo de papa. Similarmente, la absorción de fósforo y potasio fue más alta en el caso del tratamiento con guano de pavo, lo que concuerda con lo señalado en el sentido que esta fuente de estiércol es más rica en nutrientes lábiles.

En el Cuadro 27 se muestra la absorción de micronutrientes. Se observó la misma tendencia que para el caso de los macronutrientes, especialmente en el caso del zinc y del cobre, en el caso del manganeso su concentración disminuyó ligeramente al aplicar guano de cabra, no obstante este efecto debe considerarse como positivo, porque estos contenidos fueron bastante altos.



**Cuadro 21.** Contenido de nutrientes minerales y algunos parámetros de fertilidad del suelo, al inicio del experimento de papa.

| Tratamiento     | Prof. | N   | P   | K   | pH  | m.o. | CE   |
|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                 | cm    | ppm |     |     |     | %    | dS/m |
| Estiércol Pavo  | 0- 20 | 24  | 120 | 412 | 6,7 | 1,1  | 5,3  |
|                 | 20-40 | 7   | 117 | 438 | 6,5 | 1,0  | 6,1  |
| Estiércol Cabra | 0-20  | 7   | 83  | 269 | 7,1 | 0,70 | 3,5  |
|                 | 20-40 | 6   | 60  | 201 | 7,3 | 0,55 | 2,2  |

**Cuadro 22.** Contenido de bases de intercambio y suma de bases, al inicio del experimento de fuentes de guanos en papa cv Cardinal.

| Tratamiento     | Prof. cm | Ca  | Mg  | Na   | K    | Suma Bases |
|-----------------|----------|-----|-----|------|------|------------|
| Cmol(+)/Kg      |          |     |     |      |      |            |
| Estiércol Pavo  | 0- 20    | 5,1 | 2,1 | 0,50 | 1,05 | 8,75       |
|                 | 20-40    | 5,6 | 2,4 | 0,61 | 1,12 | 9,73       |
| Estiércol Cabra | 0-20     | 4,8 | 1,6 | 0,25 | 0,69 | 7,34       |
|                 | 20-40    | 4,5 | 1,4 | 0,25 | 0,51 | 6,66       |

**Cuadro 23.** Contenido de micronutrientes en los suelos manejados con guano de cabra y de pavo.

| Tratamiento     | Prof. cm | Fe | Mn | Zn  | Cu | B   |
|-----------------|----------|----|----|-----|----|-----|
| ppm             |          |    |    |     |    |     |
| Estiércol Pavo  | 0- 20    | 15 | 21 | 1,8 | 8  | 1,7 |
|                 | 20-40    | 8  | 26 | 2,4 | 8  | 1,9 |
| Estiércol Cabra | 0-20     | 12 | 12 | 1,0 | 5  | 1,1 |
|                 | 20-40    | 12 | 7  | 0,8 | 4  | 1,0 |

**Cuadro 24.** Contenido inicial de nematodos en los sitios manejados con estiércol de cabra y de pavo.

| Género de nemátodos     | Guano de cabra |       |     |       | Guano de pavo |       |       |     |
|-------------------------|----------------|-------|-----|-------|---------------|-------|-------|-----|
|                         | N°             |       |     |       | N°            |       |       |     |
| Saprófitos              | 6.625          | 4.030 | 663 | 2.926 | 1.855         | 2.848 | 3.146 | 993 |
| Globodera Rostochiensis | 183            | 44    | 44  | 0     | 0             | 0     | 27    | 0   |
| Pratylenchus            | 221            | 0     | 0   | 20    | 0             | 0     | 0     | 0   |
| Tylenchulus             | 0              | 39    | 0   | 0     | 0             | 0     | 0     | 0   |

Nota: Los análisis corresponden a 4 muestras de cada sector.



**Cuadro 25.** Efecto de estiércol de pavo y de cabra en la producción de papa cv Cardinal según calibre de papa producida (ton/ha).

| Fuente Estiércol | Primera | Segunda | Broza | Total comercial | Total   |
|------------------|---------|---------|-------|-----------------|---------|
| Pavo             | 25,3    | 4,0     | 1,41  | 29,30 a         | 30,71 a |
| Cabra            | 23,0    | 3,3     | 0,81  | 26,25 a         | 27,06 a |

Letras iguales implican que no existe diferencia significativa al 5%.

**Cuadro 26.** Concentración de nutrientes minerales en peciolo de papa cv Cardinal, cultivadas con dos fuentes de estiércol.

| Tratamiento Estiércol | N nítrico ppm | N total | P    | K     | Ca   | Mg   | Na   |
|-----------------------|---------------|---------|------|-------|------|------|------|
|                       |               |         |      |       |      |      |      |
| Pavo                  | 7.308         | 1,65    | 0,33 | 12,44 | 1,49 | 0,57 | 0,13 |
| Cabra                 | 3.212         | 1,36    | 0,27 | 11,22 | 1,68 | 0,57 | 0,11 |

**Cuadro 27.** Concentración de micronutrientes en peciolo de papa cv Cardinal, cultivadas con dos fuentes de estiércol.

| Tratamiento Estiércol | Mn  | Zn | Cu | B  |
|-----------------------|-----|----|----|----|
|                       |     |    |    |    |
| Pavo                  | 266 | 28 | 14 | 30 |
| Cabra                 | 335 | 22 | 7  | 29 |

### 7.2.3. Conclusiones

- La emergencia de las plantas a los 42 días fue mayor con la aplicación de guano de pavo estabilizado.
- El cultivo incrementó su rendimiento en 3 ton/ha, sin presentar significancia estadística.
- La moderada respuesta del guano de pavo respecto del guano de cabra se explica por la fertilización química moderadamente alta aplicada al cultivo y posiblemente a la regular calidad de semilla.
- El rendimiento se incrementó por un mejor calibre de tubérculos.
- Las plantas de papa absorbieron más nutrientes especialmente N, P y K, al aplicar guano de pavo estabilizado.

### 7.3. Efecto de la agregación de azufre elemental granulado a mezcla fertilizante, en papa cv Cardinal

#### 7.3.1 Antecedentes Metodológicos

El 23 de Septiembre de 2003 se estableció ensayo de campo con papa cultivar Cardinal en el sector San Rafael del área de Pan de Azúcar. El experimento se plantó con máquina semiautomática considerando dos hileras por tratamiento a 0,75 m entre hilera y a 27 cm sobre la hilera. Se establecieron parcelas de 100 m de largo con 4 repeticiones. Se utilizó semilla corriente seleccionada, denominada "hija" controlada del sur. El manejo del riego se realizó por surcos. Se



utilizó azufre elemental granulado ( $S^{\circ}$ ) de 95 % de pureza en dosis de 0, 75, 150, 225, 300 y 375 KgS/ha. Las distintas dosis de  $S^{\circ}$  se aplicaron con la mezcla fertilizante usada por el agricultor, incorporada de manera localizada al momento de la plantación con máquina sembradora. Se utilizó una mezcla fertilizante 13-23-18 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, en dosis de 800 Kg/ha. Al momento de la plantación se tomaron muestras de suelo por repetición y cada 15 días se colectaron muestras de suelo para análisis de pH y salinidad del suelo, a una profundidad de 15 cm, al costado del camellón de plantación. La aporca se realizó 40 días después de la plantación, en ese momento se aplicaron 400 Kg/ha de nitrato de potasio. A plena flor se tomaron muestras peciolares de todos los tratamientos para evaluar la absorción de nutrientes por las plantas. La cosecha se realizó el 14 de Enero de 2004, y se determinaron tanto el calibre de los tubérculos como el rendimiento proyectado por ha.

### 7.3.2 Resultados Experimentales obtenidos

#### 7.3.2.1 Efecto del azufre elemental granulado incorporado en la mezcla fertilizante, sobre el pH del suelo.

La evolución del pH del suelo medido en suspensión desde la plantación hasta cosecha se presenta en la Figura 11. El efecto de la aplicación de azufre elemental disminuyó el pH del suelo desde 7,4 hasta 6,68, esta moderada disminución se explicaría por la presencia de calcita.

Es importante destacar que la oxidación del azufre en el suelo es un proceso bioquímico que es promovido por bacterias del género *Thiobacillus*. Inicialmente la reacción del suelo es de 7,4 y a los 15 días después alcanza a 7,05 y desde allí continua bajando hasta alcanzar un nivel de 6,9 a fines de Noviembre. Es decir, el suelo sin enmienda azufrada igualmente se acidifica de manera significativa. La explicación para esta reacción está determinada por la oxidación natural de la materia orgánica del suelo y además la fertilización aplicada a la papa que consideró una mezcla con nitrógeno y fósforo que aportaban fuentes amoniacales, urea y fosfatos amoniacales.

Durante los primeros 15 días de ensayo los tratamientos con azufre elemental no modificaron el pH del suelo. Sin embargo, a las cuatro semanas de aplicados los tratamientos con azufre, todos acidificaron el suelo, observándose una mayor acidificación a mayor cantidad de enmienda aplicada. Es importante destacar que la mayor acidificación se logró con la dosis de 225 unidades de azufre y se alcanzó a mediados de Noviembre, es decir a los 52 días después de aplicada la enmienda, en este caso el pH del suelo alcanzó 6,68 unidades de pH. Los tratamientos con 150, 300 y 375 Kg/ha de enmienda igualmente acidificaron el suelo logrando valores ligeramente inferiores a 6,9. La dosis menor aplicada no afectó mayormente el pH del suelo. Respecto del testigo y en el momento de mayor acidificación, los tratamientos con enmienda lograron disminuir el pH entre 1 y 2 unidades de pH. Esta resistencia al cambio de pH por el suelo se explica por la presencia de calcita, en niveles de 0,3 % en la capa arable.

A los 65 días de aplicado el azufre, todos los tratamientos comenzaron a incrementar gradualmente el pH del suelo, superando incluso al tratamiento testigo sin azufre. La explicación para este incremento del pH sería por una parte los continuos riegos que se aplican al cultivo, debido a que estos aportan cantidades importantes de bicarbonato al suelo, lo que hace incrementar el



pH. Pero, también la aplicación localizada de nitrato de potasio aplicado a la aporca en dosis de 400 Kg/ha explicaría este incremento del pH de la zona del camellón. Además, como se señaló, el contenido de carbonatos presente en el suelo va neutralizando la acidificación producida por el azufre.

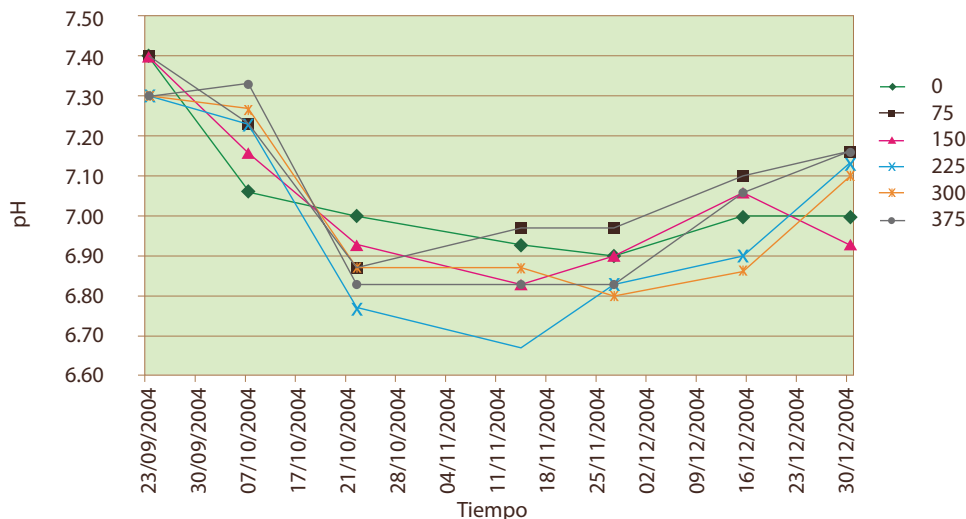


Figura 11. Efecto de diferentes dosis de azufre elemental sobre el pH del suelo, localidad Pan de Azúcar.

Es interesante destacar que a la cosecha todos los tratamientos a excepción del testigo y el tratamiento con 150 unidades de S° presentaron un pH mayor y cercano a 7,1. Cabe señalar que la papa prefiere condiciones de reacción del suelo bajo 6,5. Esta condición favorece la disponibilidad en el suelo del fósforo y de los micronutrientes, especialmente hierro, zinc y manganeso, además promueve la absorción de K, Ca y Mg.

### 7.3.2.2. Efecto de la enmienda azufrada sobre la salinidad del suelo

El efecto de la aplicación del S° sobre la evolución del nivel salino del suelo manejado con papa se presenta en la Figura 12. Al inicio de la plantación, la salinidad del suelo en los primeros 15 cm era de 2,0 dS/m, un valor considerado adecuado para la papa en suelos del área de La Serena. Es importante destacar que el contenido salino de los suelos en invierno y principios de primavera en la zona es generalmente bajo debido a que el ascenso capilar es lento en esta época fría. Además, si el potrero se ha cultivado en invierno, los riegos aplicados permiten mantener las sales a mayor profundidad en el perfil. En los inviernos lluviosos esta situación es mas favorable aún, es decir las sales pueden ser lavadas del perfil dependiendo de la intensidad de la lluvia invernal.

A la segunda y tercera semana después de la plantación la salinidad del suelo testigo sin aplicar azufre, incrementó su nivel salino a mas de 6 dS/m. Sin embargo, los tratamientos con azufre



incrementaron su salinidad a una tasa menor. A los 45 días desde la plantación la salinidad fue máxima, variando entre 7 y 10 dS/m. Este incremento salino estaría explicado en gran parte por la fertilización con nitrato de potasio aplicado a los 40 días desde la plantación y además por la salinidad generada por la enmienda ácida. Esta se produce por la disolución de sales precipitadas en el suelo que son liberadas a la solución por efecto de la acidificación del azufre, incrementando las sales solubles. Sin embargo, el efecto agronómico detrimental estaría dado por el efecto de potencial osmótico y no de toxicidad de iones como cloro y sodio sobre el cultivo. Estos niveles salinos no son recomendables para el cultivo de la papa, pero al parecer no serían tóxicos. Esto explicaría la ausencia de daño a nivel de las hojas del cultivo, aun cuando estaba creciendo con una salinidad moderadamente alta. No obstante, es muy probable que se produjo una restricción del crecimiento de la planta por efecto de potencial osmótico. Este efecto es más severo en clima caluroso, por lo tanto debido al clima fresco de la primavera el efecto restrictivo no haya sido tan importante.

Un nivel de 2,5 dS/m sería lo máximo tolerado por el cultivo. Sin embargo, esto depende del tipo sales que determinen la salinidad. Cuando la salinidad es originada a partir de sales de calcio, magnesio y potasio, especialmente como sulfatos, el efecto negativo sobre las plantas no es tan relevante. Si lo iones predominantes que originan la salinidad son sodio y cloro, entonces el daño agronómico sobre la productividad de las plantas será más importante. En general se puede afirmar que la aplicación de la enmienda azufrada incrementó ligeramente el contenido salino del suelo, especialmente en los tratamientos con más de 225 unidades de azufre aplicado. Lo más probable es que la reacción del azufre en el suelo haya formado sulfato de calcio, sal bastante inocua para el cultivo de papa.

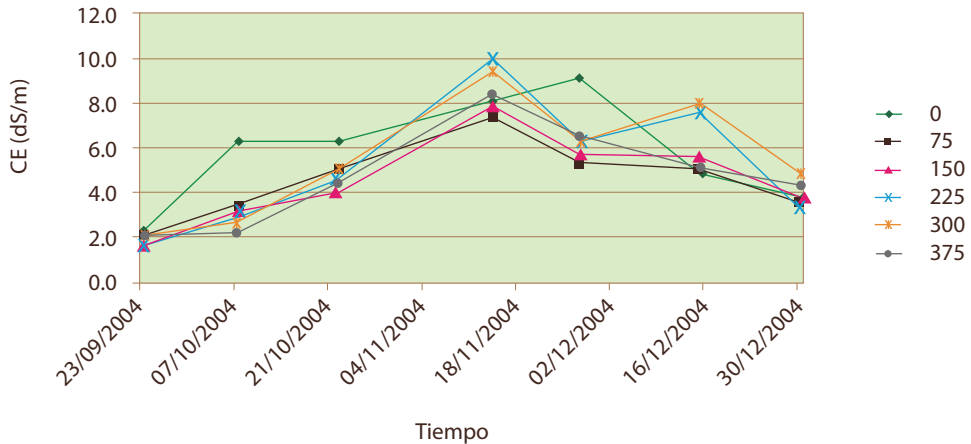


Figura 12. Efecto de diferentes dosis de azufre elemental sobre la Ce del suelo, localidad Pan de Azúcar.

### 7.3.2.3. Disponibilidad de nutrientes en el suelo al inicio del experimento

En el Cuadro 28 se presenta el nivel de disponibilidad inicial de nutrientes en el suelo del sitio experimental manejado con papa. La reserva de nitrógeno total es baja y está determinada por la cantidad de materia orgánica la cual es igualmente muy baja, no supera el 2%. Esto explica el moderado contenido de nitrógeno mineral. La relación C/N es baja lo que indica una gran entrega del poco nitrógeno disponible. La salinidad es cercana a 2 dS/m. El pH inicial varió entre 7,3 y 7,4. El contenido de calcio no es alto considerando la textura franco arcillosa del suelo. El nivel de magnesio es relativamente más alto en comparación al nivel de calcio. La relación calcio: magnesio es estrecha lo cual es adecuado, alrededor de 6. El nivel de potasio es moderadamente alto, al considerar la relación con Ca y Mg. El contenido de sodio es medio. Pero la relación potasio sodio es adecuada. El contenido de fósforo disponible es muy alto.

**Cuadro 28.** Nivel de nutrientes en el suelo al inicio del experimento con papa cv Cardinal, Localidad Pan de Azúcar.

| Nmin | Ntotal | m.o. | C/N | CE   | pH  | Ca         | Mg  | K   | Na   | P   | Índice Carbonato |
|------|--------|------|-----|------|-----|------------|-----|-----|------|-----|------------------|
| ppm  | %      | %    |     | dS/m |     | cmol(+)/Kg |     |     |      | ppm | %                |
| 38   | 0,16   | 2,1  | 7,8 | 1,97 | 7,3 | 13,1       | 3,3 | 1,6 | 0,62 | 69  | 0,3              |

En el Cuadro 29 se presenta la suma de bases y el porcentaje de saturación de cada base. Las relaciones porcentuales de calcio y magnesio son normales. La saturación de potasio es alta y la de sodio ligeramente alta.

**Cuadro 29.** Promedio de suma de cationes y saturación de bases del sitio experimental.

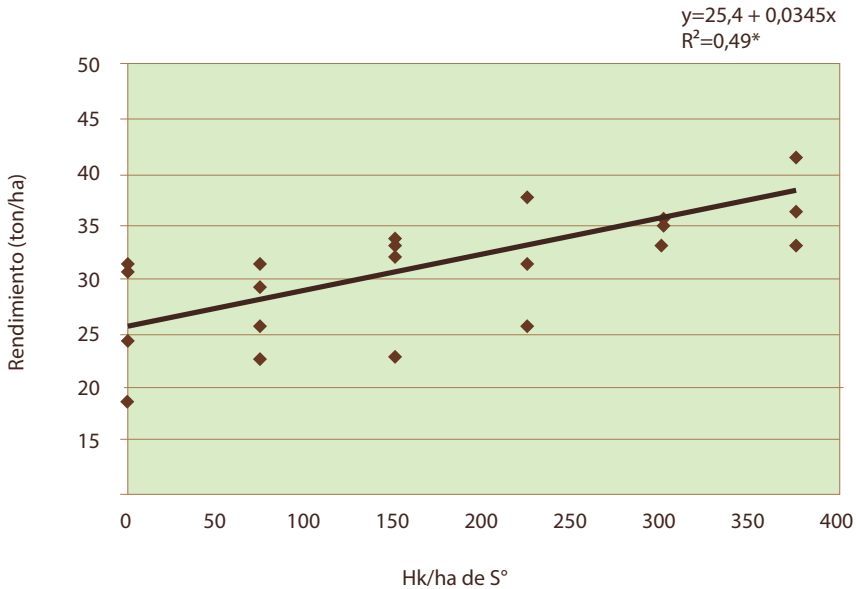
| Elemento  | Cationes de intercambio | Saturación de bases |
|-----------|-------------------------|---------------------|
|           | cmol(+)/Kg              | %                   |
| Calcio    | 13,05                   | 70                  |
| Magnesio  | 3,35                    | 18                  |
| Potasio   | 1,63                    | 8,7                 |
| Sodio     | 0,62                    | 3,3                 |
| Sumatoria | 18,65                   |                     |

### 7.4. Efecto de la mezcla fertilizante con azufre elemental (S°), sobre el rendimiento del cultivo de papa cv Cardinal

La relación ajustada linealmente entre dosis de S° y rendimiento comercial de papa, es decir producción de calibres consumo y semilla se presenta en la Figura 13. Esta relación presenta un coeficiente de correlación de 0,57 y un coeficiente de determinación de 0,323. El aumento de rendimiento es sostenido, pero presenta una baja tasa de incremento. El testigo alcanza las 25 ton/ha de tubérculos, mientras que el tratamiento con la dosis de 300 Kg/ha de S° bordea las 35 ton/ha de producción. Es decir, al aplicar 300 unidades de S° el rendimiento comercial se incrementa en 10 ton/ha de papa. Cabe señalar que (Klikocka y col. 2005) en suelos de Polonia

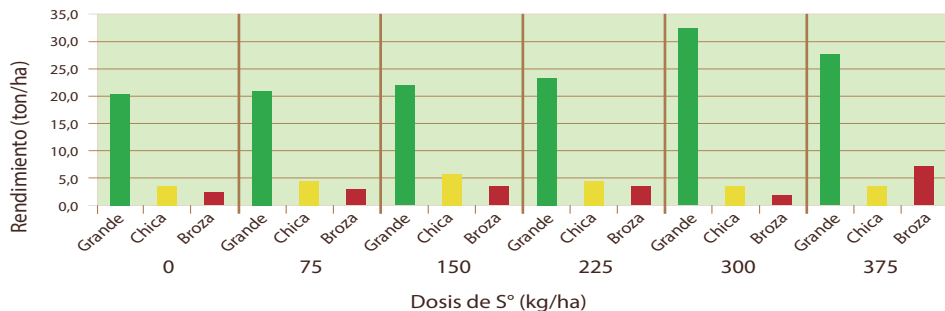


encontró un efecto similar positivo al aplicar azufre elemental, atribuyendo el efecto al control de Rizoctonia y Streptomyces en el suelo.



**Figura 13.** Efecto de diferentes dosis de azufre elemental sobre rendimiento de papa cv Cardinal, Localidad Pan de Azúcar (2003).

En tanto, el efecto de las diferentes dosis de S° sobre la distribución de calibres de los tubérculos de papa se muestra en la Figura 14. En la figura se aprecia que los calibres de papa consumo, se incrementan a partir de las 225 unidades de S° aplicadas y tienden a disminuir con la dosis máxima de azufre enmienda. Al aplicar 300 unidades de S° se aprecia la mayor producción de papa consumo y la menor producción de papa pequeña o broza. Esto sugiere claramente que la enmienda azufrada permitió una mejor nutrición temprana de las plantas de papa lo que favoreció una mejor tuberización y crecimiento de estos. En la Foto 14 se aprecia claramente el efecto del azufre sobre el vigor de las plantas.



**Figura 14.** Efecto de diferentes dosis de azufre elemental sobre el calibre de papa cv Cardinal, Localidad Pan de Azúcar (2003).



**Foto 14** Efecto de Azufre elemental aplicado en la mezcla fertilizante, cv Cardinal regada por surco, área de Pan de Azúcar.

En el Cuadro 30 se aprecia el contenido peciolar de los nutrientes según los diferentes tratamientos estudiados. El contenido de nitrógeno nítrico ( $N-NO_3$ ) en los pecíolos es adecuado y alcanza los 5.162 ppm. Esto sugiere claramente que la fertilización nitrogenada a la plantación fue adecuada, sin embargo, el contenido de nitrógeno total se presenta marginal. Al analizar el nivel de nitrógeno total del suelo se puede establecer que este presentaba un contenido bajo de este elemento.

**Cuadro 30.** Efecto de la aplicación de distintas dosis de azufre elemental, en el contenido peciolar de macronutrientes en papa cv Cardinal, Localidad Pan de Azúcar.

| S°    | ZnSO <sub>4</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N total | P    | K    | Ca   | Mg   |
|-------|-------------------|-------------------|---------|------|------|------|------|
| Kg/ha | Kg/ha             | ppm               |         |      | %    |      |      |
| 0     | 0                 | 5.162             | 1.98    | 0.65 | 11.6 | 0.6  | 0.19 |
| 75    | 50                | 3.887             | 2.06    | 0.79 | 11.7 | 0.6  | 0.19 |
| 150   | 50                | 4.120             | 2.26    | 0.73 | 12.1 | 0.55 | 0.19 |
| 225   | 50                | 4.706             | 2.19    | 0.73 | 12.2 | 0.57 | 0.19 |
| 300   | 50                | 4.167             | 2.18    | 0.79 | 11.9 | 0.55 | 0.19 |
| 375   | 50                | 3.267             | 2.20    | 0.83 | 12.3 | 0.60 | 0.18 |

Se puede considerar que el contenido de fósforo peciolar es muy adecuado e incluso ligeramente alto. En los tratamientos se aprecia claramente que la adición de S° incrementó la absorción de este elemento por parte de la planta. La adecuada absorción aun en el tratamiento sin enmienda se explica por el alto contenido de fósforo del suelo, el cual es mayor de 60 ppm (ver Cuadro 28), contenidos que deben considerarse como muy altos.

La absorción de potasio por la plantas es igualmente muy alta y supera el nivel adecuado recomendado de 8 %. Esto se explica por una parte por el nivel inicial alto de potasio en el suelo (626 ppm de K) y por otra la fertilización igualmente alta aplicada de 320 Kg/ha de K<sub>2</sub>O. Los bajos contenidos de calcio y magnesio que presentan los peciolas se explican claramente por la excesiva absorción de potasio inducida por la alta fertilización potásica aplicada. Los niveles de calcio se presentan muy cercanos a los contenidos mínimos requeridos. En el caso del magnesio la absorción por la plantas fue muy bajo, lo que debe haber afectado el crecimiento del cultivo.

Los contenidos de cinc se presentan en niveles marginales. La aplicación de S° mejoró ligeramente la absorción de este elemento desde 22 ppm en el testigo hasta 27 ppm en la dosis con 300 unidades de azufre, superando el nivel mínimo requerido de 25 ppm (Cuadro 31). La absorción de manganeso no se incrementó de manera significativa al aplicar el S°. Es sabido que al bajar el pH en muchos de los suelos de la región se produce una clara liberación de manganeso, el cual puede ser tóxico para las plantas. Sin embargo, los niveles detectados en las plantas caen dentro del rango normal. La mayor liberación de manganeso se produce a pH menor de 6,0, en el experimento el nivel más bajo alcanzado fue de 6,68 esto explicaría la baja absorción de este elemento por las hojas de la papa. Además, este cultivo es muy tolerante a contenidos moderadamente altos de manganeso, no así muchas leguminosas como la lenteja y el poroto.

Los contenidos de cobre peciolar se presentan sobre el mínimo requerido por el cultivo, al igual que los niveles de sodio absorbido. Esto último corrobora lo señalado en el sentido de que en el efecto salino detectado a nivel del suelo no sería importante la presencia del sodio. Aun cuando su contenido como elemento intercambiado en el suelo puede ser considerado como medio. Al hacer una evaluación económica simple de la relación costo beneficio se puede señalar, que bajo condiciones de suelo con carbonatos, el efecto de la enmienda azufrada puede ser muy beneficioso.





Foto 15 Cosecha de papa semi-mecanizada en el área de Pan de Azúcar

**Cuadro 31.** Efecto de la aplicación de distintas dosis de azufre elemental en el contenido peciolar de micronutrientes y sodio en papa cv Cardinal, Localidad Pan de Azúcar.

| S°<br>Kg/ha | ZnSO <sub>4</sub><br>Kg/ha | Zn<br>ppm | Mn<br>ppm | Cu<br>ppm | Na<br>% |
|-------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 0           | 0                          | 22        | 90        | 7         | 0.03    |
| 75          | 50                         | 25        | 85        | 7         | 0.032   |
| 150         | 50                         | 24        | 65        | 10        | 0.032   |
| 225         | 50                         | 26        | 75        | 7         | 0.026   |
| 300         | 50                         | 27        | 105       | 7         | 0.024   |
| 375         | 50                         | 26        | 72        | 7         | 0.023   |

## Conclusiones

- La aplicación de azufre elemental incrementó la producción de papa desde 25 a 35 ton/ha.
- Este incremento se logró con la dosis de 300 unidades de S° y 50 Kg/ha de sulfato de zinc.
- Esta dosificación permitió lograr una mejor composición de calibres de tubérculos.
- La acidificación incrementó la absorción por parte de la planta de fósforo y zinc, pero no así de nitrógeno.
- El exceso de potasio del suelo más la fertilización aplicada determinó una baja absorción de magnesio y calcio.
- El pH del suelo disminuyó por efecto de la acidificación con S°, desde 7,40 a 6,68. Esta



- disminución moderada se explicaría por el contenido de calcita del suelo.
- La salinidad se incrementó significativamente, pero este aumento se explicaría por la fertilización aplicada a la aporca con nitrato de potasio, más que por la acidificación producida por la enmienda azufrada.





## Capítulo 8

# Fertilización del cultivo de papa

### 8.1. Antecedentes Generales

La fertilización del cultivo de la papa es una práctica agronómica importante en La Serena, pues permite incrementar el rendimiento y el calibre 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 20% de los costos totales de producción.

El rendimiento más frecuente en suelos de la zona no es muy alto, lográndose rendimientos cercanos a las 20 t ha<sup>-1</sup>. Este moderado rendimiento se explica por la calidad de semilla y las pobres condiciones físicas de suelo, además del pH moderadamente alcalino. El principal nutriente para el cultivo es el nitrógeno, una adecuada dosificación así como una oportuna aplicación es muy relevante sobre el rendimiento. Sin embargo, la calidad de semilla es un factor esencial para lograr altos rendimientos.

Por otra parte, tal como se señaló, los suelos de la región poseen cualidades físicas muy pobres, determinadas por el escaso tenor de carbono orgánico. En estos suelos predominan valores de densidad aparente superiores a 1,3 g/cc, lo cual les confiere una escasa porosidad y una gran dureza del suelo, lo cual afecta la calidad del arraigamiento.

Una dosificación muy precisa de la fertilización para el cultivo de la papa es difícil de lograr, debido a que en este proceso intervienen diversos factores de tipo biológico, químico y climático que interactúan entre el suelo, la planta y la atmósfera. No obstante, es posible lograr razonables aproximaciones si se aplican los conceptos de balance nutricional, y además se considera, un análisis de suelo completo, que permite mejorar el diagnóstico de la fertilidad del suelo.

### 8.2. Requerimientos Nutricionales del cultivo

#### 8.2.1. Elementos esenciales para el cultivo

El cultivo requiere de 17 elementos nutritivos esenciales, los cuales se presentan en el Cuadro 32. 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 14 nutrientes minerales aportan el 6% aproximadamente (Epstein y Bloom, 2004).

#### 8.2.2. Nitrógeno

Elemento esencial que 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 éste un nutriente móvil dentro de la planta, y 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  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  (Barber, 1995).

Estudios realizados con nitratos de amonio marcado (isótopos de N) por (Robert 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  $\text{N-NO}_3^-$ .

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 bodega y toleran menos el maltrato. También las plantas se tornan más susceptibles a las plagas. 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 fue el 1.55% base materia seca (Westermann y Davis, 1992).

### 8.2.3. 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  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  o  $\text{HPO}_4^-$  según el pH del suelo, especialmente por contacto directo. Se requiere en cantidades muy inferiores al nitrógeno. Su carencia, produce plantas pequeñas debido a la detención del crecimiento celular, y de color violáceo o amoratado por efecto de la acumulación de antocianinas (Marschner, 1986). Es un elemento móvil en la planta por lo que se transloca desde las hojas basales hacia las hojas superiores. Cuando la deficiencia no es severa, se produce un color verde oscuro. Contenidos mínimos adecuados de fósforo en tubérculos son del 0,2% base materia seca (Westermann y Davis, 1992).



**Cuadro 32.** 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 |
| Ni      | Níquel    | Micronutriente |
| C       | Carbono   | Estructural    |
| O       | Oxígeno   | Estructural    |
| H       | Hidrógeno | Estructural    |

El exceso de este elemento en las plantas induce una deficiencia de zinc. A diferencia 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 destinados para semilla.

#### 8.2.4. 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 y almacenar en los tubérculos. Este elemento presenta una gran movilidad en la planta. Su deficiencia produce plantas con hojas de color bronceado 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.

### 8.2.5. Calcio

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 calcio 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. Niveles tóxicos de calcio en las plantas no se reportan, este es un elemento químico probiótico por excelencia. Es un elemento poco móvil en la planta, niveles bajos en el suelo pueden favorecer la aparición de pie negro enfermedad producida por la bacteria *Erwinia carotovora* (Collier y col., 1978). El exceso de calcio y pH alto, promueven la aparición de sarna (Kazushige, 1985; Davis y col., 1976).

### 8.2.6. Magnesio

Este elemento forma parte integral de la molécula de clorofila. Es un nutriente poco móvil en la planta (Mengel y Kirby, 2000). Su deficiencia produce una clorosis internerval de las hojas basales e intermedias, debido a su translocación 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.

### 8.2.7. Azufre

Elemento esencial, activador enzimático, interviene en el metabolismo del nitrógeno. Su deficiencia produce clorosis generalizada y es muy poco móvil en la planta. El agua de riego aporta cantidades importantes de sulfatos, que permiten una adecuada nutrición de este elemento.

### 8.2.8. Micronutrientes

#### Hierro

Su deficiencia se caracteriza por una marcada clorosis internerval parecida a la del magnesio pero en las hojas jóvenes. En suelos con carbonatos se genera fácilmente una deficiencia de este nutriente en las hojas jóvenes, este fenómeno es frecuente que se produzca en cultivos creciendo en épocas frías. La deficiencia de Fe puede producirse con gran probabilidad en suelos con pH mayor de 7,8 (Monverdt y col., 2002).



### **Manganeso**

La deficiencia de este elemento sigue la misma dinámica que el hierro, es decir en suelos de pH alcalino se puede producir deficiencia de este nutriente. Sin embargo, los suelos de la zona norte presentan normalmente niveles altos de manganeso no disponible que se puede liberar por efecto de exceso de riego, acidez extrema y/o alta temperatura del suelo. La carencia de manganeso normalmente no se manifiesta en los suelos donde se produce la papa.

### **Boro**

Este elemento puede ser deficiente en suelos de pH muy alcalino. Cabe señalar, que las aguas del río Elqui aportan cantidades interesantes de boro que permiten mantener una adecuada nutrición de las plantas, el boro presenta movilidad en la planta. Una deficiencia severa produce la desintegración de los tejidos internos como en los tallos. Las aguas de los ríos Limarí y Choapa presentan contenidos más bajos de boro, por lo que en estos valles puede ser más importante la inclusión de este micronutriente en las formulas de fertilización. Entre otras funciones favorece la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico en las flores y en el transporte de sustratos carbonados.

### **Cinc**

La carencia de cinc produce hojas pequeñas y arrosietadas, 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 triptófano, el cual determina la formación del Ácido Indolacético (AIA), un tipo de auxina, además es un activador de diversas enzimas. Un exceso de fósforo puede inducir una deficiencia de cinc. En general los suelos del norte chico presentan niveles francamente deficitarios de cinc disponible (Sierra, 2005).

### **Cobre.**

Este elemento presenta una dinámica similar al cinc y manganeso; la deficiencia de este elemento en papa no es frecuente, pero los síntomas pueden manifestarse como plantas de un verde 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, la que permite reducir el nitrato absorbido a amonio (Katyal y Randhawa, 1986).

### **Cloro**

La deficiencia es muy poco común en papa, pero su toxicidad puede ser más frecuente en suelos con elevada salinidad. El agua de pozo profundo, especialmente hacia el sector sur de Pan de Azúcar, presenta contenidos de cloruros más altos, elevadas concentraciones de cloruros afectan la absorción de nitrógeno nítrico. La toxicidad produce amarillez y en casos más extremos bordes necróticos simétricos de las hojas.

### **Níquel**

Oligoelemento que actúa en la metabolización de compuestos ureicos, último elemento que ha



sido considerado como esencial para el crecimiento de las plantas por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo. Las cantidades requeridas son extremadamente bajas.

### **8.2.9. Elementos benéficos**

Algunos minerales pueden ser benéficos para el cultivo, en los últimos años se ha establecido que el silicio es un elemento importante que permite, incrementar el rendimiento del cultivo, esto se debería a un efecto sobre la regulación del estado hídrico de la planta, además se ha determinado que este elemento mejora la resistencia de la planta a enfermedades. El sodio puede sustituir algunas funciones periféricas realizadas por el potasio. Sin embargo, este efecto es importante en el caso de que el contenido de potasio en el suelo sea muy bajo, este efecto puede ser importante en suelos de la zona sur.

### **8.3. 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 (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 para el cultivo de papa, en la zona norte son el cinc, hierro y en menor medida el boro. Los micronutrientes cuantitativamente menos importantes son el manganeso, molibdeno y cloro.

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 la planta.

### **8.4. Evolución de la formación de materia seca y absorción de nutrientes en papa variedad Karú y Patagonia**

En ensayo realizado en la Parcela Experimental Pan de Azúcar se midió la extracción de nutrientes minerales en dos variedades de papa, Karú y Patagonia. Se utilizó semilla certificada y la plantación se realizó a fines de Septiembre de 2010, el cultivo se manejó mediante riego por goteo y se alcanzó un rendimiento de 60 ton ha<sup>-1</sup>.

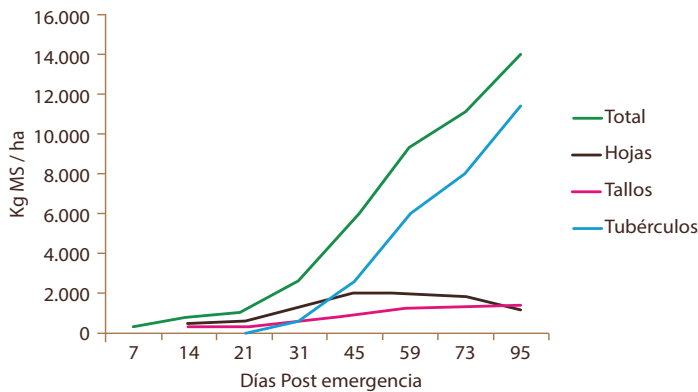
#### **8.4.1. Absorción de nutrientes por la variedad Karú**

En la Figura 15 se observa la evolución de la formación de materia seca del cultivo de papa, variedad Karú emergida el 22 de Octubre. La biomasa total alcanzó las 14 ton de materia seca, mientras que la biomasa de los tubérculos fue cercana a las 11 ton. Tallos y hojas hicieron el menor aporte a la biomasa total. Antes de los 31 días después de emergido el cultivo, las hojas representaron el mayor aporte de materia seca. A los 21 días después de emergencia el cultivo ya presentó una clara tuberización. Después de los 31 días de emergencia, la papa incrementó claramente la biomasa de tubérculos, y la tasa de formación de materia seca fue muy alta, debido a que el crecimiento inicial de la plantación, correspondió a principios del mes de Noviembre.



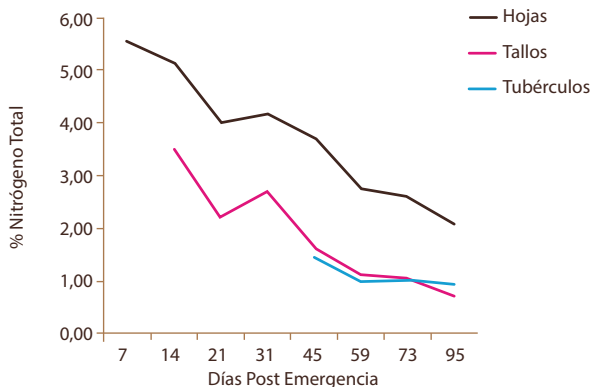
Después de los 45 días las hojas comenzaron a disminuir su aporte de materia seca. Esto sugiere que desde hojas y tallos se inicia una intensa translocación de nutrientes orgánicos y minerales, hacia los tubérculos.

A los 40 días post emergencia, el cultivo ya ha acumulado un total de 4.500 Kg/ha de materia seca. En ese momento la materia seca total formada se distribuyó en cantidades similares entre la parte aérea y los tubérculos. Esto significa que la máxima expresión de la parte aérea del cultivo se define en los primeros 45 días post emergencia de las plantas. Posteriormente, los tubérculos comienzan a acumular materia seca de manera lineal, hojas y tallos no incrementan su biomasa, generando fotosintatos que son directamente translocados hacia los tubérculos. Esta situación se mantiene hasta el final del cultivo. En la Figura 16 se presenta la evolución de la concentración de nitrógeno, ésta fue siempre más alta en las hojas, alcanzando al 5,5 % el séptimo día post emergencia, para decaer hasta 2 % a los 95 días. En los tallos se aprecia la misma tendencia pero la concentración es menor variando desde 3,5% a los 14 días después de emergida la planta hasta 0,7% a los 95 días. Los tubérculos presentaron una variación de concentración similar a los tallos entre los 45 y 95 días después de emergido el cultivo. Es decir, los tubérculos no presentaron altas concentraciones de nitrógeno, porque contenían principalmente almidón.



**Figura 15.** Evolución de la producción de materia seca, según diferentes estructuras de la planta, desde el día 7 hasta 95 días después de la emergencia del cultivo de papa variedad Karú, (Kg/ha).

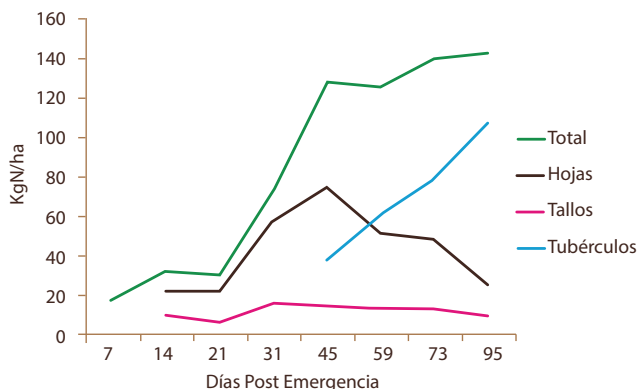




**Figura 16.** Evolución de la concentración de nitrógeno total, según diferentes estructuras de la planta, desde siete hasta 95 días después de la emergencia del cultivo de papa variedad Karú, (%N).

En la Figura 17 se presenta la extracción de nitrógeno por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total absorbida a los 95 días alcanzó los 140 Kg/ha de nitrógeno. Las hojas entre los 20 y 45 días después de emergidas las plantas presentaron la mayor extracción de nitrógeno. Esto significa que la fertilización nitrogenada debe aplicarse tempranamente, no más allá de los 25 a 30 días post emergencia, para formar el dosel de las plantas, el cual posteriormente será responsable del llenado de los tubérculos. Mientras que los tallos mantienen extracciones muy inferiores y constantes de nitrógeno. Después de los 45 días la tasa de absorción de nitrógeno por las hojas disminuyó significativamente, pero se mantuvo alta la tasa de absorción por los tubérculos. Sin embargo, gran parte del nitrógeno acumulado en los tubérculos correspondió a nitrógeno translocado desde hojas y tallos.

Cabe destacar que el rendimiento alcanzado por el cultivo fue de 60 ton/ha. La exportación de nitrógeno por los tubérculos alcanzó a los 100 Kg/ha.

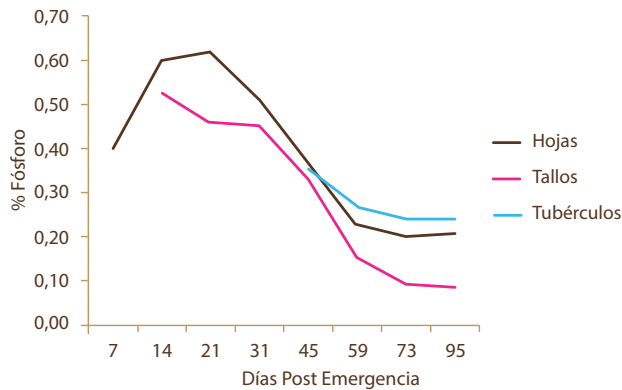


**Figura 17.** Extracción de nitrógeno en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (KgN/ha).



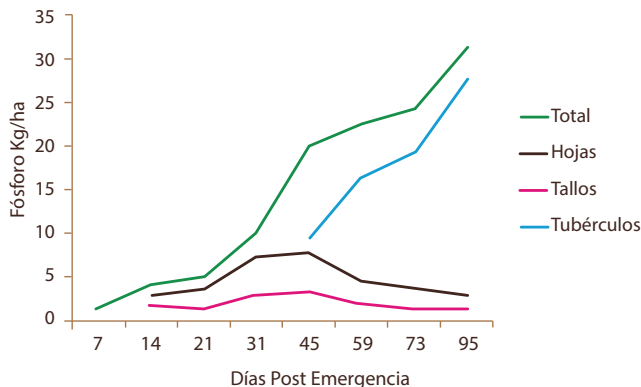
En la Figura 18 se presenta la evolución de la concentración de fósforo en el cv Karú, en los tejidos nuevos a los siete días de emergidos, la concentración de fósforo en las hojas fue cercana al 0,4% y se incrementó hasta el 0,6% a los 21 días después de emergencia. Luego comenzó a decrecer, para estabilizarse en 0,2% a los 73 días post-emergencia. En los tallos se apreció la misma tendencia pero la concentración fue menor, variando desde 0,5% a los 14 días después de emergida la planta, hasta menos de 0,1% a los 95 días. Los tubérculos presentaron una variación de concentración entre 0,35 y 0,25% entre los 45 y 95 días después de emergido el cultivo.

En la Figura 19 se observa la extracción de fósforo por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total absorbida a los 31 días alcanzó 10 Kg/ha de P, mientras que a los 95 días alcanzó los 32 Kg/ha de fósforo. Las hojas entre los 21 y 45 días post emergencia de las plantas presentaron la mayor extracción de fósforo, variando entre 7 y 8 Kg/ha. Después de los 45 días los tubérculos incrementaron intensamente la tasa de absorción de este nutriente, llegando a 27 Kg/ha P, ésta correspondió a la exportación neta de fósforo por los tubérculos, es decir el equivalente a 100 Kg de fosfato monoamónico. Gran parte del fósforo absorbido fue exportado a los tubérculos. Al igual que el nitrógeno, el fósforo fue absorbido y mantenido principalmente en las hojas y su mayor absorción se produjo hasta 45 días post emergencia de las plantas.



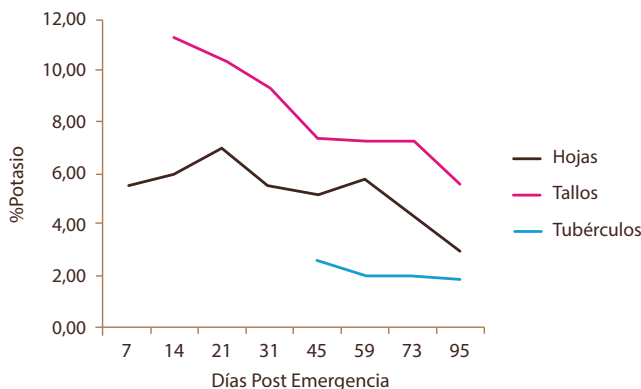
**Figura 18.** Evolución de la concentración de fósforo en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (%P).





**Figura 19.** Evolución de la extracción de fósforo en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (KgP/ha).

En la Figura 20 se presenta la evolución de la concentración de potasio en el cv Karú. En los tejidos nuevos a los 7 días de emergidos la concentración de potasio en los tallos fue mucho más alta que en las hojas, alcanzando el 11,5 % a 14 días post-emergencia, para decrecer hasta el 6% a los 95 días. Mientras que en las hojas inicialmente varió entre 6 y 7 % y luego disminuyó hasta el 3,0 % a los 95 días después de emergencia. Los tubérculos presentaron una variación de la concentración entre 2,5 y 2,0% entre los 45 y 95 días después de emergido. De los tres macronutrientes analizados, el potasio presentó la mayor concentración en los diferentes tejidos de la planta.

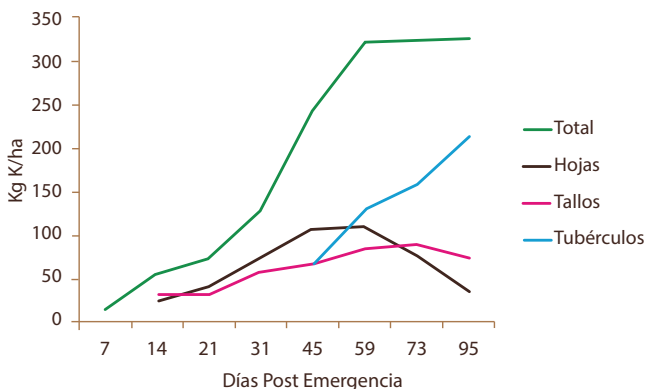


**Figura 20.** Evolución de la concentración de potasio en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (%K).

En la Figura 21 se observa la extracción de potasio por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total absorbida a los 95 días alcanzó a 320 Kg/ha de K. Las hojas entre los 14 y 45 días post emergencia de las plantas presentaron un notorio incremento de la extracción de potasio, variando entre 25 y 100 Kg/ha. Los tallos presentaron una menor extracción que alcanzó un



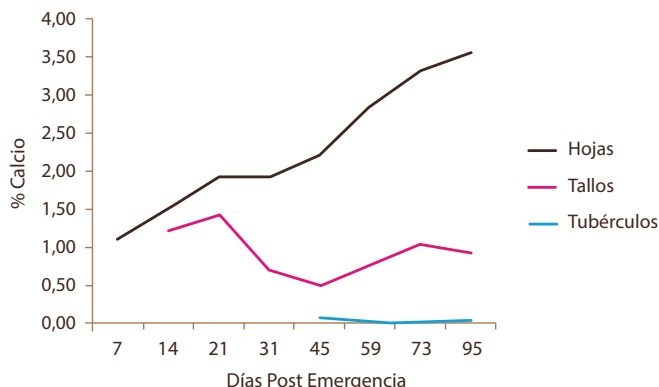
máximo a los 73 días. Después de los 45 días de emergencia, los tubérculos comenzaron a incrementar intensamente la tasa de absorción de potasio, llegando a 210 Kg/ha de K. Ésta correspondió a la exportación de potasio por los tubérculos, hojas y tallos. El resto del potasio absorbido fue reciclado, es decir 110 Kg/ha de K. La máxima cantidad de potasio absorbido se produjo a los 59 días post emergencia, principalmente en hojas y tallos, posteriormente este potasio absorbido es translocado hacia los tubérculos.



**Figura 21.** Evolución de la extracción de potasio en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg K/ha).

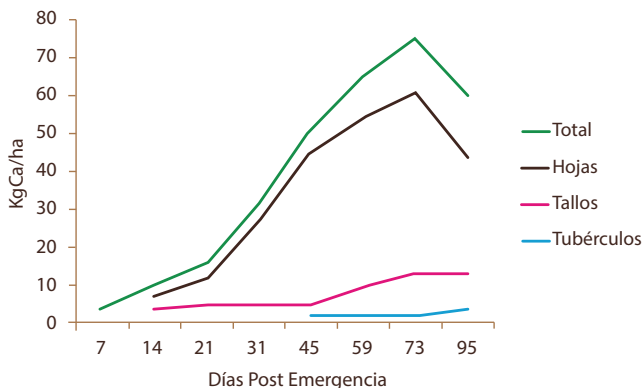
En la Figura 22 se presenta la evolución de la concentración de calcio en el cv Karú. A los 7 días de emergidos los brotes, en las hojas nuevas la concentración de calcio fue ligeramente superior al 1% y se incrementó linealmente hasta alcanzar el 3,5% a 95 días post-emergencia. En tallos fue más baja que en hojas, fluctuando entre 1 y 0,5%. Los tubérculos presentaron una muy baja concentración de calcio. Es importante destacar que la concentración de calcio en las hojas se incrementó a diferencia del caso del nitrógeno, fósforo y potasio. Es decir los requerimientos de calcio fueron más tardíos.





**Figura 22.** Evolución de la concentración de calcio en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (% Ca)

En la Figura 23 se observa la extracción de calcio por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total absorbida por los distintos tejidos a los 73 días alcanzó a 75 Kg/ha de calcio. Las hojas entre los 14 y 73 días post emergencia de las plantas presentaron la mayor cantidad de Ca y un claro incremento de su extracción, variando entre 6 y 60 KgCa/ha. Los tallos presentaron una menor extracción que alcanzó a 10 Kg/ha, a los 73 días. Los tubérculos presentaron la menor cantidad de calcio extraído por la planta. La removilización de calcio desde las hojas a los tubérculos fue baja, este elemento fue principalmente utilizado en las hojas. Además, fue absorbido mas tardíamente que nitrógeno y potasio.

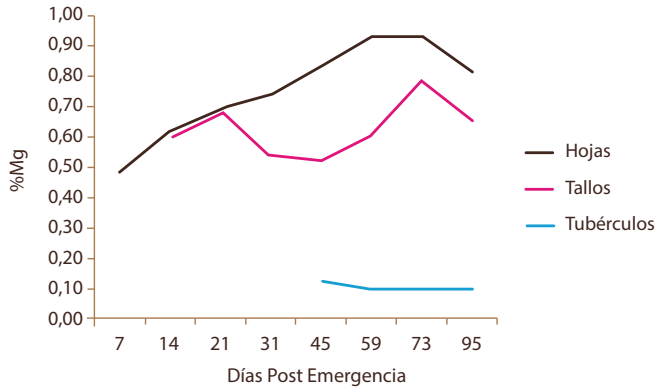


**Figura 23.** Evolución de la extracción de calcio en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (kgCa/ha).

En la Figura 24 se aprecia la evolución de la concentración de magnesio en el cv Karú. A los 7 días de emergidos los brotes, en las hojas nuevas la concentración de magnesio fue ligeramente inferior al 0,5% y se incrementó linealmente hasta alcanzar el 0,95% a los 59 días post-emergencia y

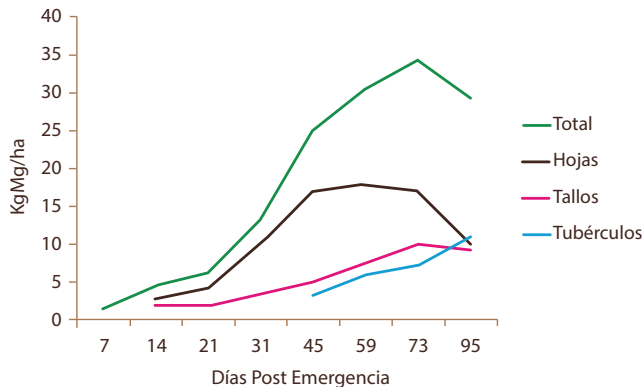


luego decrecer. En los tallos esta concentración fue más baja que en las hojas, fluctuando entre 0,60 y 0,75%. Los tubérculos presentaron una menor concentración de magnesio, que fluctuó alrededor del 0,1%. La evolución de la concentración de magnesio fue similar a la del calcio y se trasloca poco a los tubérculos, por lo tanto la extracción neta de magnesio desde el potrero es baja, pues recicla a través de hojas y tallos.



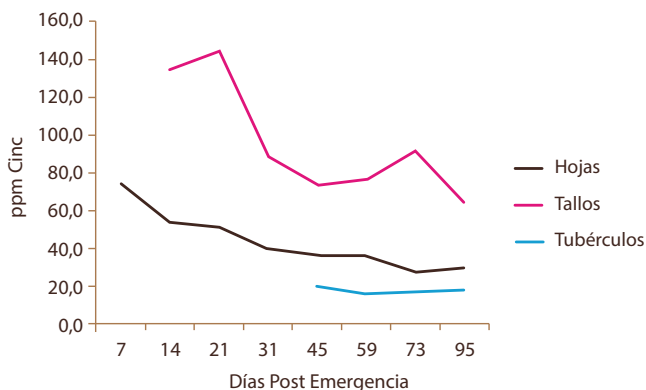
**Figura 24.** Evolución de la concentración de magnesio en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (%Mg).

En la Figura 25 se observa la extracción de magnesio por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total absorbida a los 73 días alcanzó a 34 Kg/ha de Mg. Las hojas extrajeron la mayor cantidad de magnesio, la mayor extracción se inició a los 21 días post-emergencia del cultivo, y alcanzó su máximo a los 45 días post emergencia de las plantas, alcanzando los 17 Kg/ha de magnesio extraído. Los tallos presentaron una menor extracción, que alcanzó un máximo a los 73 días. Después de los 45 días de emergencia, los tubérculos incrementaron la tasa de absorción de magnesio, llegando a 10 Kg/ha de Mg.



**Figura 25.** Extracción promedio de magnesio en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg Mg /ha).

En la Figura 26 se aprecia la evolución de la concentración de cinc en el cv Karú. En los tallos se acumuló la mayor cantidad de cinc, a los 14 días la concentración alcanzó a 140 mg/Kg y decayó a 80 mg/Kg a los 45 días. En las hojas nuevas a los 7 días de emergidos los brotes la concentración de zinc alcanzó los 75 mg/Kg y disminuyó hasta los 35 mg/Kg a los 95 días después de emergencia. Los tubérculos presentaron una concentración de zinc menor de 20 mg/Kg. La variedad Patagonia presentó una concentración ligeramente menor de zinc en los distintos tejidos, pero la distribución en el contenido fue similar a Karú, es decir, los tallos presentaron la mayor concentración y los tubérculos la menor concentración.

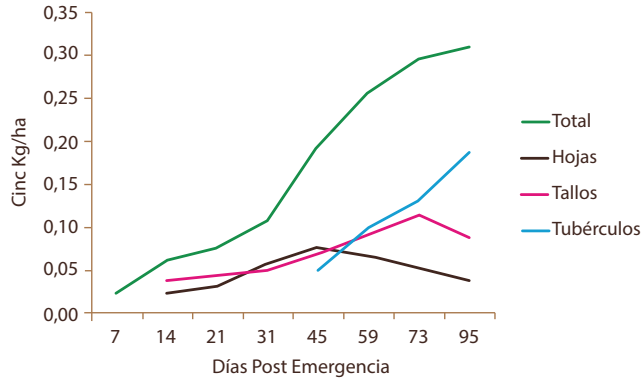


**Figura 26.** Evolución de la concentración de cinc en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Zn mg/Kg).

En la Figura 27 se observa la extracción de cinc por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total extraída a los 95 días alcanzó a 320 g/ha de cinc. Los tallos presentaron niveles más altos de extracción que las hojas, a los 73 días post-emergencia superaron los 100 g/ha de cinc. Las hojas presentaron una menor extracción de cinc, la mayor absorción se produjo a los 45 días post-emergencia del cultivo. Después de los 45 días de emergencia, las hojas disminuyeron gradualmente su concentración de cinc y se mantuvo la concentración más alta en los tallos. A partir de los 45 días los tubérculos incrementaron la tasa de absorción de cinc, llegando a 180 g/ha.

La variedad Patagonia presentó similar tendencia en cuanto a la extracción de cinc por los distintos tejidos, pero la absorción total fue más baja, alcanzando los 250 g/ha.



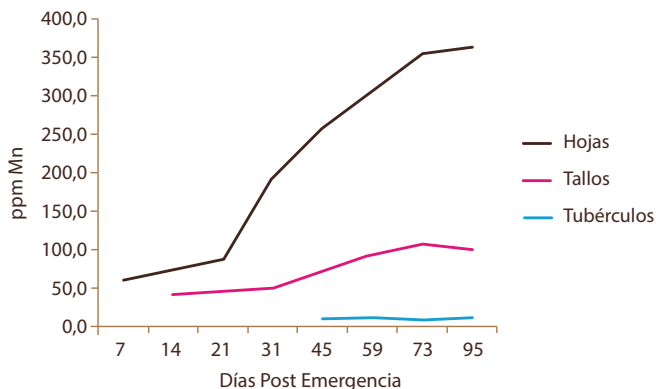


**Figura 27.** Evolución de la extracción de cinc en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Zn Kg/ha).

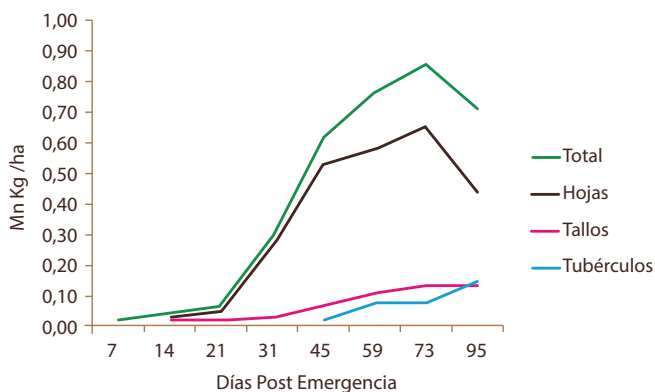
En la Figura 28 se presenta la evolución de la concentración de manganeso en el cv Karú. En las hojas se acumuló la mayor cantidad de manganeso, a los 7 días la concentración alcanzó a 55 mg/kg y se incrementó hasta 350 mg/kg de manganeso a los 95 días. A los 14 días, en los tallos emergidos, la concentración de manganeso en brotes alcanzó 48 mg/kg y se incrementó hasta 100 mg/kg a los 73 días después de emergencia. Los tubérculos presentaron una concentración de manganeso menor de 10 mg/kg. Los tubérculos presentaron una concentración de manganeso menor de 10 mg/kg.

La variedad Patagonia presentó una concentración similar de manganeso en los distintos tejidos, y la distribución en el contenido fue similar a Karú, es decir, los tallos presentaron la mayor concentración y los tubérculos la menor concentración.

En la Figura 29 se observa la extracción de manganeso por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total extraída a los 73 días alcanzó a 850 g/ha de manganeso. Las hojas determinaron una mayor extracción de manganeso, la mayor extracción se produjo a los 73 días post-emergencia del cultivo, alcanzando los 650 g/ha de Mn. Los tallos presentaron niveles más bajos de extracción que las hojas, a los 73 días post-emergencia la extracción no superó los 130 g/ha de manganeso. A partir de los 45 días, los tubérculos incrementaron la tasa de absorción de manganeso, llegando a 130 g/ha.



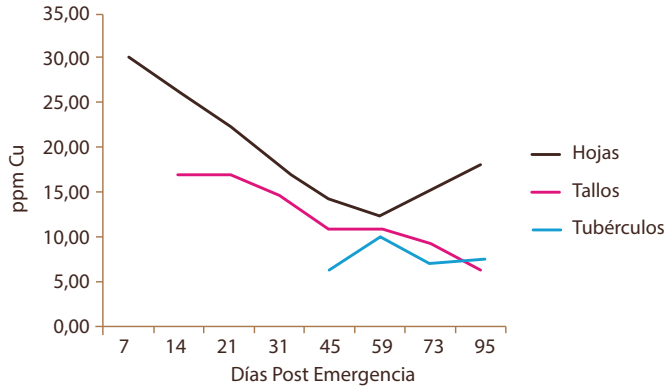
**Figura 28.** Evolución de la concentración promedio de manganeso en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Mn mg/Kg).



**Figura 29.** Evolución de la extracción de manganeso en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Mn Kg/ha).

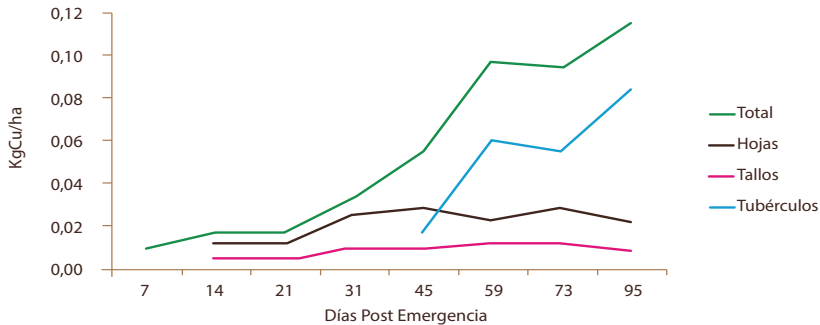
En la Figura 30 se aprecia la evolución de la concentración de cobre en el cv Karú. En las hojas se acumula la mayor cantidad de cobre, a los 7 días de emergidas las hojas, la concentración alcanza a 30 mg/Kg y decrece gradualmente hasta los 59 días. En los tallos a los 14 días de emergidos los brotes la concentración de cobre alcanza los 17 mg/Kg y disminuye hasta los 6 mg/Kg a los 95 días post-emergencia. Los tubérculos presentan una concentración de cobre que varía entre 5 y 10 mg/Kg.





**Figura 30.** Evolución de la concentración de cobre en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Cu ppm).

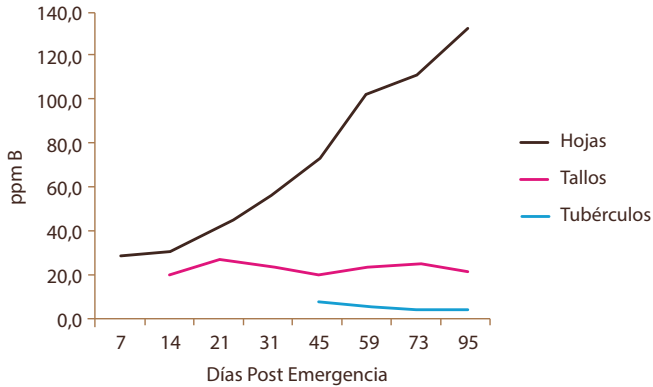
En la Figura 31 se observa la extracción de cobre por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total extraída a los 95 días alcanza a 115 g/ha de cobre. Los tubérculos extraen la mayor cantidad de cobre, incrementando su absorción desde los 45 días hasta los 95 días post emergencia del cultivo, variando entre 12 y 80 g/ha de cobre. Le siguen las hojas con niveles que oscilan entre 8 y 25 g/ha. Los tallos presentan los niveles más bajos de extracción que tubérculos y hojas, variando entre 5 y 10 g/ha de cobre.



**Figura 31.** Evolución de la extracción de cobre en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Cu Kg/ha).

Similarmente en la Figura 32 se aprecia la evolución de la concentración de boro en el cv Karú. En las hojas se acumula la mayor concentración de boro, a los 7 días de emergidas las hojas, la concentración alcanza a 30 mg/Kg y se incrementó gradualmente hasta los 95 días, alcanzando los 130 mg/Kg. En los tallos a los 14 días de emergidos los brotes, la concentración de boro

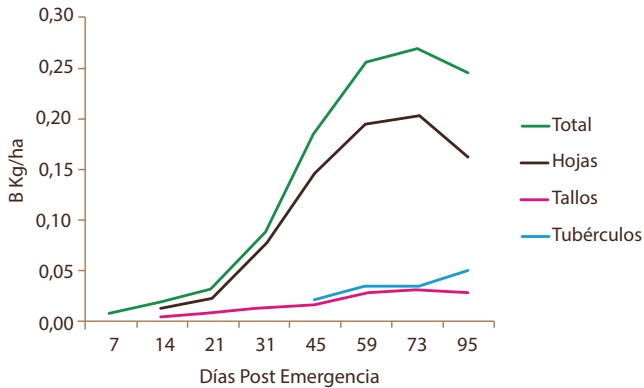
alcanzó los 20 ppm y se mantuvo la concentración hasta los 95 días post-emergencia. Los tubérculos presentaron una baja concentración de boro que varía entre 4 y 7 mg/Kg.



**Figura 32.** Evolución de la concentración de boro en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (ppm B).

En la Figura 33 se observa la extracción de boro por los distintos tejidos del cultivar Karú. La cantidad total extraída a los 73 días alcanzó a 270 g/ha de boro, las hojas extrajeron la mayor cantidad del elemento, mas de 200 g/ha. Los tallos presentaron niveles más bajos de extracción de boro, a los 14 días la extracción no superó los 5 g/ha de boro y logró su máximo a los 73 días con 25 g/ha.

Los tubérculos extrajeron una baja cantidad de boro, a los 45 días post emergencia alcanzó los 25 g/ha incrementando su absorción desde los 45 días hasta los 95 días post emergencia del cultivo, variando entre 12 y 80 g/ha de boro. Le siguen las hojas con niveles que oscilan entre 8 y 25 g/ha.



**Figura 33.** Evolución de la extracción de boro en papa variedad Karú, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (B Kg/ha).

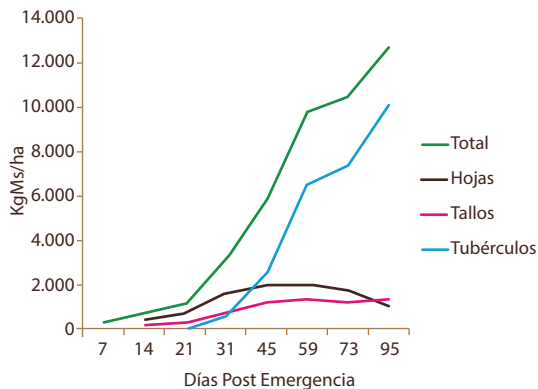


### 8.4.2. Absorción de nutrientes por la variedad Patagonia

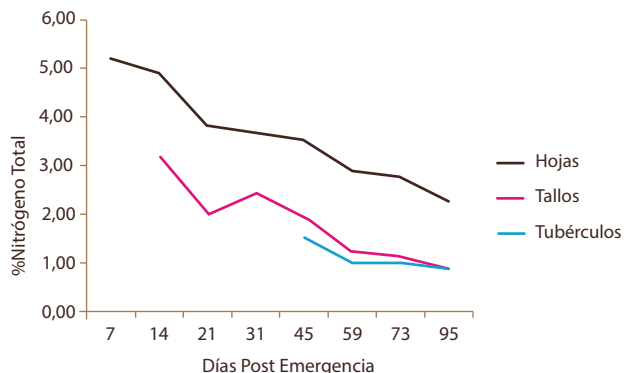
El patrón de absorción de nutrientes de la variedad Patagonia fue muy similar al de Karú. Sin embargo, Patagonia presentó niveles de formación de materia seca ligeramente inferiores. La tasa de formación de materia seca fue similar en ambas variedades, sin embargo Patagonia presentó una tasa inicial ligeramente mayor, (fig 34). En relación a la evolución de la concentración de nitrógeno en las hojas, en ambas variedades la tendencia fue igualmente similar, las dos variedades presentaron concentraciones que fluctuaron entre 5,2 y 5,5% de N, en los cultivares Patagonia y Karú respectivamente. A los 95 días, ambas variedades alcanzan valores del 2,3% de nitrógeno total en las hojas, mientras que los tubérculos alcanzaron el 1% en ambos cultivares, (fig 35). La extracción de nitrógeno se aprecia en la fig 36, a los 60 días desde la emergencia, el cultivo ha extraído 150 Kg/ha de nitrógeno.

La evolución de la concentración y extracción de macronutrientes presentó la misma tendencia y orden de magnitud en los distintos tejidos del cultivo, que en el caso de la variedad Karú. Esta información se puede apreciar en las figs 37, 38 para el fósforo, 39, 40, para el potasio; figuras 41, 42 para el calcio y finalmente las figuras 43 y 44 para el magnesio. Cabe señalar, que los resultados obtenidos de tasas de absorción de nutrientes en ambos cultivares es muy similar al obtenido por Sierra y col. (2002) en suelos trumaos de la zona sur en las variedades, Pimpernel y Desireé y por otros autores como (Soltanpour, 1969), (Kupers, 1972), (Mackie-Dawson, Millard y Robinson, 1990). Sin embargo, el rendimiento total alcanzado en los suelos trumaos del sur es bastante más alto.

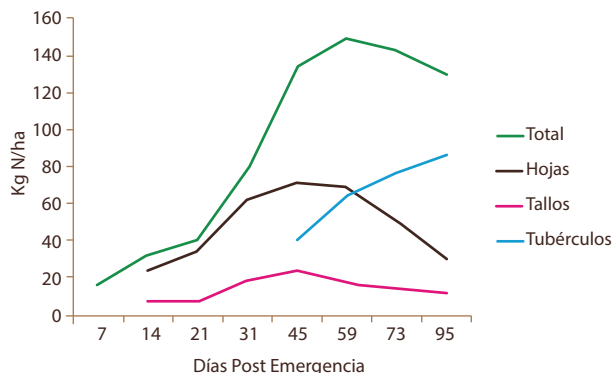
En relación a los micronutrientes, igualmente su evolución, concentración y extracción fue similar a la señalada para Karú, ver figs 45, 46 para el cinc, figuras 47, 48 para el manganeso; figuras 49, 50 para el cobre; y finalmente las figuras 51 y 52 para el boro. Sin embargo, la variedad Patagonia presentó una concentración ligeramente menor de zinc en los distintos tejidos, pero la distribución en el contenido es similar a Karú es decir los tallos presentan la mayor concentración y los tubérculos la menor concentración. .



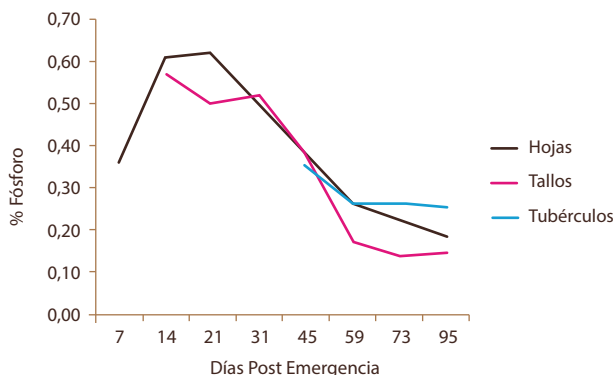
**Figura 34.** Evolución de la producción de materia seca en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg m.s./ha).



**Figura 35.** Evolución de la concentración de nitrógeno total en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (%N).

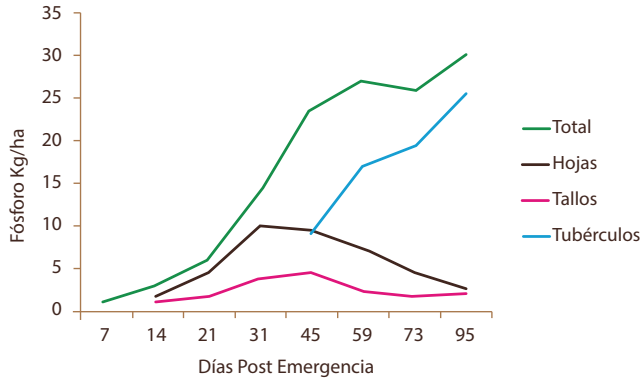


**Figura 36.** Evolución de la extracción de nitrógeno en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg N/ha).

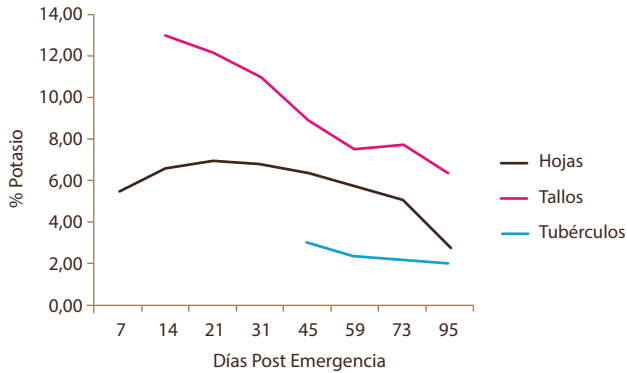


**Figura 37.** Evolución de la concentración de fósforo en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (P%).

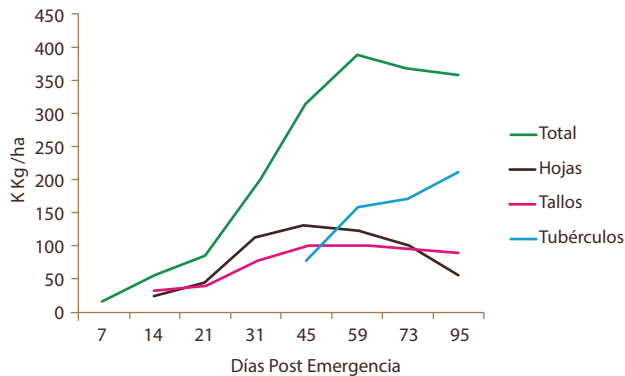




**Figura 38.** Evolución de la extracción de fósforo en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg P/ha).

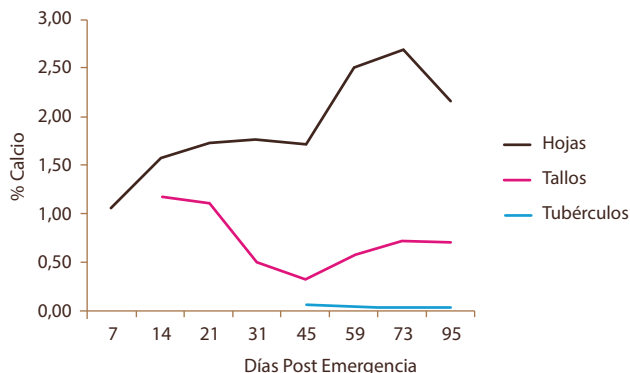


**Figura 39.** Evolución de la concentración de potasio en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (% K).

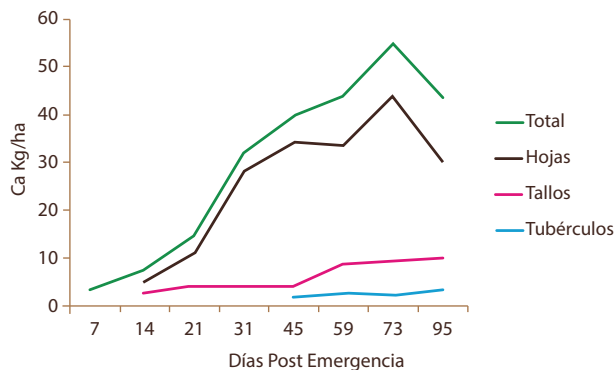


**Figura 40.** Evolución de la extracción de potasio en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (K Kg/ha).

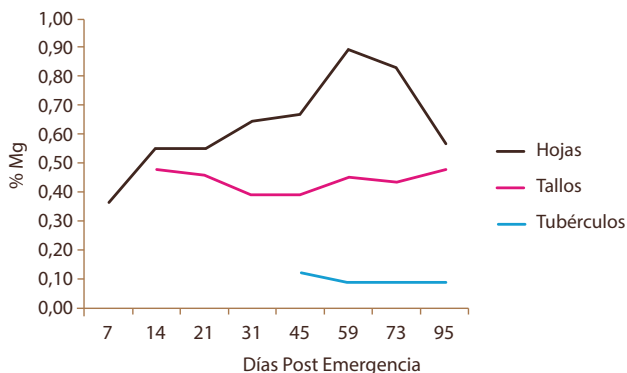




**Figura 41.** Evolución de la concentración de calcio en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (% Ca).

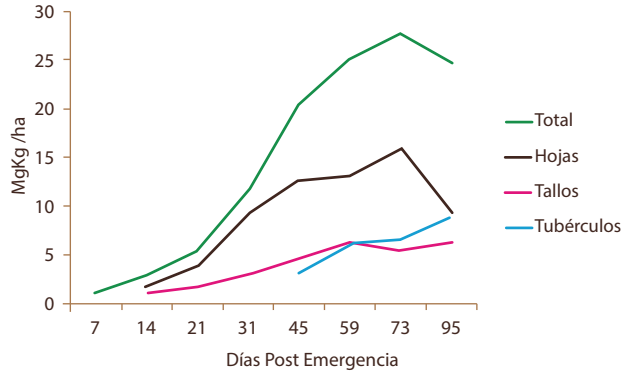


**Figura 42.** Evolución de la extracción de calcio en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg Ca/ha).

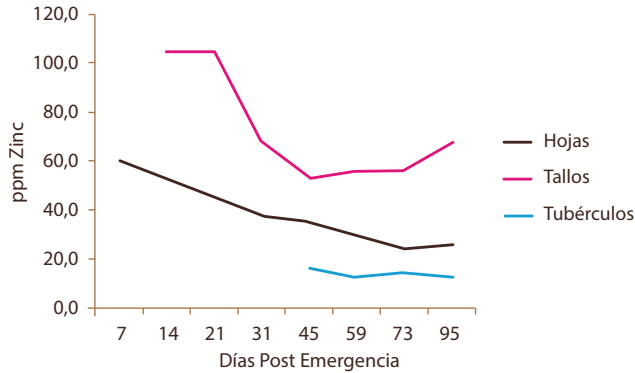


**Figura 43.** Evolución de la concentración de magnesio en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (% Mg).

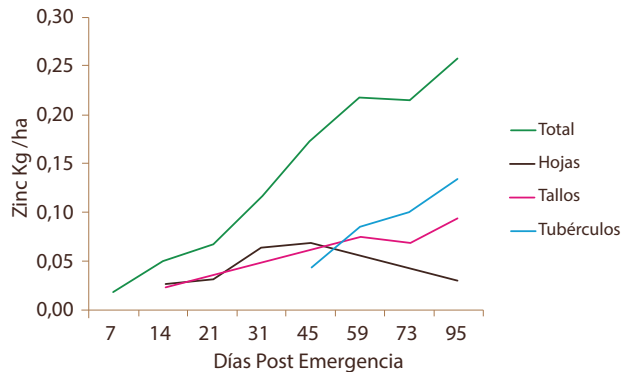




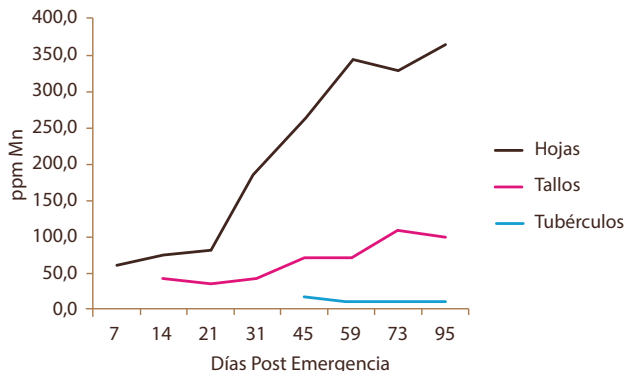
**Figura 44.** Evolución de la extracción de magnesio en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg Mg/ha).



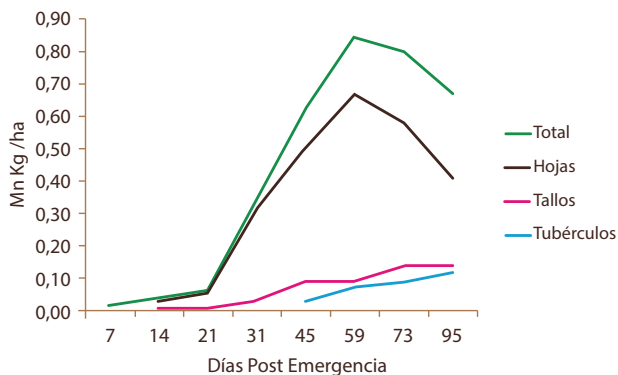
**Figura 45.** Evolución de la concentración de cinc en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (ppm Zn).



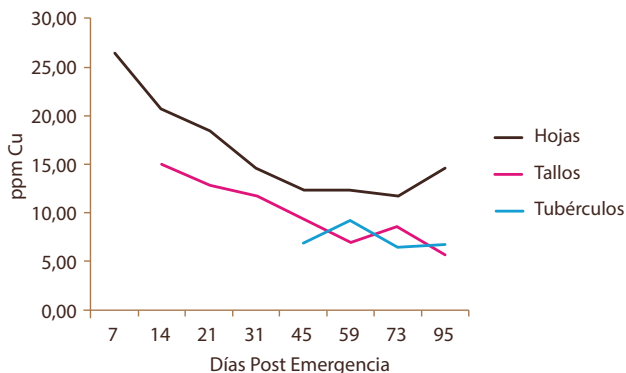
**Figura 46.** Evolución de la extracción de cinc en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (zinc Kg/ha).



**Figura 47.** Evolución de la concentración de manganeso en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Mn mg/Kg).

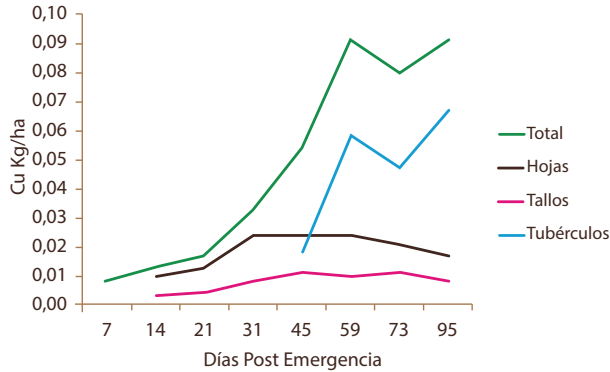


**Figura 48.** Evolución de la extracción de manganeso en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, ( Mn Kg/ha).

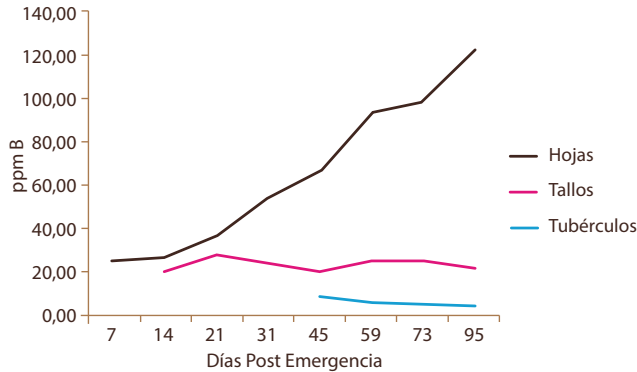


**Figura 49.** Evolución de la concentración de cobre en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Cu mg/Kg).

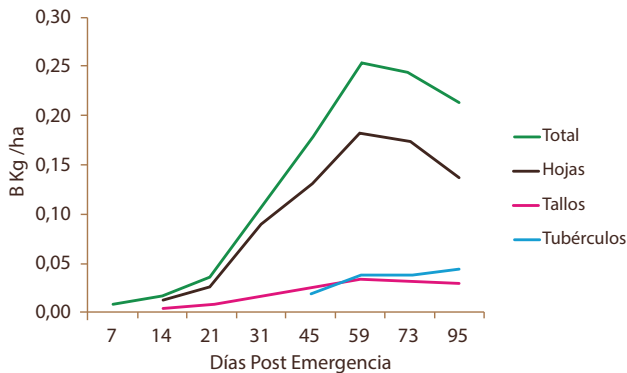




**Figura 50.** Evolución de la extracción de cobre en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Cu Kg/ha).



**Figura 51.** Evolución de la concentración de boro en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (B mg/Kg).



**Figura 52.** Evolución de la extracción de boro en papa variedad Patagonia, según diferentes estructuras de la planta, desde siete días después de la emergencia del cultivo, (Kg B/ha).



## Conclusiones

Para un cultivo de primavera, y con un rendimiento de 60 ton/ha de tubérculos, el cultivo

- Forma una biomasa total de 14 ton/ha de materia seca a los 95 días de emergido.
- A los 60 días post emergencia el cultivo ha extraído alrededor de 150 Kg/ha de nitrógeno, 480 Kg/ha de óxido de potasio, 850 g de manganeso, 260 g de boro y 94 g de cobre.
- A los 95 días post emergencia el cultivo ha consumido 68,7 Kg/ha de P205, 78,4 Kg/ha de CaO, 260 g de cinc y a los 73 días post emergencia ha extraído 44,8 Kg/ha de MgO.

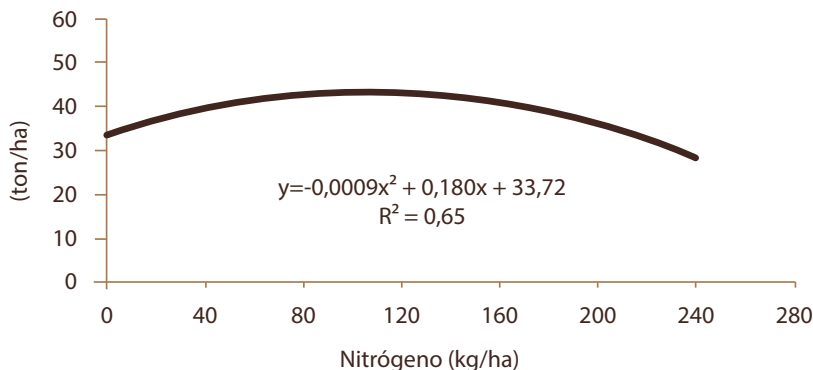
### 8.5. Respuesta del cultivo de papa a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio

#### 8.5.1. Respuesta al Nitrógeno.

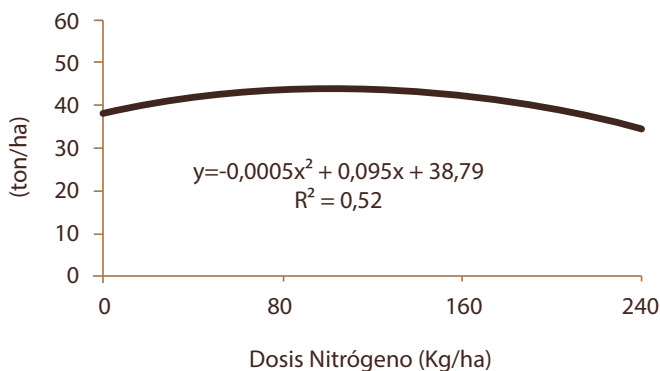
En la Figura 53 se muestra el efecto de cuatro dosis de nitrógeno en la producción comercial de papa cv Cardinal, en ensayo realizado en la Parcela Experimental Pan de Azúcar. En este caso la respuesta del cultivo al nitrógeno en producción no es importante, de acuerdo a esta información, la dosis óptima económica de nitrógeno (DOE) para el caso del experimento de la figura 53 alcanzó a 100 KgN/ha, asumiendo un precio de \$ 650 el kg de nitrógeno como urea y \$ 150 el kg de papa, alcanzando un rendimiento cercano a las 40 ton/ha de papa. La moderada respuesta a la fertilización con nitrógeno se puede explicar por el nivel medio de nitrógeno mineral inicial detectado por el análisis de suelo, 32 mg/Kg de N disponible, lo que implica una disponibilidad de 96 Kg/ha en la capa arable del suelo. Además a esto se debería agregar la mineralización de los residuos del cultivo anterior, normalmente alrededor de 40 Kg/ha es decir, el suelo podría haber aportado unos 136 Kg/ha de nitrógeno para el cultivo, además corresponde a un cultivo de primavera

El efecto de cuatro dosis de nitrógeno en la producción comercial de papa cv Cardinal, se muestra en la Figura 54 en ensayo realizado en suelo de textura arcillosa, la Florida de Elqui. La respuesta de la papa al nitrógeno es muy baja y bastaría con aplicar 90 Kg/ha de N (DOE calculada), para lograr la máxima producción del cultivo, alrededor de 40 ton/ha de papa. Dosis más altas deprimen el rendimiento. La escasa respuesta al nitrógeno se explica por el alto contenido de nitrógeno mineral inicial detectado por el análisis de suelo, 71 mg/Kg de N disponible, lo que sugiere una disponibilidad para el cultivo de 195 KgN/ha en el suelo. Es importante destacar que esta corresponde a plantación realizada en Marzo, esto también ayuda a explicar la escasa respuesta a la fertilización nitrogenada. A fines de verano y principios de otoño el suelo presenta los niveles de nitrógeno disponible más altos.





**Figura 53.** Efecto de cuatro dosis de nitrógeno (urea) en la producción comercial de papa cv Cardinal, suelo Xeres, Pan de Azúcar, ton/ha.1996.



**Figura 54.** Efecto de cuatro dosis de nitrógeno en la producción comercial de papa cv Cardinal, suelo La Florida de Elqui, ton/ha.1996.

### 8.5.2. Respuesta al Fósforo

Elemento fundamental que estimula de manera importante la fructificación de las plantas, en el caso de la papa, mejora la tuberización, (Laughlin, Martin y Smith, 1974), (Vander Zaag y Kagenzi, 1986). En la fig 55 se muestra el efecto de cuatro dosis de fósforo (superfosfato triple) en la producción comercial de papa cv. Cardinal, en ensayo realizado en suelo franco arcilloso serie la Florida de Elqui, regado por surco. El tratamiento testigo permitió alcanzar el máximo rendimiento, con 42 ton/ha. La aplicación de fósforo deprimió el rendimiento, en dosis mayores de 150 Kg/ha de P205 esto sugiere que suelos con niveles cercanos a 60 mg/kg de P disponible, no requieren ser fertilizados con este elemento, sin embargo otra explicación para este efecto puede ser falta de agua, carencia de cinc y el alto pH del suelo (8,1).

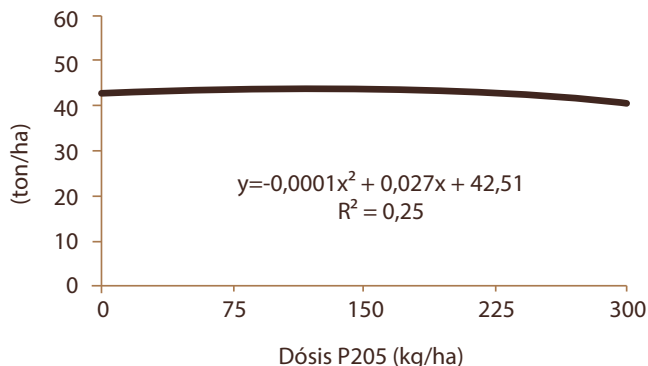


Figura 55. Efecto de cuatro dosis de fósforo en la producción comercial de papa cv Cardinal, suelo La Florida de Elqui, ton/ha.1996.

### 8.5.2.1. Efecto de fósforo en papa cv. Asterix, en suelo arcilloso serie Barriales

#### Antecedentes Generales del Ensayo

En el predio Santa Rosa se estableció ensayo de papa, con la variedad Asterix. La plantación se realizó en Septiembre de 2008. Se establecieron parcelas de 375 m<sup>2</sup>, considerando 10 hileras de cultivo de 50 m de largo por 7,5 m de ancho, configurando una superficie total de 2.625 m<sup>2</sup>, que incluyeron 7 tratamientos de fertilización. Los fertilizantes se aplicaron al voleo y luego se incorporaron con rastraje. El ensayo se manejó con riego por cinta, antes de aplicar los tratamientos se obtuvo una muestra de suelo a 25 cm de profundidad. El ensayo se muestreó para análisis foliar el 4 de Diciembre de 2008. El arreglo de campo consideró 4 repeticiones.

#### Resultados de análisis de suelo inicial del sitio experimental con el cultivo de papa

En el Cuadro 33 se presenta el nivel de fertilidad inicial del suelo. Destaca la baja relación C/N del suelo, lo que es un indicador del bajo contenido de carbono del suelo. En el Cuadro 34 se presentan los resultados del análisis inicial de cationes de intercambio. El nivel de calcio es medio a bajo para la textura franco arcillosa del suelo, los niveles de magnesio son altos y la relación Ca:Mg es muy estrecha. En el cuadro 35 se muestran los contenidos de micronutrientes, el más deficitario corresponde al cinc.

En el Cuadro 36 se presenta el rendimiento y calibre de los tubérculos de papa, logrados con las diferentes dosis de fósforo aplicado. Es importante destacar que aun con 37 mg/Kg de fósforo disponible, el cultivo responde significativamente a la fertilización con fósforo, al nivel de 140 Kg/ha de P205. La pobre condición física y el alto pH del suelo explican esta respuesta. Este incremento de rendimiento se explica por el mejoramiento en el calibre de los tubérculos

#### Resultados de análisis peciolar de los diferentes tratamientos del cultivo de papa

En el Cuadro 37 se muestran las concentraciones de nutrientes presentes en los pecíolos de papa. Los contenidos de nitrógeno total son adecuados, los contenidos de nitratos se incrementan a mayor dosis de fósforo aplicado. Los niveles de fósforo no se incrementaron al aplicar mas fósforo, esto se explica porque el nivel inicial de fósforo es alto, 37 ppm.



El contenido de potasio es alto y los niveles de calcio y magnesio en general son adecuados, destaca la menor absorción de calcio a medida que aumenta la dosis de fósforo. Los contenidos de sodio foliar son bajos, la saturación de potasio en el suelo es alta comparada con la de sodio, esto explicaría la menor absorción de sodio.

En el Cuadro 38 se presentan los contenidos de micronutrientes. Los niveles de cinc se presentan cercanos al nivel mínimo, de manganeso ligeramente altos, y adecuados en el caso de cobre y boro.

**Cuadro 33.** Análisis de fertilidad inicial del suelo, antes de establecer el ensayo, Septiembre de 2008. Predio Santa Rosa, Sector Pan de Azúcar sur.

| pH  | C. E | M. O | N     | Relación | N          | P  | K   |
|-----|------|------|-------|----------|------------|----|-----|
|     | dS/m | %    | Total | C/N      | Disponible |    |     |
|     |      |      | %     |          | mg / Kg    |    |     |
| 8,0 | 3,3  | 1,3  | 0,094 | 6,9      | 54         | 37 | 654 |

**Cuadro 34.** Análisis inicial de Cationes de Intercambio (Ca, Mg, Na y K), Suma de Bases y Saturación de Cationes, muestra compuesta, Septiembre de 2008. Sector Pan de Azúcar sur.

| Cationes Intercambio |     |     |     | $\Sigma$<br>Bases | Saturación |      |     |      |
|----------------------|-----|-----|-----|-------------------|------------|------|-----|------|
| Ca                   | Mg  | Na  | K   |                   | Ca         | Mg   | Na  | K    |
| cmol+/Kg             |     |     |     |                   | %          |      |     |      |
| 7,2                  | 6,2 | 0,9 | 1,7 | 16,0              | 45,0       | 38,8 | 5,6 | 10,6 |

**Cuadro 35.** Análisis inicial de Micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu), muestra compuesta, Septiembre de 2008. Sector Pan de Azúcar sur.

| Micronutrientes |    |    |    |   |
|-----------------|----|----|----|---|
| Fe              | Zn | Mn | Cu | B |
| mg / Kg         |    |    |    |   |
| 11              | 1  | 11 | 6  | 2 |



**Cuadro 36.** Rendimiento según calibre consumo, broza y total de tubérculos de papa, cv. Asterix. 27 Enero de 2009. Sector Pan de Azúcar (ton/ha).

| Tratamientos | Rendimiento |       |        |
|--------------|-------------|-------|--------|
|              | Comercial   | Broza | Total  |
| $P_2O_5$ /ha | Ton/ha      |       |        |
| 0            | 38,8 bc     | 2,0 b | 40,8 b |
| 110          | 37,0 cd     | 3,3 b | 40,3 b |
| 140          | 42,8 a      | 1,7 a | 44,5 a |

\*Letras iguales indican que no existe diferencias significativas ( $P \leq 0,05$  según Test de Tukey).

**Cuadro 37.** Análisis foliar a plena flor (pecíolo) en cv Asterix, muestreado el 04 de diciembre de 2008.

| Tratamientos<br>$P_2O_5$ /ha | N     | NH4   | N-NO3 | P    | K    | Ca   | Mg   | Na   |
|------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|                              | Total |       |       |      |      |      |      |      |
|                              | %     | mg/Kg |       | %    |      |      |      |      |
| 0                            | 2,36  | 277   | 2.815 | 0,38 | 7,6  | 1,07 | 0,34 | 0,02 |
| 110                          | 2,21  | 336   | 7.042 | 0,34 | 10,1 | 0,87 | 0,42 | 0,02 |
| 140                          | 2,27  | 165   | 7.637 | 0,35 | 10,3 | 0,85 | 0,43 | 0,02 |

**Cuadro 38.** Análisis de micronutrientes en pecíolos a plena flor cv Asterix, muestreado el 04 de Diciembre de 2008.

| Tratamientos<br>$P_2O_5$ /ha | Cinc  | Manganeso | Cobre | Boro |
|------------------------------|-------|-----------|-------|------|
|                              | mg/Kg |           |       |      |
| 0                            | 31    | 100       | 7     | 48   |
| 110                          | 20    | 67        | 12    | 26   |
| 140                          | 20    | 62        | 10    | 25   |
| Nivel suficiente             | + 20  | + 30      | + 4   | +20  |

## CONCLUSIONES

- El rendimiento alcanzado por el cultivo fue moderadamente alto, variando entre 40,8 y 44,5 ton/ha.
- El fósforo aplicado incrementó significativamente el rendimiento total del cultivo respecto del testigo sin fósforo, en el suelo con 37 mg/Kg de P disponible y pH 8.
- El fósforo incrementó el calibre de los tubérculos, con la dosis más alta de fósforo.
- El alto pH del suelo y la pobre condición física de éste, explican la respuesta obtenida en calidad de tubérculos, aun con estos niveles moderadamente altos de P disponible.
- El cinc se presenta como el micronutriente en niveles más bajos en los pecíolos de papa.



### 8.5.2.2. Efecto de Fósforo en papa cv Patagonia, predio Pan de Azúcar

#### Antecedentes Generales del Ensayo.

En la Parcela Experimental Pan de Azúcar de INIA, se estableció un experimento de papa a fines de Noviembre de 2008, con la variedad Patagonia. La fuente fosfatada usada fue fosfato monoamónico aplicado al voleo y luego incorporado al suelo. La dosis de nitrógeno se ajustó a un mismo nivel para todos los tratamientos. Antes de aplicar los tratamientos se obtuvo una muestra de suelo a 25 cm de profundidad. El ensayo se muestreó para análisis foliar, a inicios de Diciembre de 2008.

En el Cuadro 39 se presenta el nivel de fertilidad inicial del suelo. Lo más destacable del análisis es la baja materia orgánica y la baja relación C/N. El contenido de nitrógeno disponible es ligeramente bajo y el contenido de P disponible o extractable moderadamente alto. El nivel de potasio fue adecuado para la textura del suelo.

En el Cuadro 40 se muestra el nivel de cationes intercambiables del suelo. El contenido de calcio no es alto, mientras que el de magnesio fue adecuado, la relación Ca:Mg es baja de 3,3 el nivel de sodio es ligeramente bajo y el contenido de potasio es adecuado.

En el Cuadro 41 se muestra el contenido de micronutrientes presentes en el suelo. La disponibilidad de todos estos oligoelementos fue adecuada, sin embargo el manganeso presenta contenidos moderadamente altos.

La respuesta del cultivo a la aplicación de fósforo se presenta en la figura 56. Se aprecia una respuesta significativa hasta 180 Kg/ha de P205, alcanzando 42 ton/ha de rendimiento comercial de tubérculos. A pesar de que el suelo presentó un nivel moderadamente alto de fósforo disponible, 33 mg/kg y un pH 6,8. Esta respuesta al fósforo considerando el nivel alto de disponibilidad, se explicaría por la mala condición física del suelo.

**Cuadro 39.** Análisis de fertilidad inicial, noviembre de 2008. Parcela Experimental Pan de Azúcar.

| pH  | C. E  | M. O | N     | Relación | N          | P  | K   |
|-----|-------|------|-------|----------|------------|----|-----|
|     | mS/cm | %    | Total | C/N      | Disponible |    |     |
|     |       |      | %     | mg/Kg    |            |    |     |
| 6,8 | 1,4   | 1,03 | 0,08  | 6,4      | 29         | 33 | 265 |

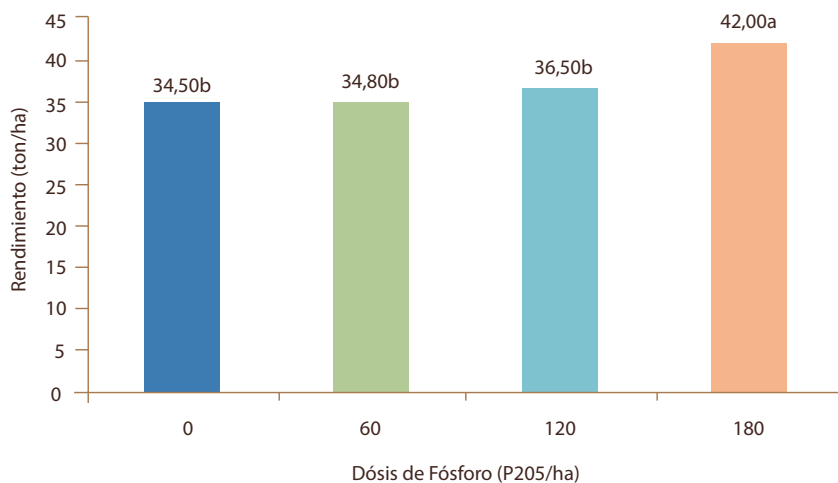
**Cuadro 40.** Análisis inicial de Cationes de Intercambio (Ca, Mg, Na y K), Suma de Bases y Saturación de Cationes. Noviembre de 2008. Parcela Experimental Pan de Azúcar.

| Cationes Intercambio |     |     |     | $\Sigma$<br>Bases | Saturación |      |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-------------------|------------|------|-----|-----|
| Ca                   | Mg  | Na  | K   |                   | Ca         | Mg   | Na  | K   |
| cmol+/Kg             |     |     |     |                   | %          |      |     |     |
| 6,6                  | 2,0 | 0,4 | 0,7 | 9,7               | 67,9       | 20,9 | 4,2 | 7,0 |



**Cuadro 41.** Análisis inicial de micronutrientes Fe, Zn, Mn, Cu. Parcela Experimental Pan de Azúcar.

| Micronutrientes |    |    |    |   |
|-----------------|----|----|----|---|
| Fe              | Zn | Mn | Cu | B |
| mg / Kg         |    |    |    |   |
| 28              | 5  | 41 | 8  | - |



**Figura 56.** Efecto de fósforo sobre el rendimiento comercial de papa cv Patagonia, en suelo serie Xeres Parcela Experimental Pan de Azúcar. Significancia al 10%, según test de Duncan.

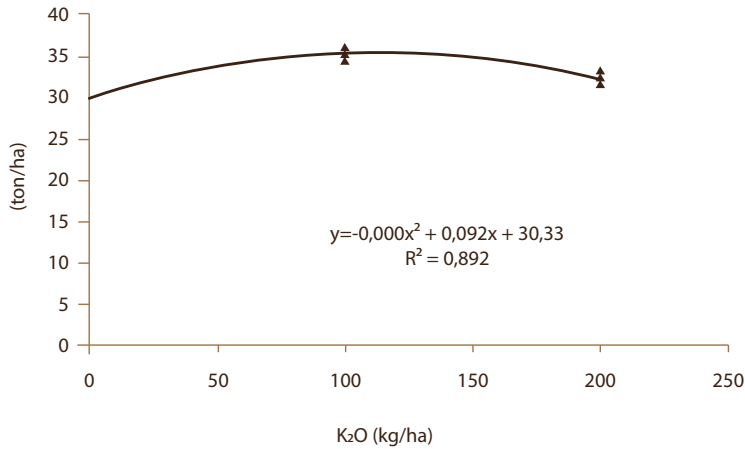
### 8.5.3. Respuesta al Potasio

En la figura 57 se muestra el efecto de tres dosis de potasio (sulfato de potasio) en la producción comercial de papa cv. Cardinal, en ensayo realizado en suelo de textura franca, serie Xeres, ubicado en la Parcela Experimental de INIA en Pan de Azúcar. La respuesta del cultivo a la aplicación de potasio fue moderada, variando entre 30,5 y 35 ton/ha de rendimiento de papa, para el tratamiento sin potasio y la dosis con 100 Kg/ha de K20. El suelo presentaba un nivel inicial de 197 mg/kg de potasio de intercambio. La fertilización base con nitrógeno y fósforo aplicada alcanzó a 160 y 150 Kg/ha respectivamente.

En el cuadro 40 se muestra el contenido de nutrientes y algunos parámetros de la fertilidad química del suelo. El contenido de nitrógeno mineral fue medio, y el fósforo pudo igualmente ser considerado en la misma categoría. El contenido de potasio fue adecuado considerando la textura del suelo. El pH del suelo es ligeramente neutro y el contenido de materia orgánica es bajo. El contenido de sales solubles fue bajo, 1,5 dS/m de conductividad eléctrica. En tanto el contenido de calcio y magnesio fue medianamente alto y el nivel de sodio, moderadamente alto y muy relacionado con el parámetro de conductividad eléctrica.



En la figura 58 se muestra el efecto de tres dosis de potasio (sulfato de potasio) en la producción comercial de papa cv. Cardinal, en ensayo realizado en suelo de textura franco arcillosa, serie la Florida de Elqui. El tratamiento testigo sin aplicación de potasio alcanzó el máximo rendimiento 41 ton/ha. Al aplicar potasio el rendimiento disminuyó, esto se explicaría por el alto contenido inicial de K de intercambio en el suelo 817 mg/kg. La saturación de potasio alcanzó a 13,3 %. En suelos arcillosos se sugiere contenidos de potasio de intercambio no mayores de 500 mg/kg y una saturación de potasio no superior al 7 %. Este efecto depresivo del potasio puede explicarse por el efecto salino del fertilizante, cabe señalar que la salinidad inicial alcanzada en el sitio era de 3,2 dS/m o por efecto de desbalance nutricional con magnesio.

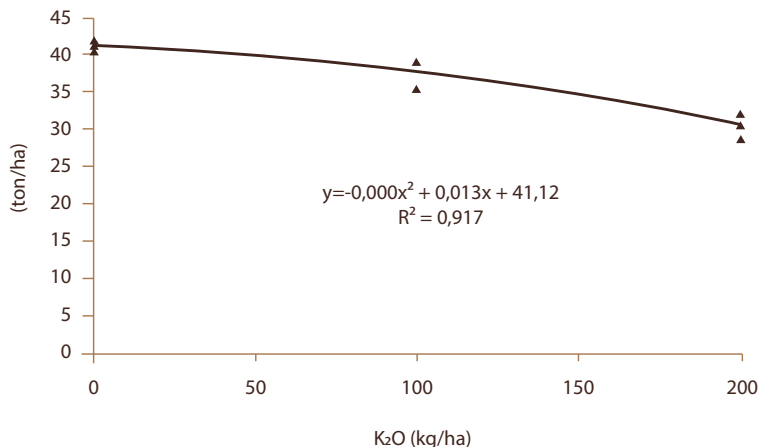


**Figura 57.** Efecto de tres dosis de potasio en la producción comercial de papa cv Cardinal, Centro Experimental Pan de Azúcar, ton/ha.

**Cuadro 42.** Nivel de fertilidad inicial del suelo, de sitio con experimento de papa. Centro Experimental Pan de Azúcar.

| pH  | C.E  | M.O | N     | P  | K   | Ca          | Mg  | Na   |
|-----|------|-----|-------|----|-----|-------------|-----|------|
|     | dS/m | %   | mg/Kg |    |     | meq / 100 g |     |      |
| 7,5 | 1,5  | 1,3 | 36    | 21 | 197 | 8,4         | 1,9 | 0,64 |





**Figura 58.** Efecto de tres dosis de potasio (sulfato de potasio) en la producción comercial de papa cv Cardinal, suelo La Florida de Elqui, ton/ha, 1996.

## Conclusiones

- La dosis óptima de nitrógeno obtenida en dos ensayos, para cultivos plantados en Septiembre y Marzo es cercana a los 100 Kg/ha. La época de plantación es un factor relevante que determina la dosis de nitrógeno a aplicar.
- En relación al fósforo, la papa respondió aun, con niveles de 35 mg/kg de P disponible Olsen. Con niveles de 60 mg/Kg se produce un efecto depresivo de la fertilización fosfatada.
- Con 197 mg/Kg de potasio de intercambio se incrementó la producción, en 4,5 ton/ha al aplicar 100 Kg/ha de óxido de potasio.
- Con 817 mg/Kg de potasio de intercambio se deprimió la producción, al aplicar fertilización potásica.



## Capítulo 9

### Fuentes fertilizantes

#### 9.1. Efecto de diferentes fuentes fertilizantes

##### 9.1.1. Nitrógeno

El cultivo de papa prefiere un aporte equilibrado de nitrato y amonio, el exceso de amonio, especialmente en riego localizado inhibe la absorción de potasio. La ventaja de los nitratos es su rápida absorción por las raíces de la planta, pero son susceptibles de lixiviarse por exceso de riego y en suelos pobres en carbono lábil, (Whitley y Davenport, 2003).

##### 9.1.2. Fósforo

El fosfato monoamónico es más eficiente su absorción por la planta comparado con el superfosfato triple, pero ambos igualmente son fijados por el suelo. Otra fuente fosfatada más eficiente aun es el fosfito (anhídrido fosforoso), fuente que permanece disponible por más tiempo en el suelo, favoreciendo su absorción por las plantas. El problema es su alto costo por unidad nutriente. Los polifosfatos no se fijan tan rápidamente en el suelo, debido a que corresponde a fósforo orgánico que es retenido temporalmente por la biomasa microbiana del suelo y liberado por efecto de la mineralización, su efecto puede ser de acción más lenta. Las rocas fosfóricas no son recomendables para suelos de la zona norte por su baja capacidad de liberación de fósforo, debido al alto pH de los suelos.

##### 9.1.3. Potasio

La solubilidad de las fuentes potásicas puede ser un factor importante de considerar especialmente en las plantaciones de invierno, por el efecto negativo de las bajas temperaturas del suelo sobre la solubilidad del fertilizante. El orden ascendente de solubilidad de los fertilizantes que contienen potasio es Sulpomag menos soluble, le sigue el Sulfato de potasio, Nitrato de potasio y Muriato de potasio el más soluble, el cual presenta el inconveniente de su gran aporte de cloruros. En caso de usar muriato de potasio, aplicarlo en suelos de muy buen drenaje y no regados con agua de pozo.

Para las siembras de otoño e invierno se deben preferir fertilizantes de mayor solubilidad, para favorecer su máxima absorción en la época fría.

##### 9.1.4. Calcio

Las fuentes de calcio más utilizadas corresponden al yeso agrícola y nitrato de calcio, el primero de mucho menor solubilidad que el nitrato.

##### 9.1.5. Magnesio

El sulfato de magnesio y nitrato de magnesio son las más usadas, sin embargo en muchas especies de cultivos, el nitrato de magnesio presenta una mejor respuesta.



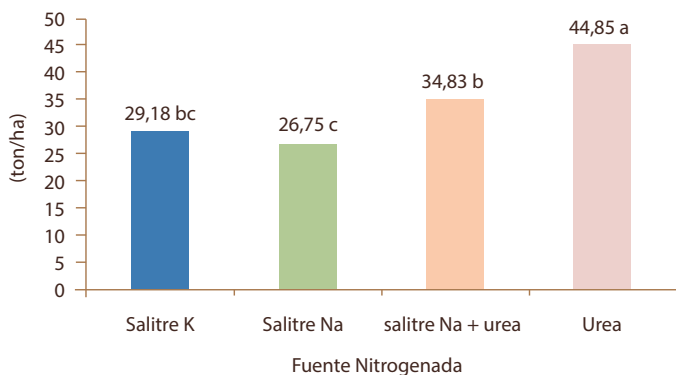
## 9.2. Resultados Experimentales de ensayo de fuente nitrogenada y potásica

En suelo arcilloso serie la Florida de Elqui se realizó experimento con papa variedad Cardinal, con el objetivo de evaluar diferentes fuentes nitrogenadas y potásicas, en ensayo manejado mediante riego por surcos. Nitrógeno y potasio son dos elementos de gran importancia en la nutrición de la papa, (James y col, 1994), (Joern and Vitosh, 1995), (Locascio y col, 1992), (Maier, 1986). También el efecto de fuente nitrogenada afecta la absorción del nitrógeno por la planta, (Lorenz y col. 1974). Por otra parte, la fuente de potasio aplicada también es importante de considerar, (Panique y col. 1997).

En la figura 59 se aprecia que el salitre sódico presentó el menor rendimiento, mejorando ligeramente al aplicar salitre potásico. La mezcla urea + salitre sódico presentó un mayor rendimiento alcanzado las 34,83 ton/ha. Sin embargo, la mejor fuente en este caso correspondió a la urea, que permitió alcanzar 44,85 ton/ha de rendimiento. El efecto acidificante de la urea posiblemente explica el mejor comportamiento de esta fuente. El efecto de la urea será mejor cuando el contenido de K de intercambio sea más alto, mayor de 400 mg/Kg, aproximadamente.

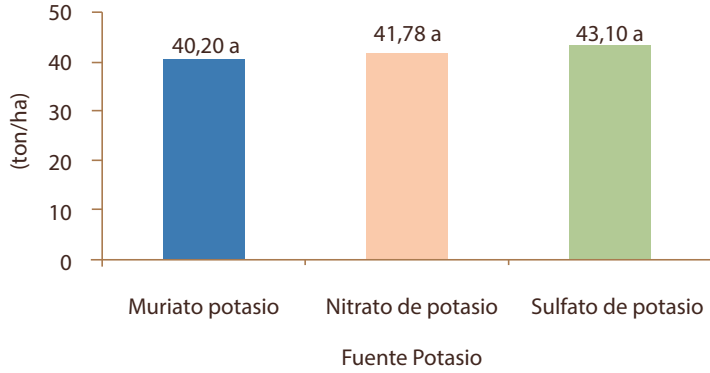
En la figura 60 se aprecia que las tres fuentes potásicas evaluadas presentaron similar comportamiento productivo. Cabe destacar, que el contenido de potasio de intercambio inicial del suelo era bastante alto, 817 mg/Kg. La restricción para usar el muriato de potasio es el alto contenido de cloruro, su ventaja es su alta solubilidad. Esta fuente podría aplicarse en suelos franco arenosos de muy buen drenaje y regados con aguas de canal.

Respecto de las fuentes potásicas se pueden señalar el sulfato, nitrato y cloruro de potasio. Todas estas fuentes son adecuadas y permiten aportar el potasio requerido por el cultivo. Sin embargo, el muriato de potasio debe aplicarse con moderación para evitar una eventual toxicidad por el exceso de cloruros. No recomendable aplicarlo en suelos de textura media y fina y regados con agua de pozo. En general en la zona es poco recomendable su uso. Es importante señalar que el potasio mejora de manera significativa el calibre y la calidad del tubérculo.



Letras distintas indican diferencia significativa al 10% según prueba de Duncan.

**Figura 59.** Efecto sobre el rendimiento comercial de papa cv Cardinal de distintas fuentes de nitrógeno, en suelo arcilloso La Florida de Elqui.



**Figura 60.** Efecto sobre el rendimiento comercial de papa cv Cardinal de tres fuentes de potasio, en suelo arcilloso La Florida de Elqui.





## Capítulo 10

# Época de aplicación de los fertilizantes

### 10.1 Nitrógeno.

La época de aplicación del nitrógeno es un factor fundamental para lograr un rápido crecimiento de las plantas, 45 días después de la emergencia del cultivo toda la fertilización con nitrógeno debe estar aplicada, esto puede ser variable dependiendo de la precocidad del cultivar. En suelos de textura arenosa, el nitrógeno debe paralizarse en dos o tres aplicaciones, para favorecer la permanencia de una adecuada concentración de nitrógeno en la zona de raíces. En riego por goteo la aplicación de nitrógeno puede ser mas paralizada aún, fertirrigando dos veces por semana con nitrógeno, (Starck y col, 1993).

En riego por surco y en suelos de textura media, en primavera el nitrógeno debe aplicarse un 65% de la dosis total a la plantación y el 35% restante, no más allá de 45 días después de la emergencia de las plantas, al momento de la aporca, con plantas de 12 a 15 cm de altura. Se debe preferir como fuente, nitrógeno nítrico, o fuente mixta de amonio y nitrato por su rapidez de acción. En siembras de mediados de otoño la fertilización nitrogenada debe aplicarse un 55% a la plantación y el 45% restante, 40 días después de la emergencia.

En riego por goteo, la aplicación puede ser mas paralizada dosificando semanalmente, sin embargo igualmente se debe aplicar todo el nitrógeno no más de 45 días post emergencia de las plantas.

### 10.2 Fósforo

Elemento poco móvil, aun cuando depende de la textura del suelo. Debe aplicarse el 100% de la dosis al momento de la plantación, en el caso de suelos de textura franca y arcillosa y riego por surco. En el caso de usar dosis muy altas, por baja disponibilidad del suelo y pensando en obtener un alto rendimiento se puede aplicar un 35% de la dosis al voleo incorporado antes de la plantación. Al regar mediante goteo se sugiere aplicar un 25% de la dosis total durante el crecimiento del cultivo. Este porcentaje puede ser mayor si la textura del suelo es muy liviana.

### 10.3 Potasio

En suelos de textura media y fina presenta baja movilidad, por lo tanto se debe aplicar todo al momento de la plantación. Sin embargo, al usar dosis muy altas, 400 ó 500 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, es recomendable aplicar una parte antes de la plantación (50%) 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 paralización de la dosis de potasio pero no más allá de 45 días desde la emergencia de las plantas. En riego por goteo, la aplicación puede ser mas paralizada dosificando semanalmente, sin embargo la fertilización con potasio se puede extender hasta no más de 60 días post emergencia de las plantas.

### 10.4 Calcio

Si es necesaria la aplicación de calcio, se puede usar como fuente nitrato de calcio. El yeso agrícola (Ca SO<sub>4</sub>), es una fuente mucho menos soluble y este se debe aplicar antes de la siembra, o mezclado con los fertilizantes. La incorporación junto a la mezcla de fertilizantes dependerá de la dosis a aplicar. En el caso de aplicar dosis muy altas, más de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> se sugiere aplicarlo solo al voleo e incorporarlo mediante rastraje antes de la plantación. Dosis muy altas de nitrógeno pueden inducir una menor absorción de calcio. Sin embargo, normalmente los suelos presentan altos contenidos de calcio. En riego por goteo la absorción de calcio se puede ver desfavorecida por efecto de desbalance generado en la zona del bulbo húmedo, debido a la aplicación de dosis altas de nitrógeno y potasio.

### 10.5 Magnesio

Este elemento generalmente 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. En suelos



arenosos se recomienda su aplicación a la plantación, bajo esta condición un exceso de potasio puede inducir una deficiencia de magnesio, (Kwok y Ulrich 1974).

### 10.6 Azufre

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, si se sospecha una deficiencia de este elemento. Sin embargo, el agua de riego hace aportes significativos de azufre como sulfato.

### 10.7 Micronutrientes

Si el rendimiento esperado es alto, mayor de 35 t ha<sup>-1</sup> y en siembras de otoño se sugiere la aplicación de cinc principalmente, este se debe aplicar junto a la mezcla de fertilizantes. Aplicaciones de hierro y cinc pueden ser importantes de considerar su aplicación vía foliar en suelos con carbonatos y de pH mayor de 7,8. Especialmente en siembras de fines de otoño e inicios de invierno. En relación al boro, el aporte de este elemento por las aguas el río Elqui son importantes, por lo tanto, su aplicación como fertilizante puede no ser importante de considerar para el cultivo de papa.



# Capítulo 11

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

### 11.1. 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. Dosis altas de nitrógeno como urea u otra fuente amoniacal en las cercanías de la semilla puede inducir una deficiencia de potasio por desbalance de ambos elementos en la zona de raíces.

La forma de aplicación de N está relacionada con la época y la dosis. En siembras de fines de otoño e invierno es recomendable localizar la fertilización base. Mientras que en primavera y verano es más recomendable aplicar la fertilización al voleo, por el riesgo de generar una alta salinidad junto a la semilla, especialmente al usar dosis altas. La dosis a aplicar será otro factor determinante de la forma de aplicación. Dosis altas de N-P-K recomendables en suelos con baja fertilidad será importante localizar una fracción (50%) y el resto aplicarlo al voleo, para evitar concentrar salinidad en las cercanía de la semilla.

### 11.2. Fósforo

La movilidad del fósforo en el suelo es escasa y depende del contenido de arcilla, a mayor contenido de arcilla su movilidad es muy baja, se estima no más de 1 cm desde la periferia del gránulo del fertilizante. Mientras en suelos arenosos su movilidad puede ser bastante mayor.

Cabe señalar que en suelo franco arenoso de Vicuña se detectó fósforo disponible a 60 cm. de profundidad, después de un año, comparado con un tratamiento testigo sin aplicar, al agregar 240 Kg/ha de P205. Por otra parte, la solubilidad de los fosfatos es baja por lo tanto su índice salino es bajo, lo que permite hacer aplicaciones importantes de este elemento en las cercanías de la semilla sin generar efectos depresivos en la producción, siempre que no sean fosfatos amoniacales. Sin embargo, dosis altas en las cercanías de las raíces pueden inducir a una deficiencia temprana de zinc en las plantas jóvenes. En caso de aplicar fosfatos amoniacales se pueden quemar brotes por efecto del amonio. 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 fósforo medio en el suelo permiten explicar estos resultados. Es altamente probable que en un suelo con un bajo contenido de fósforo disponible (menos de 5 ppm) el efecto de localización sea benéfico en relación a la aplicación al voleo. Este efecto positivo de la localización del fertilizante fosfatado fue observado claramente al cultivar arveja en un suelo pobre en fósforo serie La Compañía de Vallenar, (Sierra y Salinas, 2004). Este efecto se puede agudizar si se maneja el riego de manera deficitaria, debido a que el fósforo mejora su disponibilidad en la solución del suelo con un adecuado contenido de humedad. En resumen, en suelos pobres en fósforo es recomendable corregir con dosis altas aplicadas al voleo y/o aplicar el fósforo localizado en bandas junto a la



semilla. En suelos con niveles medios y en siembras de otoño e invierno es más recomendable localizar la fertilización con fósforo

### 11.3. Potasio

El potasio es poco móvil en suelos con niveles de arcilla mayores del 15%. Sin embargo en suelos arenosos (<5 % de arcilla) presenta más movilidad. La localización del potasio es deseable, sin embargo 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, 300 a 500 Kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup>, 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 la época, la dosis a aplicar y el nivel de fertilidad inicial del suelo.
- En siembras de otoño es más recomendable localizar la fertilización, en siembras de primavera tardía y verano es más recomendable incorporar el fertilizante al voleo.
- Altas dosis de fertilizantes deben incorporarse al voleo en todo el suelo, previo a la plantación.
- En suelos de baja fertilidad con escaso historial de abonado es muy recomendable localizar la fertilización.
- Dosis normales de nutrientes deben aplicarse en forma localizada con máquina plantadora, especialmente en época de otoño e invierno.
- No aplicar fertilizantes en el mismo surco de plantación, y menos en siembras tardías.



## Capítulo 12

# Fertilización y su relación con otros factores de Manejo

### 12.1. Fertilización y riego

Bajo las condiciones del norte chico, el riego juega un rol fundamental en la nutrición de las plantas, debido a la carencia de aportes naturales de precipitaciones, el riego es indispensable para lograr una adecuada producción de las plantas. El agua es el vehículo que facilita el movimiento de los nutrientes hacia las raíces, solubiliza las sales favoreciendo su absorción por las raíces, hace posible la mineralización de la materia orgánica activa del suelo, liberando nitrógeno y fósforo inorgánico, disponible para las raíces de las plantas. Todo esto, es posible gracias a la actividad biomásica de los microorganismos, los cuales requieren humedad para su crecimiento y desarrollo.

El agua de riego aporta sales, muchas de ellas benéficas para las plantas y el suelo, caso de sales de calcio, magnesio, potasio y otra gran cantidad de sales como bicarbonato, cloruro y sodio. (Cuadro 43) Los aportes naturales de bicarbonato que aporta el agua del canal Bellavista, son alrededor de 158,6 mg/L, una parte de ellos actúan como agente cementante, pues precipitan y forman carbonato ya sea de calcio y de magnesio. En una temporada de riego asumiendo una tasa de 10.000 m<sup>3</sup>/ha, ingresan al suelo 1.586 Kg/ha de bicarbonato, esto incrementa y/o mantiene el pH alto en el suelo y una fracción de este precipitará y formará carbonatos, que afectan negativamente la condición física y química del suelo, pero gran parte de este bicarbonato se lixivia por el exceso de riego o por efecto de las lluvias invernales.

La práctica del riego además determina y modifica la aireación del suelo, después de un riego por tendido el suelo se satura y el nivel de oxígeno disminuye dramáticamente, afectando el crecimiento radicular de las plantas, esta situación se ve intensificada si el suelo no ha sido previamente subsolado. Esta práctica, permite incrementar el movimiento del agua en profundidad, disminuyendo el tiempo de saturación del suelo, cabe destacar que bastan 5 horas que el suelo este saturado para que las raíces de las plantas disminuyan drásticamente la absorción de nutrientes. De acuerdo a lo señalado, en riego por cinta el subsolado podría ser menos relevante, pues el volumen de agua es mucho más manejable, lo que promovería una mejor aireación del suelo. También, el exceso de riego favorece la lixiviación de nitrógeno fuera de la zona de raíces, en suelos franco arenosos incluso el calcio, potasio y fósforo se pueden lixiviar. El riego localizado de bajo volumen será más útil en suelos que infiltran bien de textura franco arenosa, no compactados. Además, el exceso de riego promueve la aparición de enfermedades en la papa, como pié negro (erwinia) y rizoctonia, también el exceso de riego produce la liberación de excesos de manganeso disponible.

El riego debe considerarse como el factor agronómico mas importante en la agricultura del norte, los cultivos se deben regar según su estado de crecimiento, textura, profundidad efectiva del suelo y demanda hidrológica.



**Cuadro 43.** Aporte de algunos elementos químicos por el agua de riego del canal Bellavista, asumiendo una tasa de riego anual de 10.000 m<sup>3</sup>/ha.

| Elemento    | Kg/ha |
|-------------|-------|
| Calcio      | 1.280 |
| Magnesio    | 292   |
| Potasio     | 51    |
| Sodio       | 483   |
| Azufre      | 545   |
| Bicarbonato | 1.586 |

Nota: Azufre S-S04

## 12.2. Efecto de dos tasas de riego en Papa variedad Patagonia, Pan de Azúcar, Enero 2013

A fines de Septiembre de 2012 se estableció ensayo de campo, en la parcela experimental Pan de Azúcar para evaluar el efecto de dos tasas de riego, con la variedad Patagonia tipo certificada, proveniente del Centro de Producción de Semilla de papa del INIA-Purranque. En los cuadros 44, 45 y 46 se presenta el nivel de fertilidad inicial del suelo, obtenido en muestras colectadas a 20 cm de profundidad. El pH del suelo es ligeramente ácido, el nivel de salinidad es bajo y normal para los suelos de la zona, el contenido de materia orgánica es bajo y el contenido de nitrógeno disponible es medio, mientras que el contenido de fósforo disponible Olsen es medio-alto. El contenido de potasio es adecuado, considerando la textura media del suelo. El nivel de cationes es medio y acorde con la textura media del suelo, la saturación de potasio es ligeramente baja, mientras que la de calcio y magnesio es más adecuada. En relación al contenido de micronutrientes, presentan niveles adecuados y ligeramente alto el nivel de boro. Para el cultivo de papa se aplicó fertilización base N-P-K y luego vía fertirrigación se inyectó nitrógeno y potasio. Las tasas de riego consistieron en aplicar el 100 y el 133 % de la ETc. Que correspondieron el 100 % de la ETc a 6.378 m<sup>3</sup> y el 133 % de la ETc a 8.537 m<sup>3</sup>/ha de agua aplicada.

La demanda hidrológica se obtuvo a partir de la información registrada en la estación agrometeorológica Lilen del CEAZA. La diferente tasa de riego aplicada se logró usando goteros de distinta precipitación. Las dosis de nitrógeno aplicada fue de 100 Kg/ha, aplicando nitrato de amonio y sulfato de potasio, cabe señalar que el cultivo anterior fue alcachofa. En la fig 61 se aprecia el efecto del riego sobre el rendimiento comercial de papa, al aplicar más del 100 % de la ETc no se incrementó el rendimiento del cultivo, es decir el exceso de humedad disminuyó el rendimiento del cultivo.



**Cuadro 44.** Nivel de fertilidad de macronutrientes del suelo, parcela Experimental Pan de Azúcar.

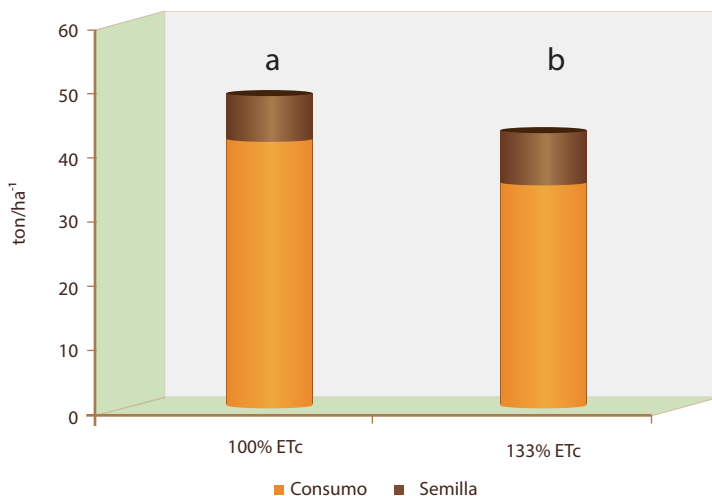
| pH  | C.E  | M O | N disp | P disp | K interc |
|-----|------|-----|--------|--------|----------|
|     | dS/m | %   | ppm    | ppm    | ppm      |
| 6,8 | 1,3  | 1,6 | 34     | 33     | 161      |

**Cuadro 45.** Contenido de Cationes de Intercambio y Saturación de cationes, parcela Experimental Pan de Azúcar.

| Cationes de Intercambio |     |     |     |            | Saturación de cationes |      |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|------------|------------------------|------|-----|-----|
| Ca                      | Mg  | K   | Na  | Suma bases | Ca                     | Mg   | K   | Na  |
| cmol(+)/Kg              |     |     |     |            | %                      |      |     |     |
| 7,2                     | 2,2 | 0,4 | 0,5 | 10,2       | 71,3                   | 21,7 | 3,7 | 4,5 |

**Cuadro 46.** Contenido de micronutrientes, parcela Experimental Pan de Azúcar.

| Hierro | Manganeso | Zinc | Cobre | Boro |
|--------|-----------|------|-------|------|
| mg/kg  |           |      |       |      |
| 21     | 30        | 6    | 8     | 3    |



Letra indica diferencia entre tratamientos de riego  $p < 0.05$  Duncan

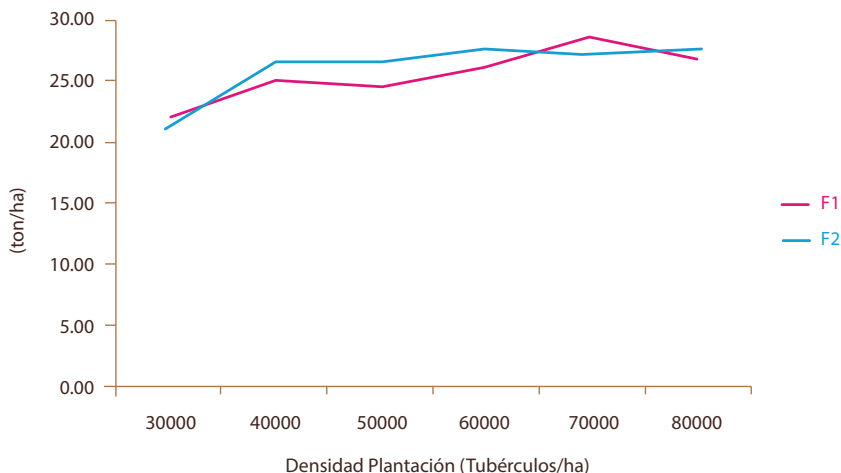
**Figura 61.** Efecto sobre el rendimiento comercial  $\text{ton ha}^{-1}$  en papa cv. Patagonia de dos tasas de riego. Parcela Experimental INIA Intihuasi, Enero 2013.

### 12.3. Fertilización y densidad de plantación

En las localidades de El Romero y Coquimbito se realizaron dos experimentos de campo para evaluar el efecto de dos fórmulas de fertilización y distintas poblaciones de tubérculos con el cultivar Cardinal. Se aplicaron dos mezclas fertilizantes denominadas F1 y F2, la primera incluyó 160, 150 y 200 Kg/ha de N-P-K y la segunda 250, 200 y 300 Kg/ha de N-P-K respectivamente.

En la figura 62 se aprecia la producción de papa cv Cardinal según distintas poblaciones de tubérculos y dos tratamientos de fertilización N-P-K desarrollado en la localidad de El Romero. El rendimiento de la papa fluctuó entre 22 y 28 ton/ha, para las poblaciones con 30 y 70 mil tubérculos plantados. Se produjo un incremento significativo de la producción de papa con la población de 40 mil sobre la población con 30 mil plantas. Con mayores poblaciones de tubérculos no se observó un aumento significativo de la producción. Además, la mayor fertilización con N-P-K no incrementó significativamente el rendimiento de la papa.

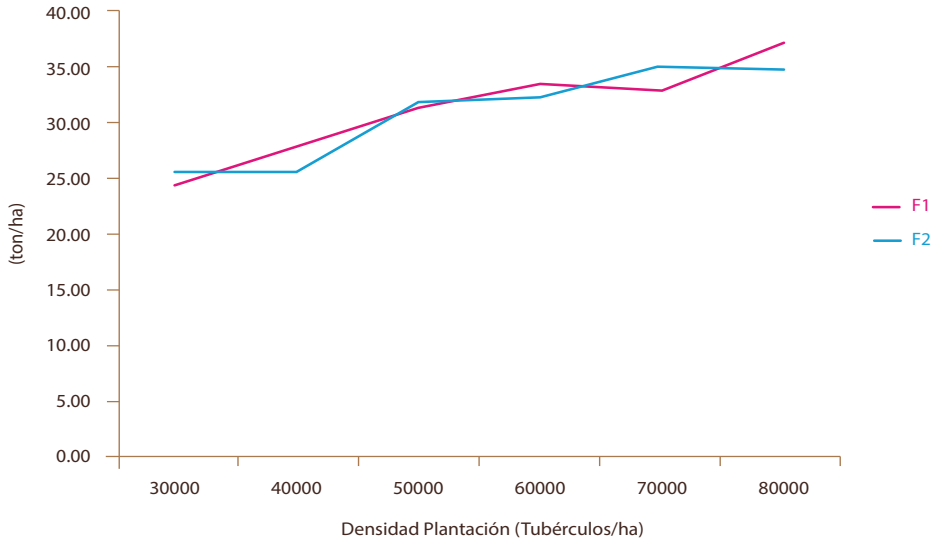
En la figura 63 se aprecia la producción de papa cv Cardinal según distintas poblaciones de tubérculos y dos tratamientos de fertilización N-P-K establecido en la localidad de Coquimbito. El rendimiento de la papa fluctuó entre 25 y 35 ton/ha, para las poblaciones con 30 y 80 mil tubérculos plantados. Se obtuvo un efecto significativo de mayor producción de papa con la población de 50 mil sobre la población con 40 mil plantas. Con mayores poblaciones de tubérculos no se observó un aumento significativo de la producción. Igualmente en este caso la mayor fertilización con N-P-K no incrementó significativamente el rendimiento de la papa. Por lo tanto, las poblaciones de plantas mas recomendadas serían entre 45 y 50 mil tubérculos/ha, es decir se debería plantar a 0,75m entre hilera y 0,27m sobre la hilera, este marco de plantación genera una población de 49.500 plantas/ha.



F1= N160 - P150 - K200 F2= N250 - P200 - K300

**Figura 62.** Producción de papa cv Cardinal según distintas poblaciones de tubérculos y dos tratamientos de fertilización N-P-K. Localidad El Romero.





F1= N160 - P150 - K200 F2= N250 - P200 - K300

**Figura 63.** Producción de papa cv Cardinal según distintas poblaciones de tubérculos y dos tratamientos de fertilización N-P-K. Localidad Coquimbito.





## Capítulo 13

# 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, Rodríguez (1990). La papa, como la mayoría de las especies vegetales, presenta una gran demanda de nutrientes minerales primarios, nitrógeno, fósforo y potasio, además la papa requiere de otros nutrientes secundarios como calcio, magnesio y azufre y una serie de microelementos. Los elementos 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 de reciente incorporación a la agricultura presentan una baja fertilidad química, pero una mejor condición física, aun cuando esto depende del tipo de vegetación nativa existente. Suelos cubiertos con espinales (acacia caven) normalmente presentan una mejor fertilidad inicial especialmente nitrogenada. Pero su fertilidad con otros nutrientes como fósforo, potasio, boro y zinc es baja. Por lo tanto, bajo estas condiciones se debe fertilizar inicialmente con dosis altas de estos nutrientes

La mayoría de los suelos de la zona se fueron incorporando gradualmente a la agricultura, a través de un proceso lento pero sostenido. Este diferente manejo de los últimos 15 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 estimar el 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:

$$\text{Fertilización} = \frac{\text{Demanda del cultivo (Rdto. esperado)} - \text{Suministro del suelo (Análisis de suelo)}}{\text{Eficiencia}}$$

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.

### 13.1. 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 este elemento es fuertemente afectado por la temperatura y humedad del suelo y además porque la mineralización del nitrógeno es un proceso biológico, Paul y Yuma (1981). En términos generales se puede señalar que los suelos con más materia orgánica requieren menos fertilización nitrogenada y los suelos con menor contenido de materia orgánica requieren mayor fertilización nitrogenada. Sin embargo, además de la cantidad total de materia orgánica, la calidad de ésta determina finalmente el suministro de nitrógeno, por otra parte el laboreo continuado del suelo disminuye el suministro de nitrógeno. El manejo del suelo con pradera de alfalfa permite mantener un alto suministro de nitrógeno, (Rodríguez y Sierra 1987), (Snap y Fortuna, 2003). La época de crecimiento del cultivo es otro factor importante que afecta el suministro de nitrógeno, por efecto de la temperatura, es decir en invierno los suelos suministran bajas cantidades de nitrógeno y fines de primavera y verano aportan cantidades altas.

En el Cuadro 47 se presenta una estimación de la fertilización nitrogenada según diferente disponibilidad de nitrógeno mineral y rendimiento esperado. Para producir 25 ton ha<sup>-1</sup> de tubérculo se requieren dosis bajas de nitrógeno, mientras que para producir 55 ton ha<sup>-1</sup> se requieren dosis muy superiores, especialmente si el contenido de nitrógeno inicial es bajo.

**Cuadro 47.** Estimación de la fertilización nitrogenada según diferente disponibilidad de nitrógeno mineral del suelo y distinto rendimiento esperado.

| N disponible | Rendimiento esperado ton ha <sup>-1</sup> |     |     |     |
|--------------|---|-----|-----|-----|
|              | 25  | 35  | 45  | 55  |
|              | Dosis de Nitrógeno                        |     |     |     |
| mg/Kg        | Kg/ha                                     |     |     |     |
| 10           | 68  | 136 | 210 | 260 |
| 20           | 38  | 106 | 170 | 240 |
| 30           | 0   | 76  | 140 | 200 |
| 40           | 0   | 46  | 110 | 160 |
| 50           | 0   | 20  | 85  | 100 |

Nota: La fertilización estimada no considera el efecto de la mayor o menor disponibilidad de nitrógeno generado por la estación del año, considera un aporte anual constante. Además, no considera el contenido de materia orgánica del suelo.

### 13.2. Estimación de la fertilización fosfatada

El fósforo es un elemento generalmente menos deficiente en los suelos de la zona norte. Su disponibilidad depende del pH y del historial de fertilización aplicada. Tierras recién incorporadas a la agricultura presentaran niveles más bajos de fósforo, normalmente inferiores a 10 ppm. Además, 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 del norte presentan un bajo poder de fijación de fósforo. El principal problema de los suelos es su pobre condición física, esto afecta la exploración radicular de las plantas y en consecuencia la absorción del nutriente.

En el Cuadro 48 se presenta una aproximación de las dosis requeridas por un cultivo de papa



según diferente rendimiento esperado y según diferente disponibilidad de fósforo. Suelos con niveles muy bajos de P - Olsen y rendimientos esperados altos, deben ser fertilizados con dosis mayores de P2O5 y por el contrario suelos con niveles altos de P - Olsen y rendimientos esperados bajos deben recibir una fertilización baja de fósforo.

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 40% de la dosis) y el resto debe aplicarse localizado en dos bandas al lado y bajo la semilla. Es importante destacar que dosis muy altas de fósforo afectan la disponibilidad de cinc.

**Cuadro 48.** Estimación de la fertilización fosfatada según diferente disponibilidad de fósforo en el suelo y rendimiento esperado.

| Nivel de P - Olsen<br>(ppm) |   |    | Rendimiento esperado ton ha <sup>-1</sup>                  |     |     |     |
|-----------------------------|---|----|--|-----|-----|-----|
|                             |   |    | 25   | 35  | 45  | 55  |
|                             |   |    | Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg ha <sup>-1</sup> |     |     |     |
| 1                           | - | 6  | 140  | 160 | 190 | 220 |
| 7                           | - | 11 | 120  | 140 | 160 | 190 |
| 12                          | - | 24 | 110  | 130 | 150 | 170 |
| 25                          | - | 45 | 100  | 110 | 130 | 150 |
| +                           | - | 46 | 90   | 100 | 110 | 140 |

### 13.3. Estimación de la fertilización potásica

La papa es un cultivo que consume abundantes cantidades de potasio, James y col (1994). Cada qqm de papa cosechada extrae alrededor de 0,6 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 tres factores, rendimiento esperado del cultivo, textura y contenido de potasio disponible en el suelo. Cabe destacar que normalmente los suelos presentan contenidos adecuados de potasio. Este último parámetro puede ser conocido mediante un análisis de suelo realizado previo a la plantación del cultivo. En el Cuadro 49 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 de textura franca y franco arenosa.

La textura del suelo es un parámetro muy importante que determina la disponibilidad de potasio para las raíces de las plantas, (Montenegro y Rodríguez,1984). Los suelos arcillosos deben presentar contenidos más altos de potasio de intercambio, unos 500 mg/kg. Mientras que un suelo franco arenoso puede requerir no más de 250 mg/kg. Dosis de potasio (K) muy altas debe aplicarse cuando el suelo es arcilloso y presenta una disponibilidad muy baja del nutriente (menos de 100 mg/kg) y se pretende cosechar altos rendimientos, (ver Cuadro 50). Por otra parte, cuando el rendimiento esperado es bajo, y el nivel del suelo es alto (+ de 350 ppm en la capa arable) el cultivo requerirá una dosis moderada de mantención para evitar una pérdida de fertilidad, la cual puede afectar en el futuro a otros cultivos de la rotación.



**Cuadro 49.** Fertilización estimada de potasio según distinta disponibilidad de potasio inicial, en suelo de textura media (franco, franco arenoso) y diferente rendimiento esperado de papa.

| Potasio de intercambio | Rendimiento esperado<br>ton ha <sup>-1</sup> |     |     |     |
|------------------------|--|-----|-----|-----|
|                        | 25   | 35  | 45  | 55  |
| mg/Kg                  | Dosis de potasio                             |     |     |     |
|                        | K <sub>2</sub> O Kg ha <sup>-1</sup>         |     |     |     |
| 50                     | 150  | 220 | 300 | 400 |
| 100                    | 120  | 160 | 250 | 350 |
| 150                    | 100  | 140 | 200 | 250 |
| 250                    | 80   | 120 | 150 | 180 |
| 350                    | 70   | 100 | 130 | 140 |
| 450                    | 60   | 80  | 90  | 100 |

**Cuadro 50.** Fertilización estimada de Potasio según distinta disponibilidad de Potasio inicial en suelo de textura media (franco arcilloso y arcilloso) y diferente rendimiento esperado de papa.

| Potasio de intercambio | Rendimiento esperado<br>ton ha <sup>-1</sup> |     |     |     |
|------------------------|--|-----|-----|-----|
|                        | 25   | 35  | 45  | 55  |
| mg/Kg                  | Dosis de potasio                             |     |     |     |
|                        | K <sub>2</sub> O Kg ha <sup>-1</sup>         |     |     |     |
| 50                     | 200  | 280 | 380 | 500 |
| 100                    | 150  | 200 | 280 | 400 |
| 150                    | 120  | 160 | 200 | 300 |
| 250                    | 100  | 140 | 160 | 200 |
| 350                    | 80   | 100 | 120 | 150 |
| 450                    | 60   | 80  | 100 | 130 |

### 13.4 Estimación de la fertilización con magnesio, azufre y micronutrientes

El magnesio es un elemento secundario de mayor importancia en suelos arenosos y en siembras de invierno con rendimiento esperado alto, más de 50 ton ha<sup>-1</sup>. En algunas series de suelos arenosos del área de Pan de Azúcar como La Compañía, Escorial, Santa Anita y Santa Luisa de Andacollo y además en terrazas arenosas colindantes a ríos puede ser importante considerar la aplicación de magnesio. Por otra parte, la aplicación de dosis altas de potasio puede inducir a una deficiencia de magnesio, especialmente en riego localizado, por lo tanto al aplicar una dosis alta de potasio sería recomendable el uso de magnesio. Contenidos inferiores a 0,25 cmol(+)/Kg 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 erosionados y de bajo contenido de materia orgánica, (Gupta y Sanderson, 1993). En general este elemento es deficitario en suelos graníticos de secano. En suelos bajo riego, este elemento es aportado de manera significativa por el agua de riego.



En cuanto a micronutrientes existen evidencias experimentales de respuesta a niveles de rendimiento alto. El boro y zinc serían elementos importantes de considerar en una fertilización completa para papa, que tenga como objetivo alcanzar rendimientos mayores de 50 ton ha<sup>-1</sup>.

### 13.5. Eficiencia de recuperación de los nutrientes

Está determinada principalmente por las características del sistema radicular de la planta y la variedad, por las condiciones físicas del suelo y por el método de riego. En menor medida por el pH del suelo y del agua de riego. El factor más limitante que afecta la eficiencia de recuperación de los fertilizantes aplicados en la actualidad es la pobre condición física de los suelos. En riego por goteo la eficiencia puede variar entre el 65 y 70% y en riego por surco entre 35 y 45%.

## 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 ton ha<sup>-1</sup>.





## Capítulo 14

# Diagnóstico de la fertilidad del suelo y del estado nutricional del cultivo

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.

### 14.1 Análisis de Suelo

El análisis químico es una herramienta muy útil para establecer el nivel de fertilidad química de los suelos. El principio básico consiste en extraer del suelo los nutrientes aprovechables fácilmente por las raíces de las plantas, (Fassbender, 1975). 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 del suelo más que con el contenido de nitrógeno mineral disponible. Además, la época de plantación afecta claramente 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 determinado 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 24, 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). Es recomendable analizar los suelos cada 3 a 4 años.



Se debe solicitar un análisis completo de fertilidad que incluya nitrógeno disponible, fósforo, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio, sodio, suma de bases, micronutrientes especialmente zinc, boro, conductividad eléctrica y pH.

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.

## 14.2 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, (Addiscot, 1976). Sin embargo, pueden existir múltiples factores que afecten la absorción de estos nutrientes disponibles como la presencia de nemátodos 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. Sin embargo, una desventaja del análisis foliar es que el diagnóstico se realiza tardíamente lo que dificulta su posible corrección. Sin embargo, es posible corregir deficiencias de micronutrientes y en menor medida dosis pequeñas de nitrógeno principalmente.

El muestreo de pecíolos se debe realizar desde inicio de floración hasta plena flor, generalmente este estado se inicia a los 70 días después de la plantación. Se debe muestrear la cuarta hoja, desde el ápice superior hacia abajo. (Belanger y col, 2003), (Westerman, 1990).

Las hojas se deben defoliar inmediatamente dejando sólo los pecíolos, se deben coleccionar por lo menos 80 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 perforaciones, para facilitar la desecación del material vegetal. Guardar en refrigerador a 4 °C si se mantienen durante 24 hrs. en el predio. En el Cuadro 51 se señalan los estándares de diagnóstico para pecíolos de papa, publicados por la Universidad del Estado de Ohio, USA. 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, (Belanger, 2003).

En la actualidad otros equipos permiten analizar la concentración de nutrientes en la savia fresca a nivel de campo - caso de los equipos Horiba- que facilitan y agilizan el diagnóstico del estado nutricional de las plantas. En el Cuadro 52 se muestra el rango de concentración considerado adecuado de nitrato y potasio en savia fresca, obtenida y medida en pecíolos de papa en campo, mediante equipo Horiba.



**Cuadro 51.** Rango de concentración de nutrientes en peciolas de la cuarta hoja muestreada desde el ápice hacia abajo, durante floración.

| Elemento          | Bajo   | Medio       | Suficiente |
|-------------------|--------|-------------|------------|
| N nítrico N-N03 % | < 1,0  | 1,0 - 1,5   | > 1,5      |
| 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      |
| Cinc (ppm)        | < 10   | 10 - 20     | > 20       |
| Boro (ppm)        | < 10   | 10 - 20     | > 20       |
| Manganeso (ppm)   | < 20   | 20 - 30     | > 30       |
| Hierro (ppm)      | < 20   | 20 - 50     | > 50       |
| Cobre (ppm)       | < 2    | 2 - 4       | > 4        |

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

**Cuadro 52.** Rango de concentración adecuada de nitrato y potasio en savia fresca, medida en peciolas de papa en campo, mediante equipo Cardy (Horiba).

| Fuente                                       | Etapas Desarrollo              | Nitrato (NO <sub>3</sub> ) en savia fresca | Potasio (K) en savia fresca |
|--|--------------------------------|--|-----------------------------|
|  |                                | mg/Kg                                      |                             |
| Hochmuth (1994)<br>Universidad de<br>Florida | Plantas de 20 cm               | 5.310 - 6.190                              | 4.500 - 5.000               |
|  | primeras flores abiertas       | 4.430 - 6.190                              | 4.500 - 5.000               |
|  | 50% flores abiertas            | 4.430 - 5.310                              | 4.000 - 4.500               |
|  | 100% flores abiertas           | 3.980 - 5.310                              | 3.500 - 4.000               |
|  | Caída de plantas               | 2.660 - 3.980                              | 2.500 - 3.000               |
| Morris, Universidad<br>de Wisconsin          | Vegetación temprana            | 5.750 - 7.080                              | —                           |
|  | Crecimiento medio<br>tubérculo | 3.980 - 5.310                              | —                           |
|  | Cercano a madurez              | 2.430 - 3.100                              | —                           |

## 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.
- El análisis de nitrógeno y potasio medido en savia fresca en campo es una alternativa rápida y eficiente de considerar.





## Capítulo 15

# Fertilizantes, Enmiendas y Bioestimulantes

Los fertilizantes son sales que contienen uno o más nutrientes y pueden ser de origen orgánico o inorgánico, pueden ser altamente solubles o poco solubles. 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 53 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.

### 15.1 Fertilizantes nitrogenados

Los principales fertilizantes que se comercializan en la zona para el cultivo de la papa se presentan en el Cuadro 54.

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 ( $\text{NH}_4^+$ ) que alcaliniza el medio y luego la oxidación a  $\text{NO}_3^-$  genera acidez. Sin embargo, la intensidad de este proceso depende de la cantidad de urea aplicada y del poder amortiguador del suelo, que está en buena medida determinado por la suma de cationes, principalmente calcio y magnesio. No es muy recomendable para riego por goteo, especialmente en dosis altas. Para fertirrigación es más recomendable usar nitrato de amonio. El uso de sulfato de amonio es otra alternativa, su uso continuado vía fertirrigación en dosis altas puede afectar absorción de potasio y magnesio. 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.



**Cuadro 53.** Índice de salinidad de algunos fertilizantes (Salitre sódico = 100%).

| <b>Nitrogenados</b>           | <b>%</b> |
|-------------------------------|----------|
| Nitrato de Amonio             | 105      |
| Sulfato de Amonio             | 69       |
| Nitrato de Calcio             | 65       |
| Salitre Sódico                | 100      |
| Urea                          | 75       |
| Salitre Potásico              | 92       |
| <b>FOSFATADOS</b>             |          |
| Super Fosfato Triple          | 10       |
| Fosfato Monoamónico           | 30       |
| Fosfato Diamónico             | 34       |
| <b>POTASICOS</b>              |          |
| Cloruro de Potasio            | 116      |
| Nitrato de Potasio            | 74       |
| Sulfato de Potasio            | 46       |
| Sulfato de Potasio y Magnesio | 43       |
| Fosfato Monopotásico          | 8        |
| <b>OTROS</b>                  |          |
| Oxido de Magnesio             | 2        |
| Yeso Agrícola                 | 8        |
| Sulfato de Magnesio           | 44       |

Nota: Índice calculado según igual peso del material.



**Cuadro 54.** Principales fertilizantes recomendados para el cultivo de la papa.

| Fertilizantes Nitrogenados          | Org. | Nitrógeno       |                 |       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | S   | Mg 0 | Ca 0 |
|-------------------------------------|------|-----------------|-----------------|-------|-------------------------------|------------------|-----|------|------|
|                                     |      | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | total |                               |                  |     |      |      |
| Urea                                | 45   | ---             | ---             | 45    | ---                           | ---              | --- | ---  |      |
| Sulfato de amonio                   | ---  | ---             | 21              | 21    | ---                           | ---              | --- | ---  |      |
| Nitrato de Amonio                   | ---  | 17              | 17              | 34    | ---                           | ---              | --- | ---  |      |
| Nitromag                            | ---  | 14              | 14              | 27    | ---                           | ---              | 5   | 7    |      |
| Supernitro                          | 14   | 11              | ---             | 25    | ---                           | ---              | --- | ---  |      |
| Nitrato de calcio                   | ---  | 15,5            | ---             | 15,5  | ---                           | ---              | --- | 29   |      |
| Sulfato de Amonio Entec             | ---  | ---             | 21              | 21    | ---                           | ---              | 8   | ---  |      |
| Sulfato de amonio                   | --   | --              | 26              | 26    | ---                           | ---              | --- | --   |      |
| <b>Fertilizantes Fosfatados</b>     |      |                 |                 |       |                               |                  |     |      |      |
| Fosfato Diamónico                   | ---  | ---             | 18              | 18    | 46                            | ---              | 1   | ---  |      |
| Fosfato Monoamonico soluble         | --   | --              | 12              | --    | 61                            | ---              | --  | --   |      |
| Acido Fosfórico por Lt              | --   | --              | --              | --    | 100                           | ---              | --  | --   |      |
| Fosfato Monoamónico                 | ---  | ---             | 10              | 10    | 50                            | ---              | 2   | ---  |      |
| Superfosfato Triple                 | ---  | ---             | ---             | ---   | 46                            | ---              | 1   | 20   |      |
| Superfosfato Normal                 | ---  | ---             | ---             | ---   | 25                            | ---              | 11  | 32   |      |
| <b>Fertilizantes Potásicos</b>      |      |                 |                 |       |                               |                  |     |      |      |
| Sulfato de Potasio                  | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | 50               | 18  | ---  |      |
| Sulfato doble de Potasio y Magnesio | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | 22               | 22  | 18   |      |
| Muriato de Potasio                  | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | 60               | --- | ---  |      |
| Nitrato de Potasio                  | ---  | ---             | ---             | 13    | ---                           | 44               | --- | ---  |      |
| <b>Fertilizantes Azufrados</b>      |      |                 |                 |       |                               |                  |     |      |      |
| Fertiyeso                           | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | ---              | 18  | ---  | 33   |
| Azufre Sulfer 95 Landia             | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | ---              | 95  | ---  |      |
| Azufre abono Landia                 | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | ---              | 51  | ---  |      |
| Azufre Denicola                     | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | ---              | 65  | ---  | +    |
| Azufre Borlando                     | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | ---              | 80  | ---  | +    |
| Fosfoyeso                           | ---  | ---             | ---             | ---   | 0,70                          | ---              | 19  | ---  | 33   |
| Agroyeso Volcan                     | ---  | ---             | ---             | ---   | ---                           | ---              | 18  | ---  | 32   |
| <b>Estiércol (Base fresco)</b>      |      |                 |                 |       |                               |                  |     |      |      |
| 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                             | ---  | 2,5             | ---             | 2,5   | 2,30                          | 1,20             | +   | +    | 4,0  |

--- No contiene el elemento.

+ Contiene pequeñas cantidades del elemento.

Org. = Orgánico.



### 15.2. 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 de rocas fosfóricas no es recomendable para la fertilización de papas, debido al poder de entrega muy lento de fósforo de estos materiales. El guano de covaderas del norte, guano rojo, no es una buena alternativa, por su baja solubilidad 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.

### 15.3. Fertilizantes Potásicos

Entre los principales fertilizantes potásicos destacan el sulfato de potasio, el sulfato doble de potasio y magnesio, el nitrato de potasio 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 caso de suelos arenosos. 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 cloruro de potasio debe ser utilizado en dosis moderadas (100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) para evitar una posible toxicidad por cloruro, la ventaja de este fertilizante es su bajo costo. Se debe señalar que el cloro es un elemento que se lava rápidamente en suelos de buen drenaje. Lo ideal es aplicarlo en un cultivo precedente a la papa, para facilitar el lavado del cloro en el cultivo anterior.

### 15.4. Fertilizantes que aportan calcio y/o magnesio

El yeso agrícola es una fuente importante de calcio poco soluble, se puede considerar también como una enmienda para suelos salinos (zona norte), además contiene azufre a la forma de sulfato (SO<sub>4</sub>=). Esta enmienda no modifica mayormente el pH del suelo. En papa se puede aplicar en cantidades importantes, de 0,5 ó 1 ton ha<sup>-1</sup> y no tiene mayor restricción.

Entre los fertilizantes magnésicos destacan el nitrato de magnesio, 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.

### 15.5. Micronutrientes

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



### 15.5.1 Hierro

Este micronutriente se debe aplicar como hierro quelatado, especialmente en suelos con carbonato de calcio, no recomendable su aplicación como sulfato de hierro, pues precipita. Se puede aplicar vía foliar o al suelo. Preferir el uso de Fe-EDDHA, en suelos con pH mayor de 7,8.

### 15.5.2 Manganeso.

El sulfato de manganeso es una buena alternativa para suministrar este microelemento, sin embargo este nutriente no es deficitario en los suelos de la zona norte.

### 15.5.3 Cobre

Las sales de sulfato de cobre permiten suministrar este micronutriente, ya sea vía foliar o aplicada al suelo, es recomendable su aplicación en suelos que presenten altos contenidos de materia orgánica.

### 15.5.4 Cinc

La forma más económica para aportar cinc es el empleo de sulfato, el cual se puede aplicar al follaje o al suelo. Es más recomendable aplicar cinc quelatado, en suelos con pH mayor de 7,6. Este elemento es el más deficiente de los micronutrientes en los suelos del Norte Chico.

### 15.5.5 Boro

Este micronutriente es menos importante en los suelos regados con aguas del río Elqui, fuente más recomendable el ácido bórico, este último se puede aplicar vía foliar.

## 15.6. Mezclas de Fertilizantes

En la actualidad 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 desventajas. Las ventajas del sistema se pueden resumir en que: facilitan la labor del agricultor y la mezcla comprada generalmente puede ser mejor que la realizada por el agricultor en el predio. Aún cuando esto dependerá de cada agricultor en particular. 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 efectiva de cada macronutriente. También el uso de mezclas no permite tener un claro control de la fuente fertilizante usada para preparar la mezcla. Es decir en algunos casos estas mezclas son preparadas con tipos de fertilizantes no recomendado para el tipo de suelo o calidad de agua usada. 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.

## 15.7. Enmiendas

Corresponden a mejoradores del suelo, pueden ser de origen orgánicos, caso de los estiércoles de las diferentes especies animales o inorgánicos como el yeso, azufre elemental y ácido sulfúrico.



## 15.8. Bioestimulantes

Normalmente corresponden a materiales de origen orgánico, como, ácidos húmicos, extractos húmicos, extractos de algas, aminoácidos, hormonas vegetales, y otros promotores y reguladores del crecimiento vegetal caso de los grupos carboxi, quitina y silicio. Generalmente se aplican vía foliar, pero en el caso de los ácidos húmicos estos se aplican al suelo. En la actualidad existe una gran gama de estos productos en el mercado. Lo importante es conocer el respaldo técnico de estos productos en relación a la respuesta que tendrá el cultivo al aplicarlo. El uso cada vez más frecuente de estos materiales, se debe y explica por las desfavorables condiciones físicas y biológicas de los suelos, que a su vez determinan un pobre crecimiento radical de las plantas. En muchos casos el uso de estos materiales puede ser beneficioso para el cultivo, sin embargo es importante conocer bien el producto y conocer sus posibles efectos en la planta. De modo que su aplicación genere retorno económico al agricultor.



## Capítulo 16

### Literatura citada

Addiscott T. M. 1976. Nutrient Concentrations and interactions in young leaves of potato Plants Growing with and without tubers. *Ann. Bot.* 40, 65-72.

Barber S. A. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability a mechanistic approach.* John Wiley and Sons, Inc. Second Edition.

Belanger G. , J. R. Walsh, J. E. Richards, P. H. Milburn, and N. Ziadi, 2003. Critical Petiole Nitrate Concentration of two Processing Potato Cultivars in Eastern Canada. *American Journal of Potato Research*, 80: 251-262.

Davis J. R. , R. E. McDole and R. H. Callihan. 1976. Fertilizer effects on common Scab of potato and the relation of calcium and phosphate- phosphorus. *Phytopathology* 66:1236-1241.

Epstein E. , A. J. Bloom.2004. *Mineral Nutrition of plants: Principles and Perspectives.* Sinauers Associates, Inc. Publishers. Sunderland Massachusetts. Second Edition.

Fassbender H. W. 1975. *Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina.* Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, (IICA), Turrialba Costa Rica.

Finck A. 1982. *Fertilizers and Fertilization. Introduction and Practical Guide to Crop Fertilization..* Verlag-Chemie. Weinheim-Deerfield Beach, Florida-Basel. Institute for Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel. 437.

France A. (2012) Informe Técnico de Fitopatología realizado en Visita Técnica a Proyecto PDT – INIA Intihuasi.

Grandon M.; Rojas R. J. S. (1976). Informe Técnico. Programa papa. Estación Experimental Remehue, INIA, Osorno.

Gupta U. C., Sanderson J. B. 1993. Effect of sulfur, calcium, and boro on tissue nutrient concentration and potato yield. *Journal of Plant Nutrition.* 16 (6) 1013-1023.

Hochmuth G. j. 1994. Efficiency ranges for Nitrate-Nitrogen and Potassium for Vegetable Petiole Sap Quick Tests Universty Florida Hort. Technology. 218-222.

Ingels C. A. , Robert L. Bugg , Glenn T. McGourty y L. Peter Christensen. 1998. *Cover Cropping in vineyards. A grower Handbook.* University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3338.

Instituto Nacional de Estadísticas, INE (2007). VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.



James D. W; Hurst R. L.; Westermann; Tundall. (Abril 1994). Nitrogen and potassiums fertilization of potatoes evaluating nutrient element interactions in petioles with response surfaces. *American Potato Journal*. 71 249-265.

Joern B. C. and Vitosh M.L. (Feb 1995). Influence of applied nitrogen on potato II, Recovery and partitioning of applied nitrogen. *American Potato Journal*. 72 73-84.

Kazushige Goto 1985. Relationships between soil pH, available calcium and prevalence of potato scab. *Soil Sci. Plant Nutr*, 31(3), 411-418.

Katyal J.C., y N.S. Randhawa (1986). Micronutrientes. Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal. Indian Council of Agricultural Research Nueva Delhi, India. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

Klikocka,<sup>1</sup> Hanna, Silvia Haneklaus,<sup>2</sup> Elke Bloem,<sup>2</sup> and Ewald Schnug<sup>2</sup>. 2005. Influence of Sulfur Fertilization on Infection off Potato Tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*.<sup>1</sup>Agricultural University Lublin, Institute of Agricultural Science, Szczecbrzeska, Poland <sup>2</sup>Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Braunschweig, Germany

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.

Kwok H. Fong , and A. Ulrich. 1974. Magnesium nutrition of White Rose Potato in Relation to vegetative Growth and minerals of leaf and root tissues. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99(4): 334-337.

Larraín P. (2003). Plagas de la Papa y su Manejo. Colección Libros INIA N°9. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Ministerio de Agricultura, Chile.

Laughlin W. M.; Martin P. F.; Smith G. R. (1974). Lime and phosphorus influence in Kennebec potato yield and chemical composition. *American Potato Journal*. 51:12, 393-402.

Locascio, S.J.; Bartz, J. A.; Weingartner, D.P. (Feb. 1992). Calcium and potassium fertilization of potatoes grown in North Florida. *American Potato Journal*. 69 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*. 52:2 56-65.

Mackie-Dawson L. A. , P. Millard and D. Robinson. 1990. Nutrient uptake by potato crops grown on two soils with contrasting physical properties. *Plant and Soil* 125, 159-168.

Maier N. A. 1986. Potassium nutrition of irrigated potatoes in South Australia.<sup>1</sup> Effect on tuber



yield and the prediction of tuber yield response by soil analysis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26 (6), 717-725.

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.

Mengel K. y E. A. Kirby. 2000. *Principios de Nutrición Vegetal*. Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza. 4ta Edición 1era en español.

Morris J. Petiole N-N03 sufficiency levels for potatoes. University of Wisconsin and Michigan State University. <http://www.jonhnmorris.com>. Au/files/product/attachments7639/160281\_opt1.pdf.

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.

Monverdt J.J., P. N. Soltalpour, R. T. Zink and R. D. Davidson. 2002. *Fertilizing Potatoes*. Colorado State University Cooperative Extension . <http://www.ext.colostate.edu/>.

Panique E.; Kelling K. A. Schulte E.E.; Hero D. E.; Stevenson W. R.; James R. V. (Nov.Dic. 1997). Potassium rate and source effects on potato yield quality and disease interaction. *American Potato Journal*. 74. 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) 1981.

Robert S.; Cheng H. H.; Buttler I. W. (May 1992). Recovery of starter nitrogen 15 fertilizers with supplementarily applied ammonium nitrate on irrigated potato. *American Potato Journal*. 69. 309-314.

Rodríguez S. J. (1990). *La Fertilización de los Cultivos un Método Racional*. Departamento Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía. Pontificia 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.

Rojas J. S. y S. Orena A. 2006. *Manual de Producción de Papa para la Agricultura Familiar Campesina (A.F.C.)*. Boletín INIA N° 147. 172 Osorno Chile.

Rowe C. Randall (1993). *Potato Health Management*. Plant Health Management Series. Department of plant pathology Ohio State University.

Sierra C; Rojas, J.; Kalazich, J. 2002. *Manual de Fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Remehue. Boletín INIA N°71, 103.



Sierra, B. C., Salinas R. Y. 2004. Fertilización de arveja en suelos del valle del Huasco. Tierra Adentro. Julio- Agosto, 38-39.

Sierra, B. C. 2005. Informe Técnico INIA-CEAZA Estudio Físico-Químico de los Suelos del Valle del río Huasco. Estudio Financiado por INNOVA CORFO.

Snap S.S. and A.M. Fortuna 2003. Predicting Nitrogen Availability in irrigated potato Systems. Department of Horticulture and Department of Crop and Soils Science. Michigan State University, East Lansing. In Proceedings of the Workshop. "Managing Nitrogen and Water for improved Use Efficiency in Potato Production. Toronto Canada.

Soltanpour parvis. (1969). Accumulation of dry matter and N, P, K by Russet Burbank, Oromonte and Red Mc Clure Potatoes. American Potato Journal. 46. 11 - 119.

Starck J., McCann C. , Westermann IR. , Izadi DT and Tisdall T.A. 1993. Potato response to split N timing with varying amount of excessive irrigation. Am. Potato Journal 70: 765-777.

Vander Zaag And Kagenzi C. (1986). The phosphorus requirements of five consecutive potato crops on an Andept in Rwanda American Potato Journal. 63 N° 3. 121 - 129.

Westermann D. T.; Davis J.R. Nov 1992. Potato nutritional management changes and challenges into the next century. American Potato Journal. 69 753-767.

Westerman R. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America Book Series. Third Edition.

Whitley K.M. and J. R. Davenport. 2003. Nitrate leaching Potential under variable and uniform Nitrogen fertilizer Management in irrigated potato systems. Department of Crop and Soils Science. Washington State University, Prosser WA. In Proceedings of the Workshop. "Managing Nitrogen and Water for improved Use Efficiency in Potato Production. Toronto Canada.





