



## **DEMANDA DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE QUINOA**

**IVAN VIDAL P.**  
*Ing. Agrónomo, M.Sc. Dr.*  
[ividal@udec.cl](mailto:ividal@udec.cl)

**LUIS BARRA F.**  
*Ing. Agrónomo.*  
[luisbarra@irriifer.cl](mailto:luisbarra@irriifer.cl)

***Convenio Orafti-Irrifer***

***Septiembre, 2018***

## DEMANDA DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE QUINOA

**IVAN VIDAL P.**  
*Ing. Agrónomo, M.Sc. Dr.*

[ividal@udec.cl](mailto:ividal@udec.cl)

**LUIS BARRA F.**

*Ing. Agrónomo.*

[luisbarra@irrifer.cl](mailto:luisbarra@irrifer.cl)

### I. INTRODUCCION

Dentro de los beneficios que se pueden mencionar de la Quinoa, es que puede emplearse como un cereal y es especialmente beneficiosa en la dieta de personas celíacas, ya que no contiene gluten. Así mismo, por su alto contenido en fibra y su mayor aporte proteico respecto a los cereales, presenta un bajo índice glucémico, lo que la vuelve ideal para personas con diabetes. Por otro lado, es de gran ayuda para controlar los niveles de colesterol en sangre, ya que su fibra y sus lípidos insaturados favorecen el perfil lipídico en el organismo.

Disponer de la información sobre exportación de nutrientes se esta especie es un antecedente importante para planificar su futura fertilización. Los estudios de exportación son importantes pues constituyen una medida real de lo que consume una planta durante su período de crecimiento, y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso la planta para producir un determinado rendimiento. Cabe señalar, que cuando una variedad presenta características particulares de comportamiento y producción, puede expresar diferencias en su capacidad de absorber nutrientes, por lo tanto, para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones más allá de la circunstancia particular en la que se efectuaron, es necesario que se realicen bajo condiciones nutricionales y ambientales óptimas y con variedades definidas.

La cantidad consumida, absorbida o requerida por una planta se obtiene al asociar el peso seco de los tejidos con las concentraciones de nutrientes totales presentes en esos tejidos.

Estos estudios contemplan el muestreo en varias etapas asociadas a cambios fenológicos importantes, durante el ciclo de vida de la planta, con lo que posteriormente se pueden elaborar las curvas de absorción.

De acuerdo a lo anterior y considerando la falta de información respecto a requerimientos nutricionales del cultivo de Quinoa se planteó la presente investigación con el propósito de determinar las tasas de absorción de nutrientes por parte de esta especie, sembrada por la empresa Orafti Chile S.A.

## **II. MATERIALES Y METODOS**

El presente trabajo se realizó a partir del mes de octubre de 2017 hasta marzo de 2018, en dos localidades, Los Ángeles y Selva Negra, para lo cual se utilizó la variedad Quínoa QUPF, sembrada el 25 de Octubre de 2017 y 26 de Octubre de 2017, respectivamente. Las dosis de siembra fue de 555.000 unidades/ha, en ambas localidades.

Para determinar la extracción total de nutrientes en la temporada, se procedió a efectuar 6 muestreos durante el ciclo del cultivo, donde se midió materia seca de las diferentes estructura de la planta (hojas-tallo-raíz- flor-fruto) y se les determinó su concentración de macro y micronutrientes. Con estos datos se determinó la extracción de nutrientes totales por hectárea, considerando el número total de plantas por hectárea, para cada situación.

## **III. RESULTADOS**

### **1.- Análisis químico de suelos durante la temporada**

En los cuadros 1 y 2, se presentan los análisis de suelo realizados en ambos sitios de ensayo, tanto para Los Ángeles como para Selva Negra. Cabe señalar, que los rangos de pH y materia orgánica son óptimos en ambos sitios. No obstante, se presentan algunas deficiencias específicas.

En el caso de Los Ángeles, se puede observar que durante toda la temporada presentó deficiencias de fósforo, zinc y boro. En Selva Negra, el suelo presentó un mayor nivel de fertilidad, no obstante aquello, hacia finales del período del ensayo se presentó deficiencia de potasio, lo cual refleja un cierto agotamiento de este nutriente durante la temporada.

**Cuadro 1.** Análisis químico de suelo de la siembra de Quínoa en la zona de Los Ángeles.

| Determinación                     | 40<br>DDS | 57<br>DDS | 70<br>DDS | 89<br>DDS | 104<br>DDS | 128<br>DDS | Categoría<br>normal o<br>nivel<br>suficiencia |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------------------------------------------|
| pH                                | 6,2       | 5,8       | 6,1       | 5,8       | 6,3        | 5,9        | 6,0-7,0                                       |
| Mat. Orgánica (%)                 | 8,0       | 9,7       | 7,8       | 8,3       | 7,9        | 8,0        | 2,0-8,0                                       |
| Cond. Eléctrica (dS/m) (1:2,5)    | 0,22      | 0,83      | 0,34      | 0,23      | 0,18       | 0,41       | <1,0                                          |
| Amonio N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)  | 8         | 21        | 10        | 7         | 10         | 4          | > 10                                          |
| Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | 16        | 47        | 19        | 16        | 8          | 27         | > 10                                          |
| N disponible (mg/kg)              | 24        | 68        | 28        | 24        | 18         | 31         | 20-60                                         |
| Fósforo disponible (mg/kg)        | 5         | 11        | 14        | 8         | 7          | 10         | 20                                            |
| Potasio Interc. (cmol/kg)         | 0,47      | 0,47      | 0,48      | 0,55      | 0,32       | 0,46       | 0,30-0,45                                     |
| Potasio disponible (mg/kg)        | 184       | 184       | 188       | 215       | 125        | 178        | 115-175                                       |
| Calcio inter. (cmol/kg)           | 7,7       | 6,6       | 6,8       | 6,1       | 6,8        | 8,3        | 4,0-8,0                                       |
| Magnesio inter. (cmol/kg)         | 1,70      | 1,60      | 1,98      | 1,66      | 1,31       | 1,44       | 0,6-1,5                                       |
| Sodio inter. (cmol/kg)            | 0,12      | 0,07      | 0,25      | 0,44      | 0,11       | 0,08       | <1,0                                          |
| Suma de bases (cmol/kg)           | 10,0      | 8,7       | 9,5       | 8,8       | 8,5        | 10,3       | 5,0-10,0                                      |
| Azufre disponible (mg/kg)         | 20,2      | 20,4      | 26,2      | 25,5      | 20,8       | 17,0       | 16-30                                         |
| Aluminio interc. (cmol/kg)        | 0,01      | 0,07      | 0,01      | 0,07      | 0,01       | 0,05       | <0,15                                         |
| CICE (cmol/kg)                    | 10,0      | 8,8       | 9,5       | 8,8       | 8,5        | 10,3       | >5,0                                          |
| Saturación de Al (%)              | 0,1       | 0,8       | 0,1       | 0,8       | 0,1        | 0,5        | <2,0                                          |
| Saturación de K (%)               | 4,7       | 5,4       | 5,1       | 6,2       | 3,8        | 4,4        | 5-10                                          |
| Saturación de Ca (%)              | 76,9      | 74,8      | 71,3      | 69,2      | 79,5       | 80,4       | 65-75                                         |
| Saturación de Mg (%)              | 17,1      | 18,2      | 20,9      | 18,8      | 15,4       | 13,9       | 10-15                                         |
| Relación Calcio/Magnesio          | 4,5       | 4,1       | 3,4       | 3,7       | 5,2        | 5,8        | 4-6                                           |
| Relación Potasio/Magnesio         | 0,3       | 0,3       | 0,2       | 0,3       | 0,2        | 0,3        | 0,3-0,6                                       |
| Hierro (mg/kg)                    | 28,8      | 66,0      | 56,6      | 31,9      | 42,3       | 38,5       | >2,5                                          |
| Manganeso (mg/kg)                 | 2,8       | 11,2      | 6,7       | 4,8       | 3,7        | 3,0        | >3,0                                          |
| Cinc (mg/kg)                      | 0,2       | 0,5       | 0,3       | 0,3       | 0,1        | 0,2        | >1,0                                          |
| Cobre (mg/kg)                     | 1,5       | 2,0       | 1,6       | 1,6       | 1,3        | 1,5        | >0,5                                          |
| Boro (mg/kg)                      | 0,4       | 0,2       | 0,4       | 0,4       | 0,3        | 0,4        | 0,6-1,5                                       |

**Cuadro 2.** Análisis químico de suelo de la siembra de Quínoa en la zona de Selva Negra.

| Determinación                     | 44 DDS | 69 DDS | 87 DDS | 106 DDS | 131 DDS | Categoría normal o nivel suficiencia |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------------------------------------|
| pH                                | 6,2    | 6,0    | 6,2    | 6,1     | 6,2     | 6,0-7,0                              |
| Mat. Orgánica (%)                 | 10,5   | 11,4   | 11,7   | 11,0    | 10,1    | 2,0-8,0                              |
| Cond. Eléctrica (dS/m) (1:2,5)    | 0,28   | 0,48   | 0,17   | 0,17    | 0,23    | <1,0                                 |
| Amonio N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)  | 6      | 11     | 6      | 6       | 3       | > 10                                 |
| Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | 21     | 35     | 3      | 3       | 5       | > 10                                 |
| N disponible (mg/kg)              | 27     | 46     | 9      | 10      | 8       | 20-60                                |
| Fósforo disponible (mg/kg)        | 2      | 46     | 63     | 49      | 54      | 20                                   |
| Potasio Interc. (cmol/kg)         | 0,88   | 0,42   | 0,43   | 0,27    | 0,28    | 0,30-0,45                            |
| Potasio disponible (mg/kg)        | 343    | 164    | 170    | 107     | 108     | 115-175                              |
| Calcio inter. (cmol/kg)           | 11,6   | 10,6   | 12,8   | 11,5    | 11,4    | 4,0-8,0                              |
| Magnesio inter. (cmol/kg)         | 1,51   | 1,35   | 1,52   | 1,19    | 1,16    | 0,6-1,5                              |
| Sodio inter. (cmol/kg)            | 1,94   | 0,23   | 0,35   | 0,12    | 0,08    | <1,0                                 |
| Suma de bases (cmol/kg)           | 15,9   | 12,6   | 15,1   | 13,1    | 12,9    | 5,0-10,0                             |
| Azufre disponible (mg/kg)         | 14,8   | 15,8   | 15,2   | 19,1    | 17,4    | 16-30                                |
| Aluminio interc. (cmol/kg)        | 0,01   | 0,04   | 0,01   | 0,01    | 0,01    | <0,15                                |
| CICE (cmol/kg)                    | 15,9   | 12,6   | 15,1   | 13,1    | 12,9    | >5,0                                 |
| Saturación de Al (%)              | 0,1    | 0,3    | 0,1    | 0,1     | 0,0     | <2,0                                 |
| Saturación de K (%)               | 5,5    | 3,3    | 2,9    | 2,1     | 2,1     | 5-10                                 |
| Saturación de Ca (%)              | 72,7   | 83,9   | 84,7   | 87,8    | 88,3    | 65-75                                |
| Saturación de Mg (%)              | 9,5    | 10,7   | 10,0   | 9,1     | 9,0     | 10-15                                |
| Relación Calcio/Magnesio          | 7,6    | 7,8    | 8,4    | 9,6     | 9,9     | 4-6                                  |
| Relación Potasio/Magnesio         | 0,6    | 0,3    | 0,3    | 0,2     | 0,2     | 0,3-0,6                              |
| Hierro (mg/kg)                    | 30,3   | 19,5   | 25,8   | 34,9    | 37,1    | >2,5                                 |
| Manganeso (mg/kg)                 | 3,2    | 3,8    | 6,7    | 4,3     | 3,2     | >3,0                                 |
| Cinc (mg/kg)                      | 1,3    | 0,9    | 1,7    | 1,4     | 1,2     | >1,0                                 |
| Cobre (mg/kg)                     | 1,3    | 1,0    | 1,6    | 1,3     | 1,5     | >0,5                                 |
| Boro (mg/kg)                      | 1,3    | 1,2    | 1,3    | 1,4     | 1,6     | 0,6-1,5                              |

## **2.- Análisis de solución de suelo de la siembra de Quínoa de Los Ángeles y Selva Negra.**

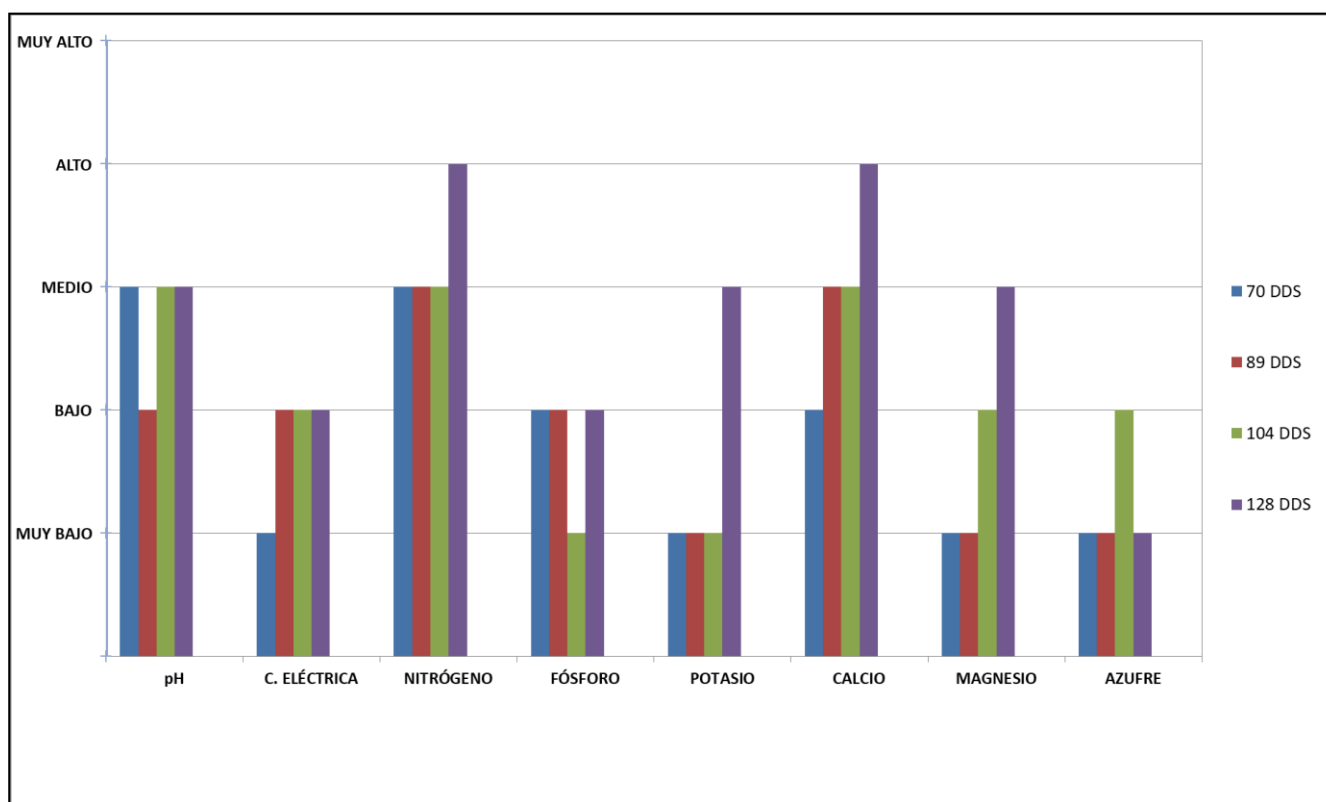
En consideración a que las plantas absorben los nutrientes directamente de la solución de suelo, se procedió a muestrear la concentración nutricional de la solución del suelo en cuatro oportunidades durante el ciclo del cultivo. En los cuadros 3 y 4 y en las figuras 1 y 2, se presenta esta información.

Se puede observar que en el sitio Los Ángeles, en general, se mantienen niveles medios a bajos en todos los elementos durante el ciclo del cultivo, sin embargo, todos los nutrientes aumentaron su disponibilidad en la última fecha de medición con respecto a la anterior, debido, probablemente, a una disminución en la tasa de absorción por parte de la planta.

En el caso de Selva Negra, la solución de suelo muestra un agotamiento paulatino de los nutrientes, atribuible a una absorción progresiva de la planta a través del ciclo de crecimiento.

**Cuadro 3.** Análisis de solución de suelo de la siembra de Quínoa de Los Ángeles.

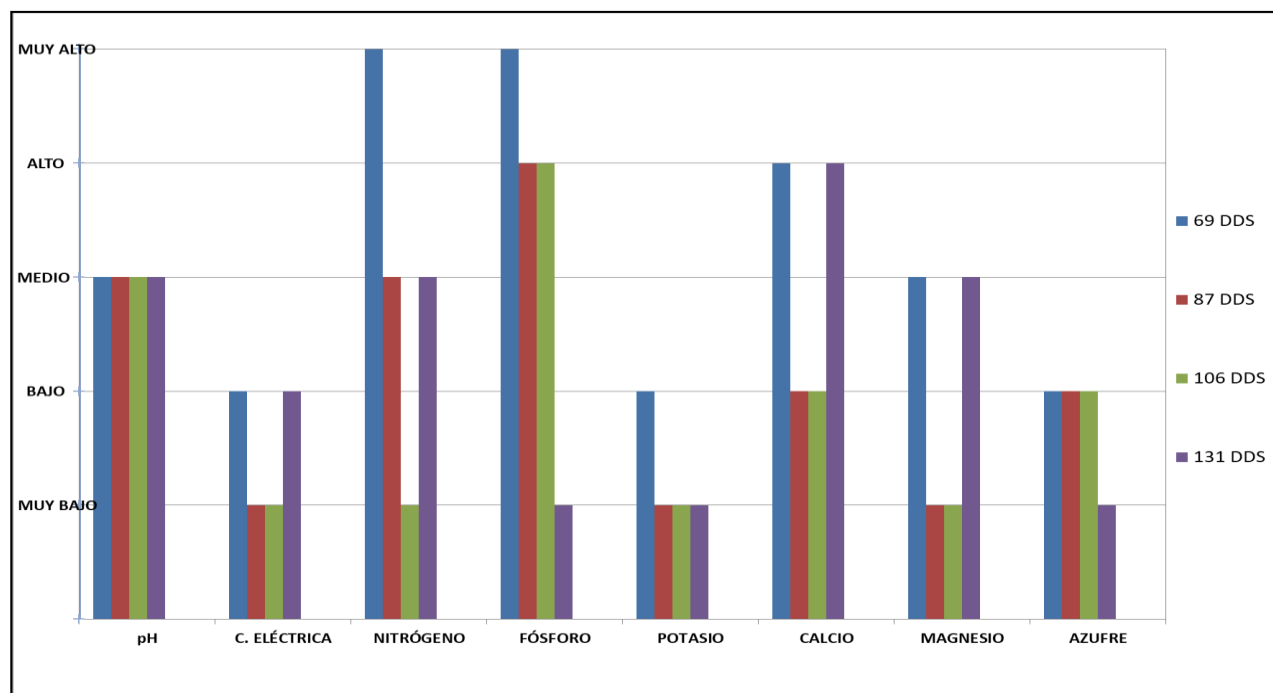
| Identificación | pH  | CE <sub>es</sub><br>dS/m | N-NH <sub>4</sub><br>mg/L | N-NO <sub>3</sub><br>mg/L | N<br>mg/L | P<br>mg/L | K<br>mg/L | Ca<br>mg/L | Mg<br>mg/L | Na<br>mg/L | S-SO <sub>4</sub><br>mg/L | Fe<br>mg/L | Mn<br>mg/L | Zn<br>mg/L | Cu<br>mg/L | B<br>mg/L |
|----------------|-----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 70 DDS         | 5,9 | 0,18                     | 4                         | 21                        | 25        | 0,8       | 3,8       | 5,0        | 1,7        | 6,7        | 1,6                       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1      |
| 89 DDS         | 5,6 | 0,23                     | 1                         | 26                        | 27        | 0,8       | 7,9       | 10,2       | 1,8        | 11,7       | 1,9                       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | 0,2       |
| 104 DDS        | 6,2 | 0,20                     | 5                         | 12                        | 17        | 0,2       | 5,9       | 10,2       | 2,2        | 15,4       | 3,7                       | 0,2        | 0,1        | <0,1       | <0,1       | 0,1       |
| 128 DDS        | 5,9 | 0,44                     | 2                         | 45                        | 47        | 0,5       | 16,3      | 24,1       | 6,7        | 24,2       | 1,0                       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1      |



**Figura 1.** Calificación nutricional de la solución de suelo en Los Ángeles.

**Cuadro 4.** Análisis de solución de suelo de la siembra de Quínoa de Selva Negra.

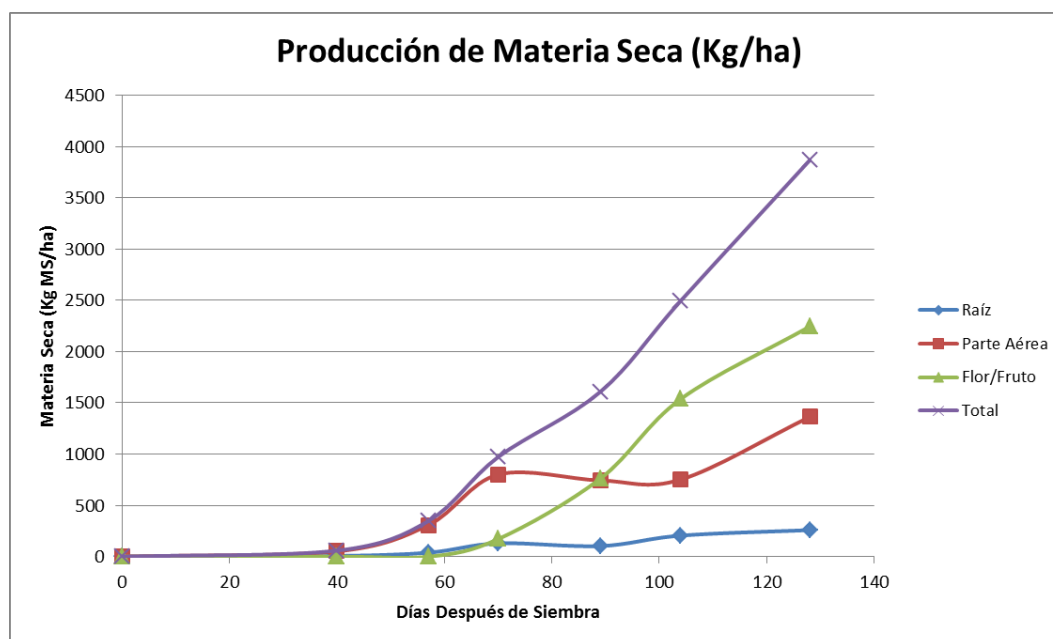
| Identificación | pH  | CE <sub>es</sub><br>dS/m | N-NH <sub>4</sub><br>mg/L | N-NO <sub>3</sub><br>mg/L | N<br>mg/L | P<br>mg/L | K<br>mg/L | Ca<br>mg/L | Mg<br>mg/L | Na<br>mg/L | S-SO <sub>4</sub><br>mg/L | Fe<br>mg/L | Mn<br>mg/L | Zn<br>mg/L | Cu<br>mg/L | B<br>mg/L |
|----------------|-----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 69 DDS         | 5,8 | 0,39                     | 22,1                      | 72,0                      | 94,1      | 4,5       | 9,1       | 23,8       | 4,1        | 8,9        | 2,1                       | 0,6        | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1      |
| 87 DDS         | 6,1 | 0,18                     | 7,3                       | 16,2                      | 23,4      | 2,8       | 3,7       | 9,3        | 1,1        | 12,4       | 3,0                       | 0,4        | <0,1       | <0,1       | <0,1       | 0,4       |
| 106 DDS        | 6,2 | 0,17                     | 3,7                       | 3,7                       | 7,4       | 3,1       | 0,2       | 9,7        | 1,5        | 13,3       | 3,9                       | 0,6        | 0,1        | <0,1       | <0,1       | 0,5       |
| 131 DDS        | 6,1 | 0,33                     | 6,16                      | 18,0                      | 24,1      | 0,2       | 4,9       | 21,5       | 4,2        | 24,4       | 1,8                       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1       | 0,3       |



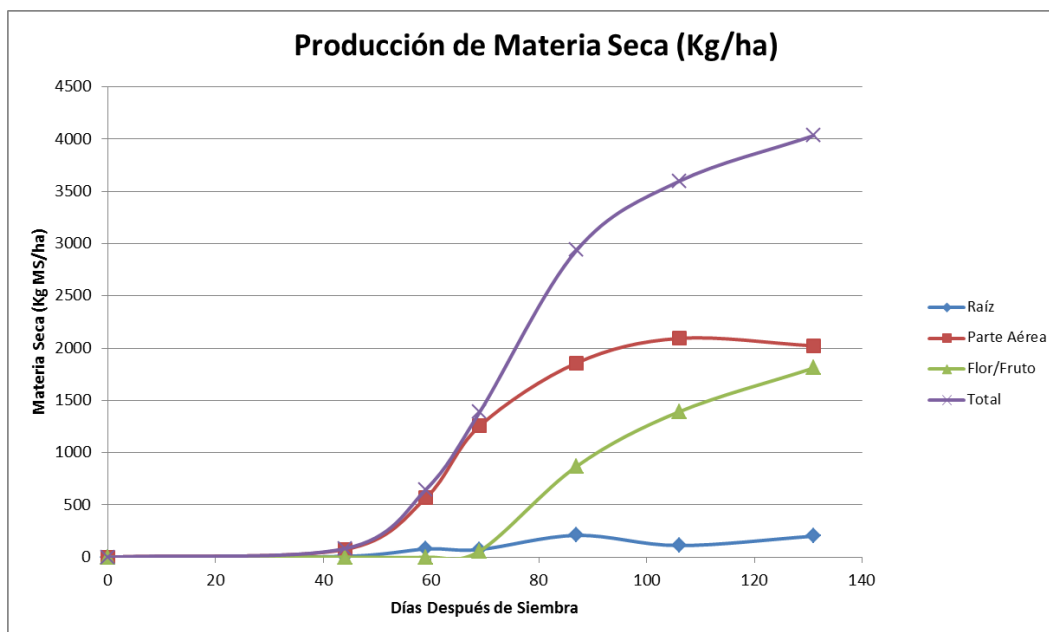
**Figura 2.** Calificación nutricional de la solución de suelo en Selva Negra.

### 3.- Determinación de producción de materia seca Los Ángeles y Selva Negra.

En la figura 3 y 4 se presenta la evolución de materia seca correspondiente a la fracción radicular, tallos-hojas y semillas en 5 períodos de muestreo, completando el ciclo a los 130 días después de siembra (DDS). Se puede observar que, en ambos sitios, la producción de materia seca es despreciable previo a los 60-70 días de establecido el cultivo. En tanto, después de los 80-90 DDS se generan tres cuartos de la producción total de materia seca, y la proporción correspondiente a la semilla es del orden del 45-50% del peso total de la planta. Respecto a la raíz, presenta una tasa de crecimiento reducida y estable durante toda la temporada, representando menos del 10% del peso total de la planta. En ambos sitios de estudio se obtuvo un rendimiento total entorno a los 4.000 kg/ha de materia seca.



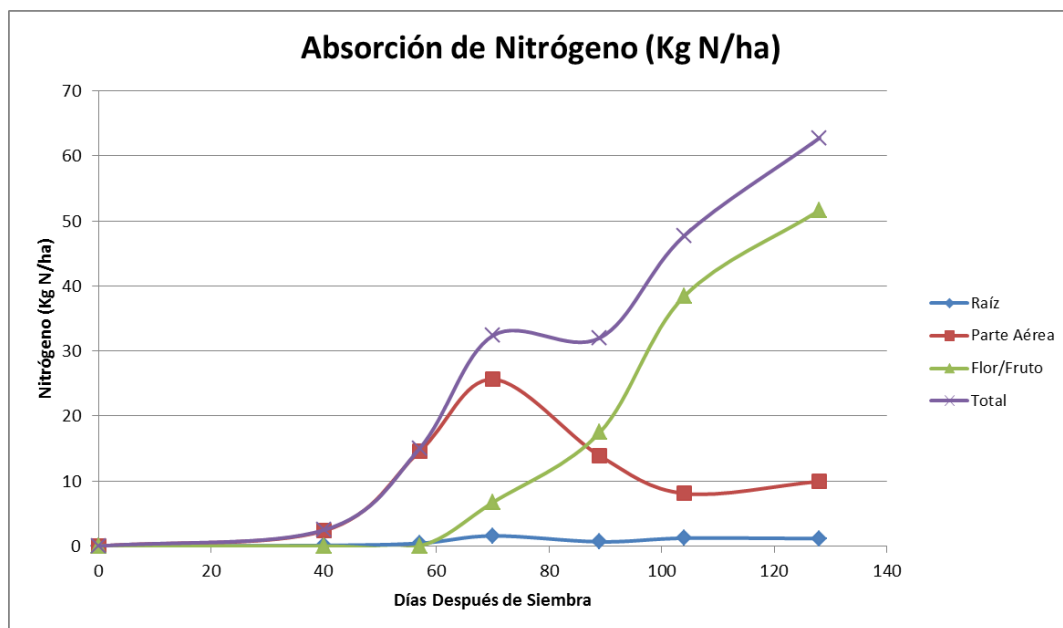
**Figura 3.** Producción de materia seca obtenida en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



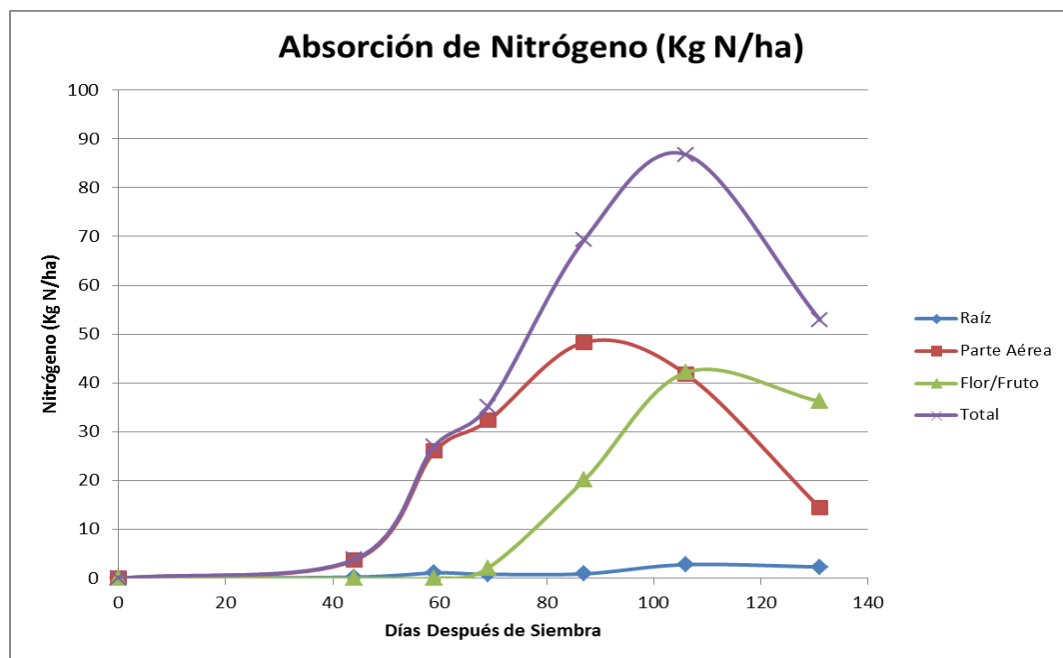
**Figura 4.** Producción de materia seca obtenida en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

#### 4.- Absorción de Nitrógeno.

Las curvas de extracción de nitrógeno se presentan en la Figura 5 y 6. En ambos sitios, se puede observar que entre los 70 y 90 días, comienza un proceso de translocación de N desde los tejidos aéreos a la semilla, llegando al final del ciclo a una extracción total de 55-63 kg N/ha. La mayor proporción de este N se encuentra presente en la semilla, constituyendo un 70-80 % de la demanda total.



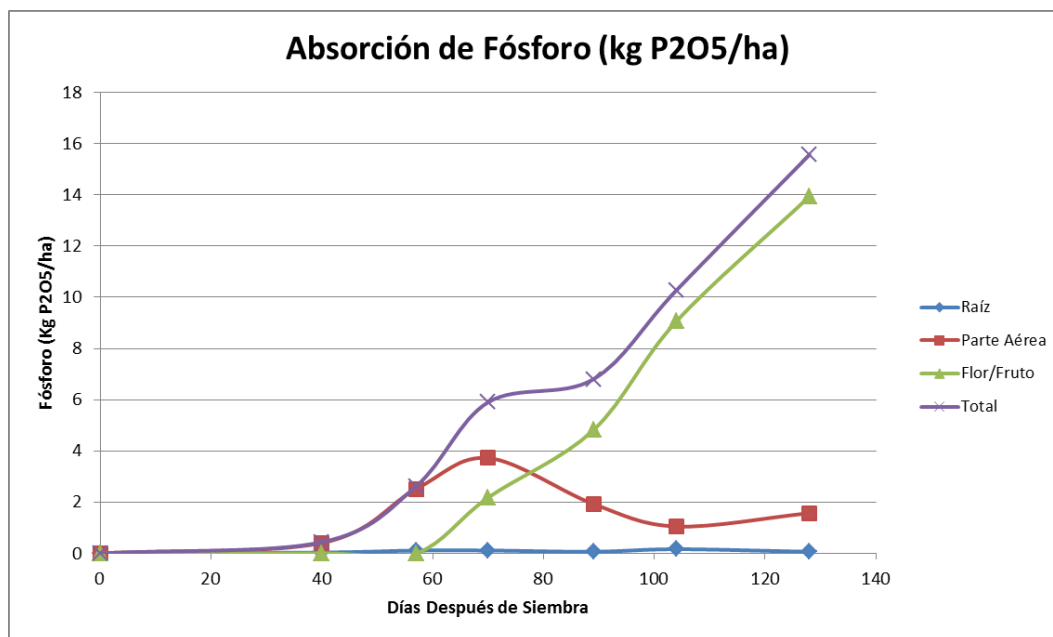
**Figura 5.** Extracción de nitrógeno obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



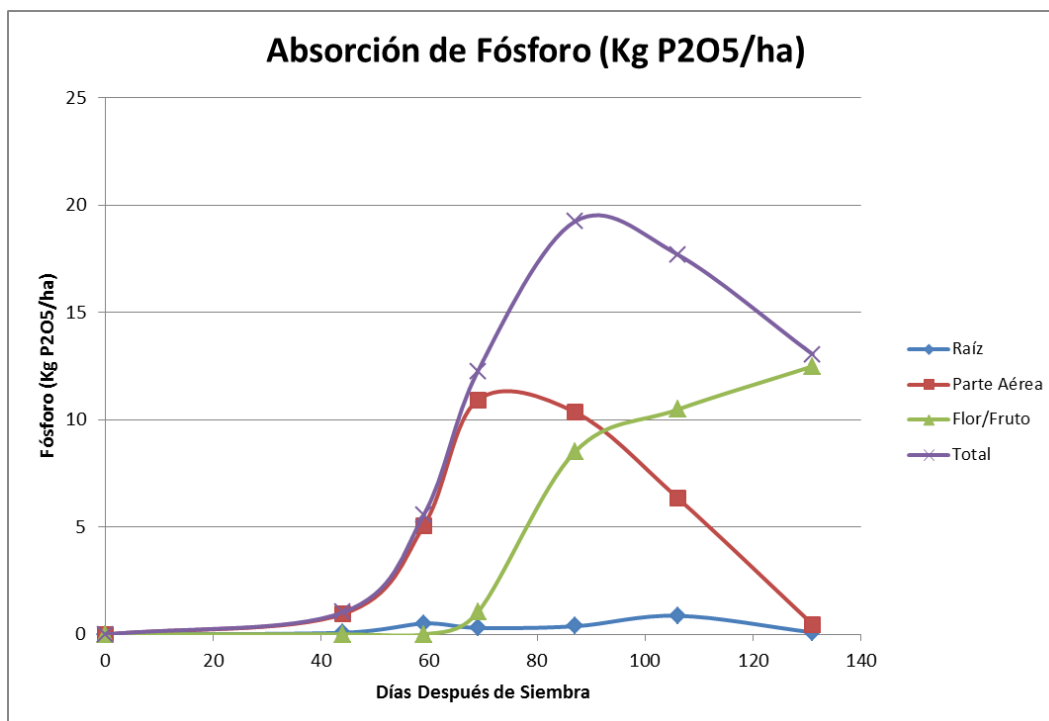
**Figura 6.** Extracción de nitrógeno obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

## 5.- Absorción de Fósforo:

La extracción de fósforo por el cultivo es bajo en su primera etapa de crecimiento (0 a 60 días). En tanto, a partir de esta fecha se genera una extracción considerable. La mayor parte del fósforo es translocado a la semilla, constituyendo 85-90% de la extracción total.



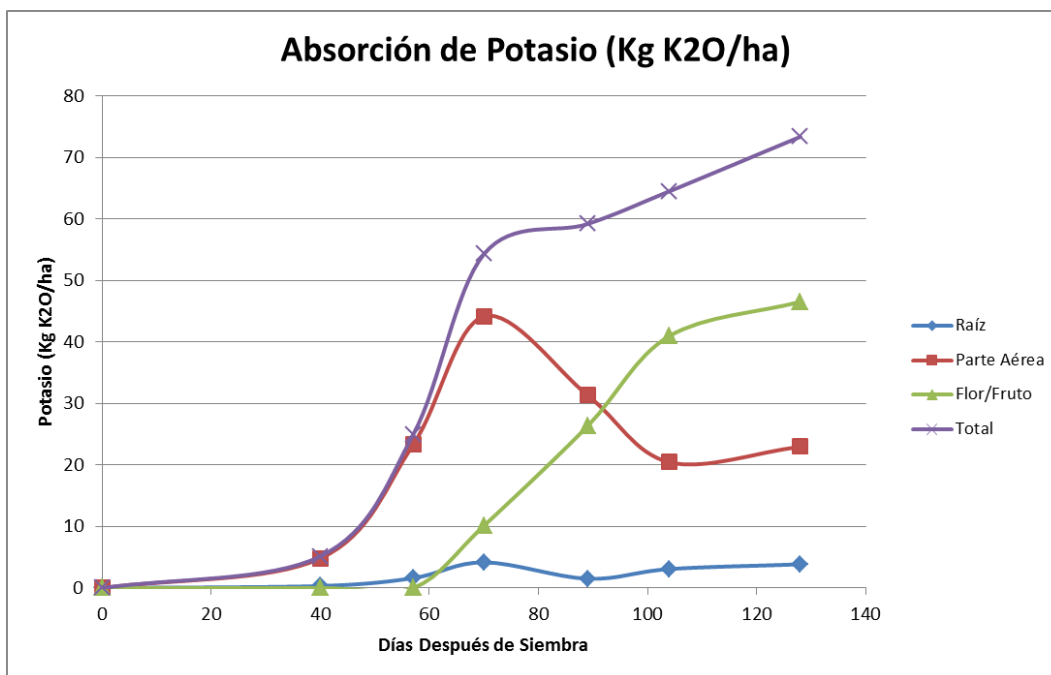
**Figura 7.** Extracción de fósforo obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



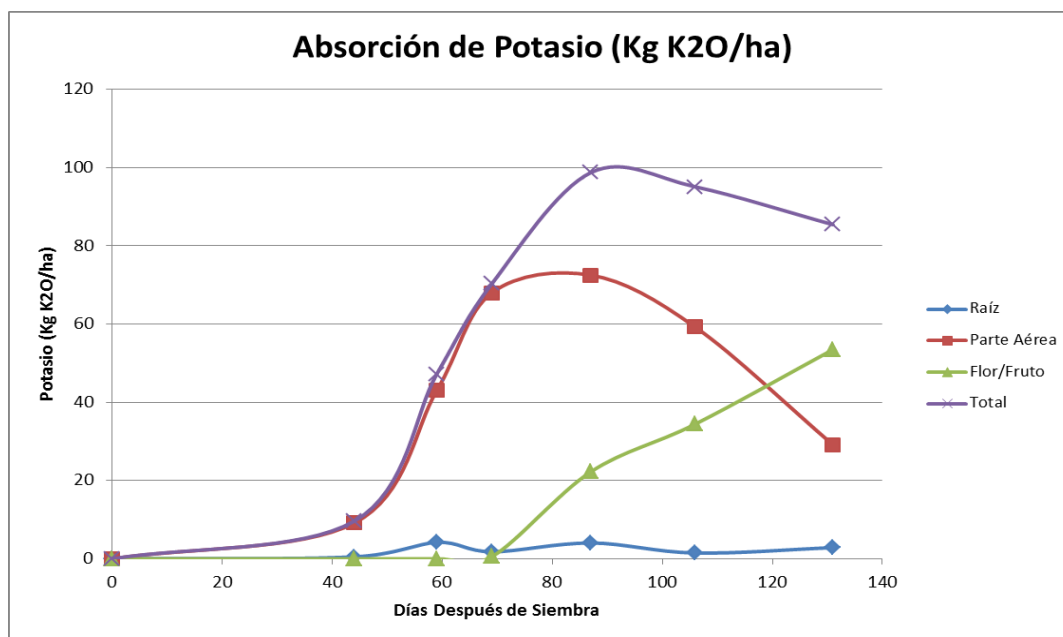
**Figura 8.** Extracción de fósforo obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

## 6.- Absorción de Potasio.

La extracción total de potasio que presenta esta especie varió de 75-85 kg K<sub>2</sub>O/ha. Alrededor del 80% de la extracción total se presenta en hojas y tallos (parte aérea). A partir de los 70-80 DDS comienza la translocación de este elemento hacia la semilla, llegando a representar en esta estructura el 60% de lo absorbido por la planta.



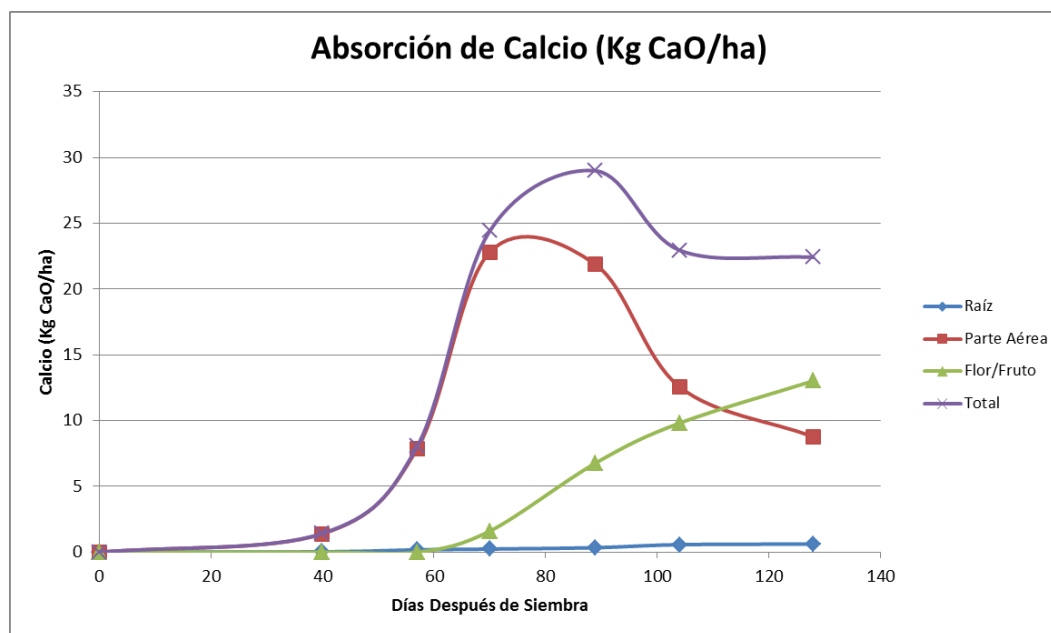
**Figura 9.** Extracción de potasio obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



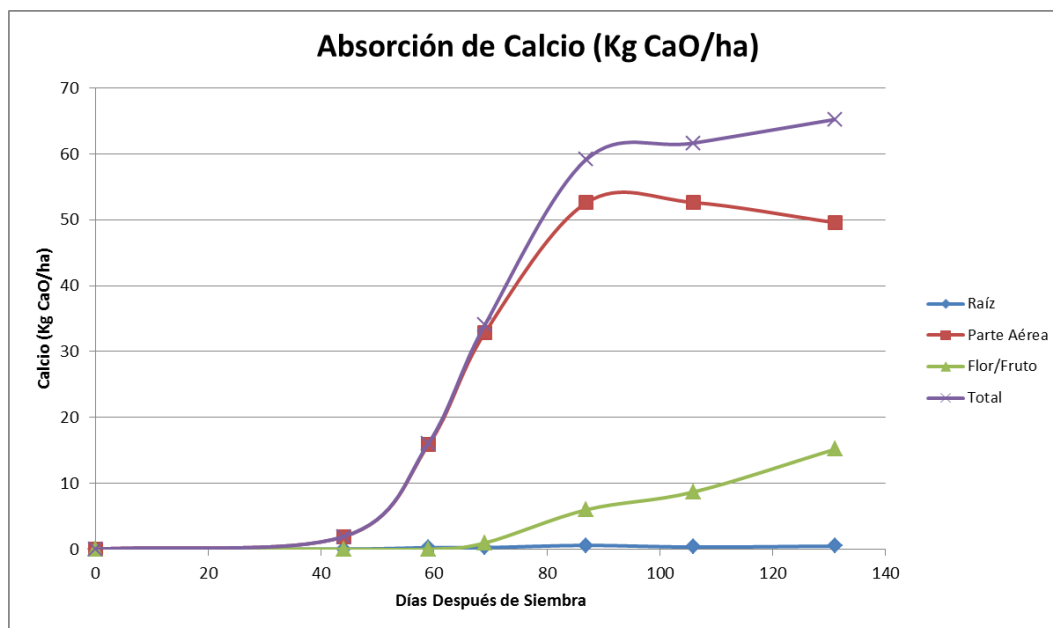
**Figura 10.** Extracción de potasio obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

## 7.- Absorción de Calcio.

En el caso del calcio, en ambos sitios, la mayor absorción se presentó entre los 60-90 días, observando tasas de extracciones muy altas en dicho período. Además, se observa que, en ambos sitios la fracción acumulada en la semilla al final del ciclo fue del orden de 15 kg CaO/ha. No obstante, la extracción total en ambos sitios difirió considerablemente, producto del nivel de disponibilidad de este elemento en el suelo.



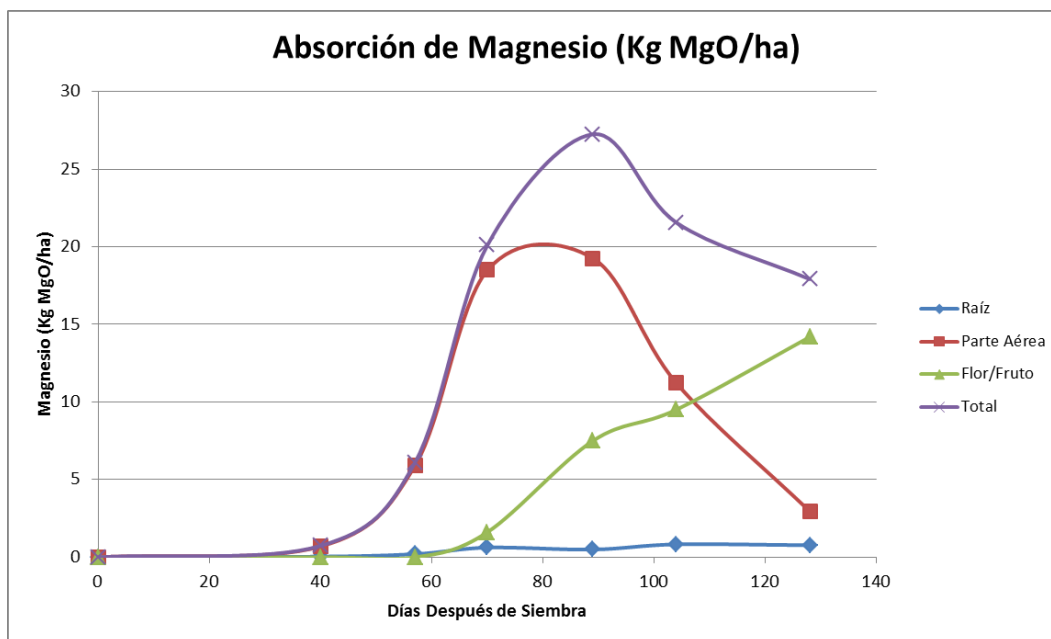
**Figura 11.** Extracción de calcio obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



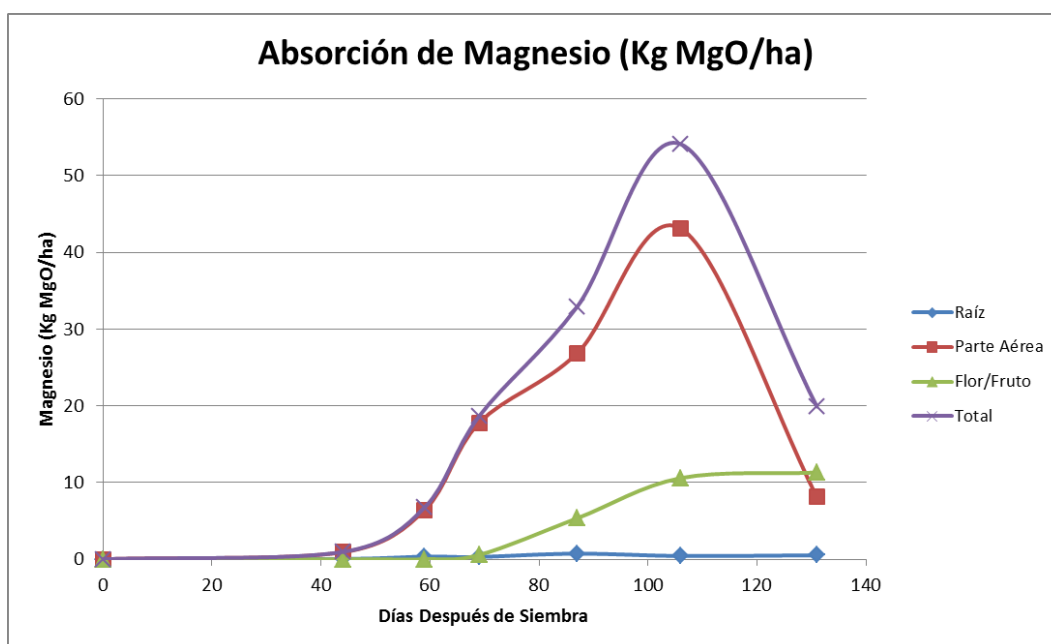
**Figura 12.** Extracción de calcio obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

## 8.- Extracción de Magnesio.

El magnesio alcanzó una acumulación total de, aproximadamente, 20 kg MgO/ha, observándose a partir de los 50-60 DDS una tasa de acumulación estable por parte de la parte aérea, sin embargo, desde 90-110 DDS se puede observar que existe una disminución de este elemento en la parte aérea, generándose una translocación a la semilla.



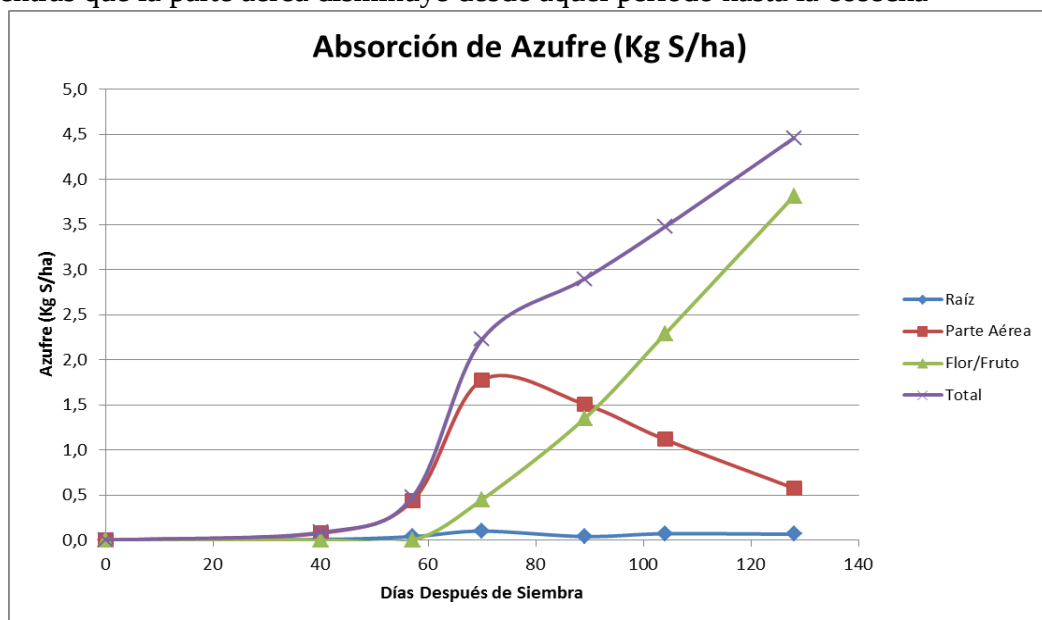
**Figura 13.** Extracción de magnesio obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



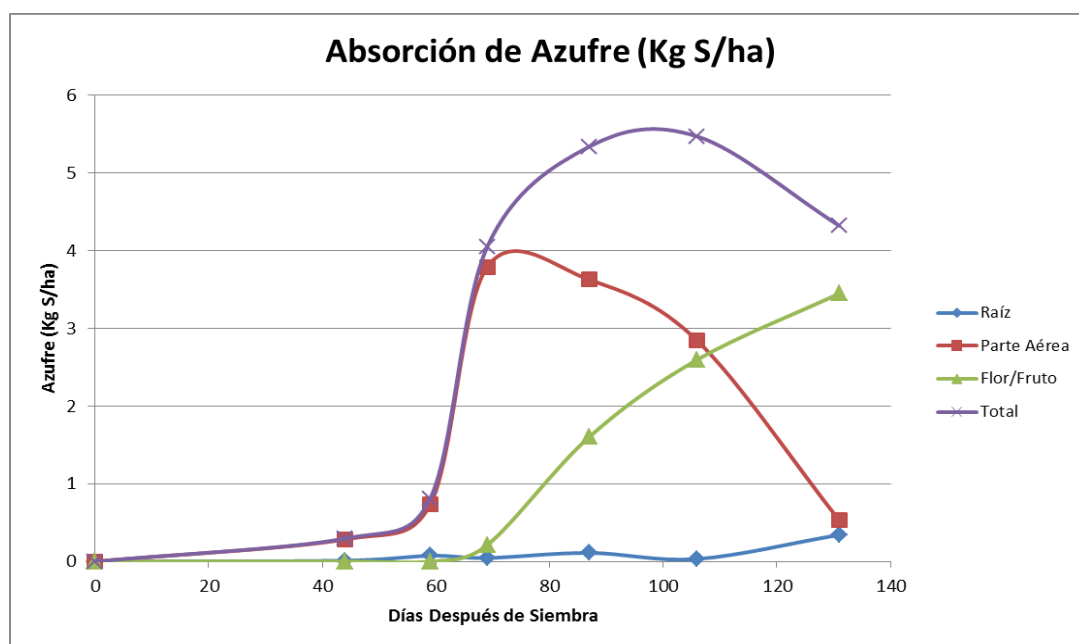
**Figura 14.** Extracción de magnesio obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

## 9.- Extracción de Azufre.

El azufre alcanzó una acumulación total entorno a 5 kg S/ha, observándose a partir de los 70-80 DDS una tasa de acumulación significativa y estable por parte de la flor/fruto, acumulándose la mayor concentración del azufre acumulado, en esta estructura de la planta. Mientras que la parte aérea disminuye desde aquel período hasta la cosecha



**Figura 15.** Extracción de azufre obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.



**Figura 16.** Extracción de azufre obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

## 10.- Absorción de microelementos.

Con la excepción de hierro, en ambos sitios, ningún micro-elemento superó una extracción de 1 kg/ha. Aun cuando estos nutrientes presentan un rol fundamental, sus requerimientos son considerablemente menores, comparado con los macronutrientes.

**Cuadro 5.** Absorción acumulada de microelementos en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 2.245 kg de grano seco/ha.

| DDS | Fe<br>kg/ha | Mn<br>kg/ha | Zn<br>kg/ha | Cu<br>kg/ha | B<br>kg/ha |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 40  | 0,01        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00       |
| 57  | 0,08        | 0,02        | 0,01        | 0,00        | 0,02       |
| 70  | 0,12        | 0,07        | 0,02        | 0,00        | 0,07       |
| 89  | 0,23        | 0,10        | 0,02        | 0,01        | 0,10       |
| 104 | 0,35        | 0,10        | 0,03        | 0,02        | 0,10       |
| 128 | 1,57        | 0,10        | 0,05        | 0,02        | 0,10       |

**Cuadro 6.** Absorción acumulada de microelementos en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 1.810 kg de grano seco/ha.

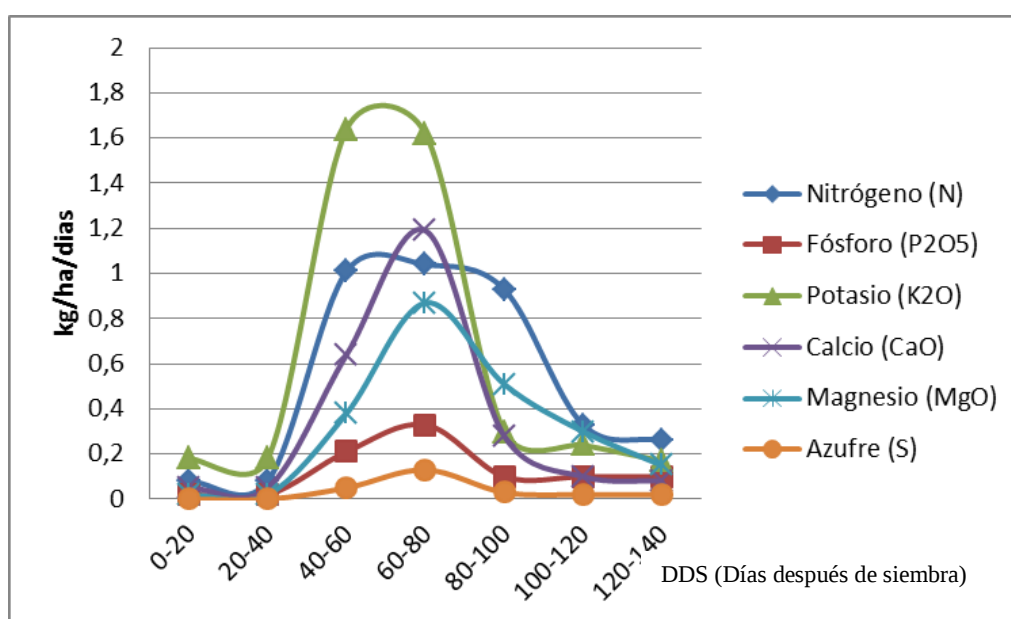
| DDS | Fe<br>kg/ha | Mn<br>kg/ha | Zn<br>kg/ha | Cu<br>kg/ha | B<br>kg/ha |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 40  | 0,01        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00       |
| 57  | 0,15        | 0,05        | 0,05        | 0,01        | 0,05       |
| 70  | 0,34        | 0,11        | 0,06        | 0,01        | 0,09       |
| 89  | 0,47        | 0,21        | 0,06        | 0,01        | 0,23       |
| 104 | 0,66        | 0,21        | 0,06        | 0,02        | 0,23       |
| 128 | 1,04        | 0,21        | 0,08        | 0,02        | 0,23       |

## 11- Tasas de acumulación diaria y distribución de macro-elementos.

En el cuadro 7 se observan las tasas de acumulación de nutrientes por parte del cultivo de quinoa en los diferentes períodos del ciclo del cultivo. Se puede inferir que las máximas tasas de absorción de nutrientes se logran en el transcurso del tercer mes después de siembra. Las mayores tasas de absorción las presentan los nutrientes Potasio, Nitrógeno y Calcio que superan 1 kg/ha/día en el periodo de mayor actividad del cultivo.

**Cuadro 7.** Tasa de acumulación diaria de macro-nutrientes por parte del cultivo de Quinoa. Promedio de los dos sitios de estudio.

| Nutriente                                | Días después de siembra (DDS)          |       |       |       |        |         |         |
|------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|
|                                          | 0-20                                   | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | 100-120 | 120-140 |
|                                          | Tasa de acumulación diaria (kg/ha/día) |       |       |       |        |         |         |
| Nitrógeno (N)                            | 0,08                                   | 0,08  | 1,01  | 1,04  | 0,93   | 0,33    | 0,26    |
| Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 0,02                                   | 0,02  | 0,21  | 0,33  | 0,10   | 0,10    | 0,10    |
| Potasio (K <sub>2</sub> O)               | 0,18                                   | 0,18  | 1,64  | 1,62  | 0,30   | 0,24    | 0,17    |
| Calcio (CaO)                             | 0,05                                   | 0,05  | 0,64  | 1,19  | 0,28   | 0,10    | 0,08    |
| Magnesio (MgO)                           | 0,02                                   | 0,02  | 0,38  | 0,87  | 0,51   | 0,30    | 0,15    |
| Azufre (S)                               | 0,00                                   | 0,00  | 0,05  | 0,13  | 0,03   | 0,02    | 0,02    |



**Figura 17.** Tasa de acumulación diaria de macro-nutrientes por parte del cultivo de Quinoa. Promedio de dos sitios de estudio.

## 12.- Demanda de Nutrientes por tonelada de rendimiento.

En el cuadro 8 se presenta el cálculo de requerimiento de nutrientes por tonelada de granos cosechados para las condiciones edafoclimáticas presentes en la zona de centro-sur de Chile, donde se realizaron ambos ensayos. La utilidad de esta información, es que se puede extrapolar a diferentes niveles productivos posibles de alcanzar en otras condiciones edafoclimáticas y, con ello, inferir los requerimientos nutricionales y niveles necesarios de fertilización. Se presenta un ejemplo para rendimientos dentro del rango de 2 a 4 ton/ha de grano.

**Cuadro 8.** Requerimiento interno de macronutrientes, demanda por tonelada producida de grano quinoa y demanda total para diferentes potenciales de rendimiento de grano. Promedio de ambos sitios de estudio.

| Nutrientes | Requerimiento interno (RI) <sup>1</sup> | Demanda por tonelada de grano           | Absorción total para diferentes rendimientos de grano (kg/ha) |          |          |
|------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------|----------|
|            |                                         |                                         | 2 ton/ha                                                      | 3 ton/ha | 4 ton/ha |
| Nitrógeno  | 1,9                                     | 37 kg N/ton                             | 54                                                            | 111      | 148      |
| Fósforo    | 0,20                                    | 9 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ton | 18                                                            | 27       | 36       |
| Potasio    | 1,8                                     | 43 kg K <sub>2</sub> O/ton              | 86                                                            | 129      | 172      |
| Calcio     | 0,84                                    | 23 kg CaO/ton                           | 46                                                            | 69       | 92       |
| Magnesio   | 0,61                                    | 20 kg MgO/ton                           | 40                                                            | 60       | 80       |

<sup>1.</sup> *Requerimiento Interno (RI) corresponde a la concentración promedio del nutriente en la biomasa total de la planta al momento de la cosecha.*

#### **IV. CONCLUSIONES**

A partir de los resultados obtenidos se puede inferir como conclusión que el rendimiento de materia seca total fue del orden de 4000 kg/ha en tanto el rendimiento de grano varió de 1,8 a 2,3 toneladas. La mayor tasa de acumulación de materia seca y de nutrientes se observó en el transcurso del tercer mes después de siembra. Las evaluaciones de concentración nutricional y evolución de materia seca permitieron determinar el requerimiento interno de los nutrientes y demandas nutricionales para diferentes potenciales productivos del cultivo de Quinoa.



## **DEMANDA DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE ALFORFÓN**

**IVÁN VIDAL P.**  
*Ing. Agrónomo, M.Sc. Dr.*  
[ividal@udec.cl](mailto:ividal@udec.cl)

**LUIS BARRA F.**  
*Ing. Agrónomo.*  
[luisbarra@irrifer.cl](mailto:luisbarra@irrifer.cl)

***Convenio Orafti-Irrifer***

***Septiembre, 2018***

## DEMANDA DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DEL ALFORFÓN

**IVAN VIDAL P.**  
*Ing. Agrónomo, M.Sc. Dr.*

[ividal@udec.cl](mailto:ividal@udec.cl)

**LUIS BARRA F.**

*Ing. Agrónomo.*

[luisbarra@irrifer.cl](mailto:luisbarra@irrifer.cl)

### I. INTRODUCCION

Disponer de la información sobre exportación de nutrientes es un antecedente importante para planificar la futura fertilización de los cultivos. Los estudios de exportación son importantes pues constituyen una medida real de lo que consume una planta durante su período de crecimiento, y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso la planta para producir un determinado rendimiento. Cabe señalar, que cuando una variedad presenta características particulares de comportamiento y producción, puede expresar diferencias en su capacidad de absorber nutrientes, por lo tanto, para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones más allá de la circunstancia particular en la que se efectuaron, es necesario que se realicen bajo condiciones nutricionales y ambientales óptimas y con variedades definidas.

La cantidad consumida, absorbida o requerida por una planta se obtiene al asociar el peso seco de los tejidos con las concentraciones de nutrientes totales presentes en esos tejidos.

Estos estudios contemplan el muestreo en varias etapas asociadas a cambios fenológicos importantes, durante el ciclo de vida de la planta, con lo que posteriormente se pueden elaborar las curvas de absorción.

De acuerdo a lo anterior y considerando la falta de información respecto a requerimientos nutricionales del cultivo de Alforfón se planteó la presente investigación con el propósito de determinar las tasas de absorción de nutrientes por parte de esta especie, sembrada por la empresa Orafti Chile S.A.

Por otra parte, se puede mencionar que el alforfón es un alimento libre de gluten, se caracteriza por disponer de un alto contenido en proteína y también es rico en fibra. Además, no produce colesterol, es rico en ácidos grasos Omega 3 y 6, contiene aminoácidos esenciales como el triptófano y lisina. Por lo anterior, es usado principalmente en el ámbito culinario para ser consumidos por celíacos, o bien, como alternativa saludable a incluir en las dietas alimentarias por su alta calidad nutricional.

## **II. MATERIALES Y METODOS**

El presente trabajo se realizó en la temporada agrícola 2017-18, en dos localidades, Los Ángeles y Selva Negra, para lo cual se utilizó la variedad Alforfón INIA, con fechas de siembra 25 de Octubre de 2017 y 29 de Septiembre de 2017, respectivamente. Las dosis de siembra fue de 555.000 semillas/ha en la localidad de Los Angeles y 370.000 semillas/ha, en Selva Negra.

Para determinar la extracción total de nutrientes en la temporada, se procedió a efectuar 7 muestreos durante el ciclo del cultivo, donde se midió materia seca de las diferentes estructura de la planta (hojas-tallo-raíz- flor-fruto) y se les determinó su concentración de macro y micronutrientes. Con estos datos se determinó la extracción de nutrientes totales por hectárea, considerando el número total de plantas por hectárea, para cada situación.

## **III. RESULTADOS**

### **1.- Análisis químico de suelos durante la temporada**

En los cuadros 1 y 2, se presentan los análisis de suelo realizados en ambos sitios de ensayo, tanto para Los Ángeles como para Selva Negra. Cabe señalar, que los rangos de pH y materia orgánica son óptimos en ambos sitios. No obstante, se presentan algunas deficiencias específicas.

En el caso de Los Ángeles, se puede observar que durante toda la temporada presentó deficiencias de fósforo, zinc y boro, mientras que hacia finales del período de ensayo se presentó deficiencia de potasio, lo cual nos puede indicar que tuvo una absorción importante de este elemento durante la temporada.

En Selva Negra, el suelo presenta un mayor nivel de fertilidad, no observándose deficiencias de ningún macro o microelemento en el ciclo del cultivo.

**Cuadro 1.** Análisis químico de suelo de la siembra de Alforfón en la zona de Los Ángeles.

| Determinación                     | 40 DDS | 57 DDS | 70 DDS | 89 DDS | 104 DDS | 128 DDS | Categoría normal o nivel suficiencia |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------------------------------------|
| pH                                | 6,2    | 5,8    | 5,9    | 6,0    | 6,0     | 6,3     | 6,0-7,0                              |
| Mat. Orgánica (%)                 | 8,0    | 9,7    | 8,9    | 8,1    | 8,5     | 7,5     | 2,0-8,0                              |
| Cond. Eléctrica (dS/m) (1:2,5)    | 0,22   | 0,79   | 0,48   | 0,37   | 0,22    | 0,19    | <1,0                                 |
| Amonio N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)  | 8      | 19     | 10     | 7      | 7       | 6       | > 10                                 |
| Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | 16     | 66     | 36     | 22     | 12      | 1       | > 10                                 |
| N disponible (mg/kg)              | 24     | 85     | 46     | 29     | 19      | 7       | 20-60                                |
| Fósforo disponible (mg/kg)        | 5      | 8      | 8      | 10     | 8       | 7       | 20                                   |
| Potasio Interc. (cmol/kg)         | 0,47   | 0,48   | 0,33   | 0,33   | 0,37    | 0,19    | 0,30-0,45                            |
| Potasio disponible (mg/kg)        | 184    | 186    | 130    | 128    | 146     | 72      | 115-175                              |
| Calcio inter. (cmol/kg)           | 7,7    | 7,5    | 7,4    | 6,0    | 6,8     | 9,6     | 4,0-8,0                              |
| Magnesio inter. (cmol/kg)         | 1,70   | 1,91   | 1,74   | 1,23   | 1,37    | 1,86    | 0,6-1,5                              |
| Sodio inter. (cmol/kg)            | 0,12   | 0,07   | 0,23   | 0,39   | 0,11    | 0,08    | <1,0                                 |
| Suma de bases (cmol/kg)           | 10,0   | 9,9    | 9,7    | 7,9    | 8,7     | 11,7    | 5,0-10,0                             |
| Azufre disponible (mg/kg)         | 20,2   | 14,6   | 19,4   | 24,0   | 27,0    | 17,8    | 16-30                                |
| Aluminio interc. (cmol/kg)        | 0,01   | 0,07   | 0,05   | 0,04   | 0,04    | 0,01    | <0,15                                |
| CICE (cmol/kg)                    | 10,0   | 10,0   | 9,8    | 8,0    | 8,7     | 11,7    | >5,0                                 |
| Saturación de Al (%)              | 0,1    | 0,7    | 0,5    | 0,5    | 0,5     | 0,1     | <2,0                                 |
| Saturación de K (%)               | 4,7    | 4,8    | 3,4    | 4,1    | 4,3     | 1,6     | 5-10                                 |
| Saturación de Ca (%)              | 76,9   | 74,7   | 75,9   | 75,0   | 78,2    | 81,8    | 65-75                                |
| Saturación de Mg (%)              | 17,1   | 19,1   | 17,8   | 15,5   | 15,7    | 15,9    | 10-15                                |
| Relación Calcio/Magnesio          | 4,5    | 3,9    | 4,3    | 4,8    | 5,0     | 5,2     | 4-6                                  |
| Relación Potasio/Magnesio         | 0,3    | 0,3    | 0,2    | 0,3    | 0,3     | 0,1     | 0,3-0,6                              |
| Hierro (mg/kg)                    | 28,8   | 66,6   | 42,0   | 37,0   | 42,9    | 37,9    | >2,5                                 |
| Manganeso (mg/kg)                 | 2,8    | 10,3   | 4,2    | 3,8    | 6,3     | 2,6     | >3,0                                 |
| Cinc (mg/kg)                      | 0,2    | 0,6    | 0,3    | 0,3    | 0,2     | 0,1     | >1,0                                 |
| Cobre (mg/kg)                     | 1,5    | 1,9    | 1,6    | 1,6    | 1,6     | 1,6     | >0,5                                 |
| Boro (mg/kg)                      | 0,4    | 0,3    | 0,3    | 0,1    | 0,7     | 0,4     | 0,6-1,5                              |

**Cuadro 2.** Análisis químico de suelo de la siembra de Alforfón en la zona de Selva Negra.

DDS: días después de siembra.

| Determinación                     | 66 DDS | 93 DDS | 111 DDS | 131 DDS | 156 DDS | Categoría normal o nivel Suficiencia |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------------------------------------|
| pH                                | 6,2    | 6,0    | 6,2     | 6,2     | 6,4     | 6,0-7,0                              |
| Mat. Orgánica (%)                 | 10,5   | 12,0   | 11,5    | 12,1    | 11,0    | 2,0-8,0                              |
| Cond. Eléctrica (dS/m) (1:2,5)    | 0,28   | 0,55   | 0,18    | 0,18    | 0,15    | <1,0                                 |
| Amonio N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)  | 6      | 13     | 8       | 4       | 1       | > 10                                 |
| Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | 21     | 48     | 10      | 6       | 5       | > 10                                 |
| N disponible (mg/kg)              | 27     | 61     | 18      | 10      | 6       | 20-60                                |
| Fósforo disponible (mg/kg)        | 20     | 44     | 50      | 43      | 35      | 20                                   |
| Potasio Interc. (cmol/kg)         | 0,88   | 0,60   | 0,85    | 0,55    | 0,36    | 0,30-0,45                            |
| Potasio disponible (mg/kg)        | 343    | 233    | 333     | 214     | 140     | 115-175                              |
| Calcio inter. (cmol/kg)           | 11,6   | 10,9   | 12,9    | 11,6    | 12,3    | 4,0-8,0                              |
| Magnesio inter. (cmol/kg)         | 1,51   | 1,37   | 1,35    | 1,29    | 1,34    | 0,6-1,5                              |
| Sodio inter. (cmol/kg)            | 1,94   | 0,23   | 0,39    | 0,11    | 0,07    | <1,0                                 |
| Suma de bases (cmol/kg)           | 15,9   | 13,1   | 15,5    | 13,6    | 14,1    | 5,0-10,0                             |
| Azufre disponible (mg/kg)         | 14,8   | 16,0   | 19,8    | 11,9    | 10,6    | 16-30                                |
| Aluminio interc. (cmol/kg)        | 0,01   | 0,04   | 0,01    | 0,01    | 0,01    | <0,15                                |
| CICE (cmol/kg)                    | 15,9   | 13,2   | 15,5    | 13,6    | 14,1    | >5,0                                 |
| Saturación de Al (%)              | 0,1    | 0,3    | 0,1     | 0,1     | 0,1     | <2,0                                 |
| Saturación de K (%)               | 5,5    | 4,5    | 5,5     | 4,0     | 2,5     | 5-10                                 |
| Saturación de Ca (%)              | 72,7   | 83,0   | 83,2    | 85,6    | 87,4    | 65-75                                |
| Saturación de Mg (%)              | 9,5    | 10,4   | 8,7     | 9,5     | 9,5     | 10-15                                |
| Relación Calcio/Magnesio          | 7,6    | 8,0    | 9,6     | 9,0     | 9,2     | 4-6                                  |
| Relación Potasio/Magnesio         | 0,6    | 0,4    | 0,6     | 0,4     | 0,3     | 0,3-0,6                              |
| Hierro (mg/kg)                    | 30,3   | 21,2   | 41,0    | 40,8    | 25,4    | >2,5                                 |
| Manganeso (mg/kg)                 | 3,2    | 3,6    | 5,6     | 5,8     | 1,1     | >3,0                                 |
| Cinc (mg/kg)                      | 1,3    | 0,9    | 1,5     | 1,4     | 1,0     | >1,0                                 |
| Cobre (mg/kg)                     | 1,3    | 1,0    | 1,7     | 1,4     | 1,2     | >0,5                                 |
| Boro (mg/kg)                      | 1,3    | 1,0    | 1,6     | 1,5     | 1,6     | 0,6-1,5                              |

## **2.- Análisis de solución de suelo de la siembra de Alforfón de Los Ángeles y Selva Negra.**

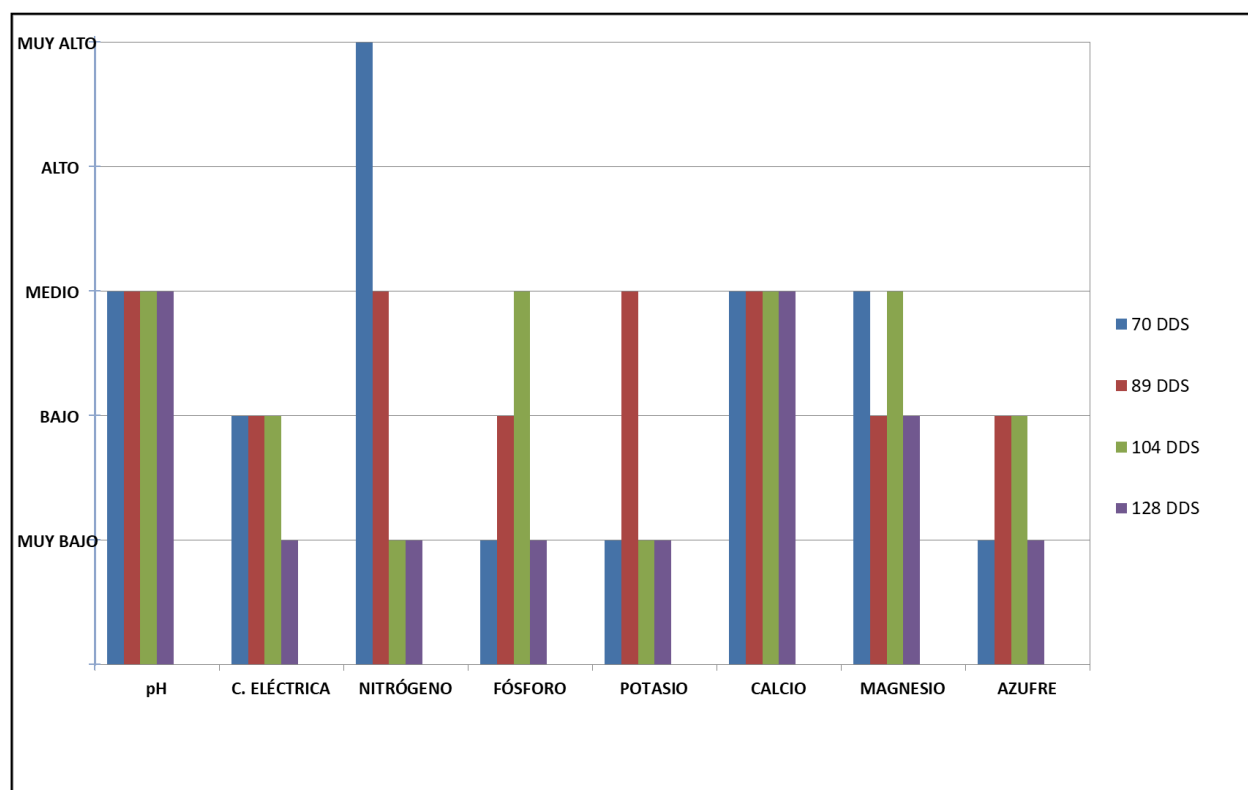
Las plantas absorben los nutrientes directamente de la solución de suelo. Se procedió a muestrear la concentración nutricional de la solución del suelo en cuatro oportunidades durante el ciclo del cultivo. En los cuadros 3 y 4 y en las figuras 1 y 2, se presenta esta información.

Se puede observar que en el sitio Los Ángeles, en general, se mantienen niveles medios a bajos en todos los elementos durante el ciclo del cultivo, sin embargo, el calcio siempre se mantiene medio sin tener variaciones en las fechas que fue medido, mientras que el potasio tendió a disminuir, demostrando el alto requerimiento de este elemento por parte de la planta.

En el caso de Selva Negra, la solución de suelo muestra que los nutrientes se fueron agotando y siendo absorbidos progresivamente a medida que pasaba la temporada y la planta lo fuera necesitando. Cabe mencionar que en este suelo existe una mayor absorción de calcio, presentándose menores concentraciones a medida que se acerca la fecha de cosecha.

**Cuadro 3.** Análisis de solución de suelo de la siembra de Alforfón de Los Ángeles.

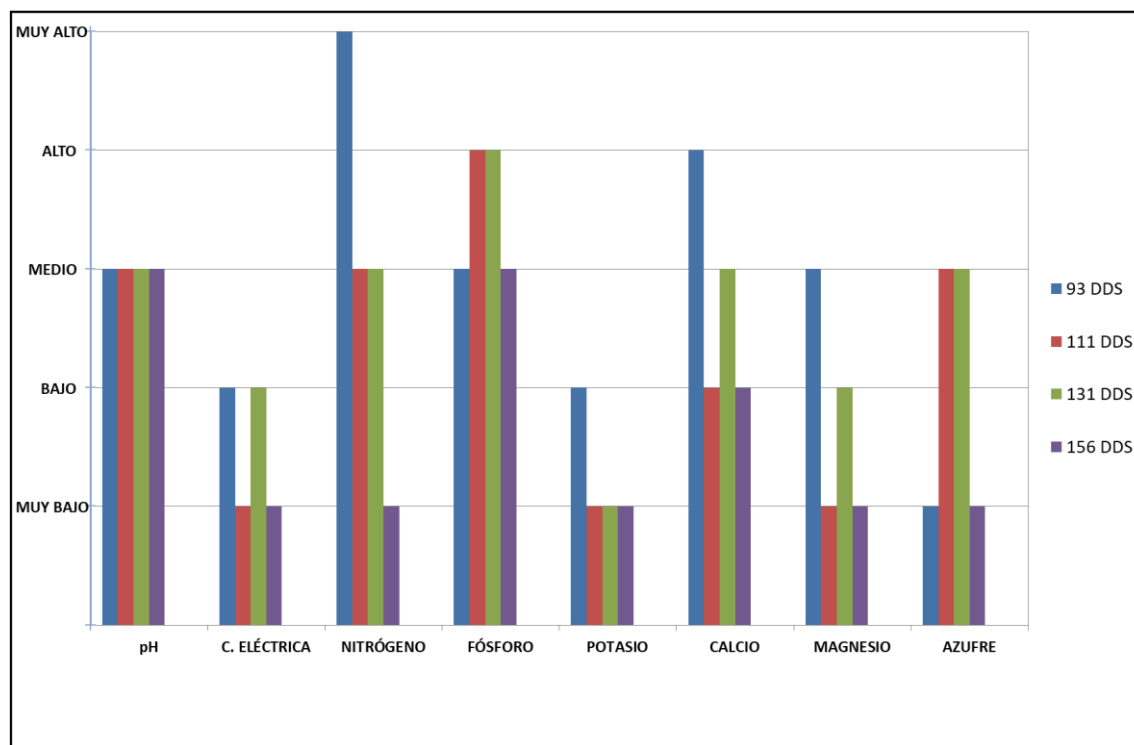
| Identificación (dds) | pH  | CE <sub>es</sub> | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | Na   | S-SO <sub>4</sub> | Fe   | Mn   | Zn   | Cu   | B    |
|----------------------|-----|------------------|-------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|-------------------|------|------|------|------|------|
|                      |     | dS/m             | mg/L              | mg/L              | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L              | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| 70                   | 5,7 | 0,34             | 3,0               | 72,6              | 75,7 | 0,3  | 4,9  | 16,4 | 4,7  | 6,6  | 0,5               | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| 89                   | 6,0 | 0,28             | 1,6               | 26,8              | 28,4 | 0,5  | 19,0 | 10,1 | 2,2  | 14,2 | 2,4               | 0,1  | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,2  |
| 104                  | 5,9 | 0,27             | 3,1               | 6,1               | 9,2  | 1,5  | 3,0  | 17,1 | 4,1  | 15,6 | 2,8               | 0,2  | 0,1  | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| 128                  | 6,2 | 0,20             | 3,6               | 3,9               | 7,6  | 0,2  | 2,1  | 10,5 | 3,4  | 23,8 | 1,1               | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,2  |



**Figura 1.** Calificación nutricional de la solución de suelo en Los Ángeles (DDS: Días después de siembra).

**Cuadro 4.** Análisis de solución de suelo de la siembra de Alforfón de Selva Negra.

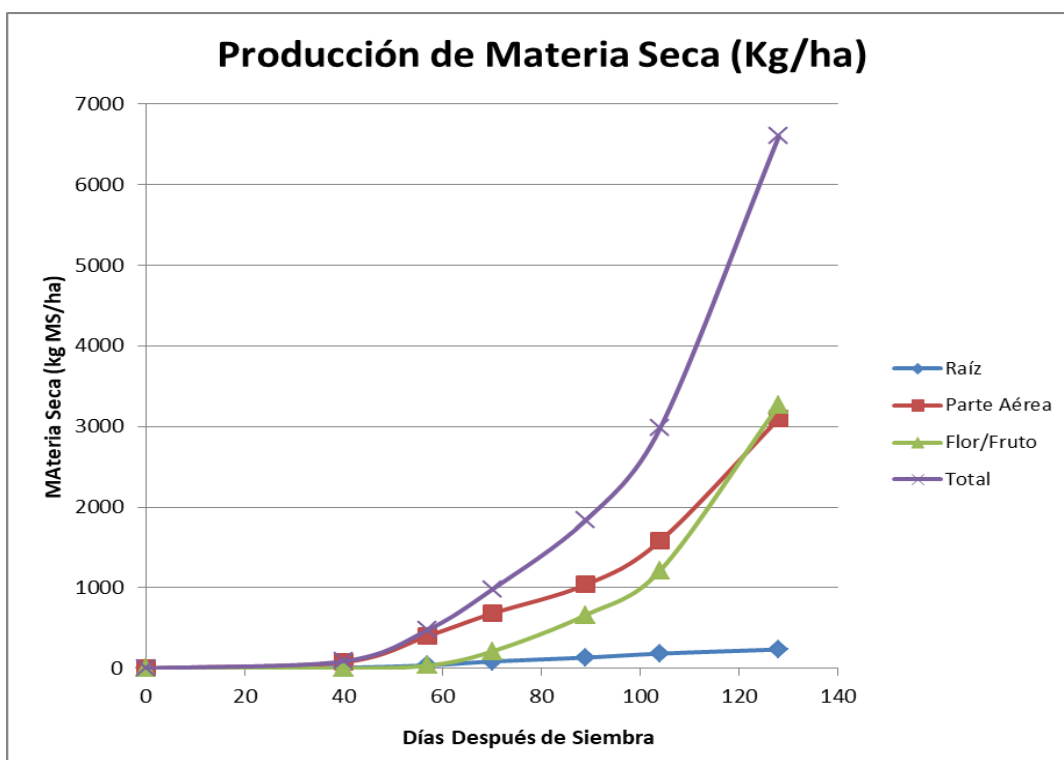
| Identificación | pH  | CE <sub>es</sub><br>dS/m | N-NH <sub>4</sub><br>mg/L | N-NO <sub>3</sub><br>mg/L | N<br>mg/L | P<br>mg/L | K<br>mg/L | Ca<br>mg/L | Mg<br>mg/L | Na<br>mg/L | S-SO <sub>4</sub><br>mg/L | Fe<br>mg/L | Mn<br>mg/L | Zn<br>mg/L | Cu<br>mg/L | B<br>mg/L |
|----------------|-----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 93 DDS         | 5,8 | 0,43                     | 29                        | 110                       | 139       | 1,1       | 12,8      | 25,4       | 4,1        | 9,2        | 0,9                       | 0,4        | <0,1       | <0,1       | <0,1       | <0,1      |
| 111 DDS        | 6,2 | 0,16                     | 5                         | 16                        | 21        | 2,8       | 3,2       | 7,4        | 1,0        | 12,8       | 4,6                       | 0,3        | <0,1       | <0,1       | <0,1       | 0,2       |
| 131 DDS        | 6,3 | 0,21                     | 12                        | 9                         | 21        | 2,2       | 7,2       | 12,9       | 2,1        | 17,0       | 4,0                       | 0,8        | 0,2        | <0,1       | <0,1       | 0,2       |
| 156 DDS        | 6,3 | 0,17                     | 0                         | 8                         | 8         | 1,5       | 5,6       | 8,8        | 2,0        | 21,4       | 1,2                       | 0,1        | <0,1       | <0,1       | <0,1       | 0,4       |



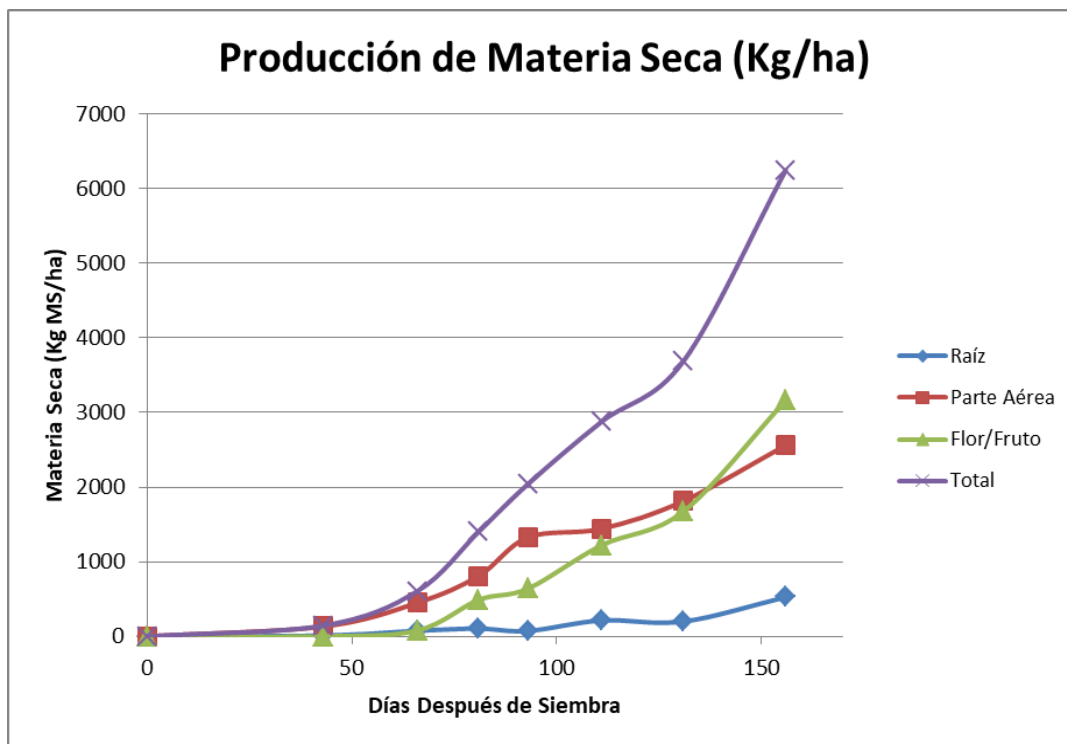
**Figura 2.** Calificación nutricional de la solución de suelo en Selva Negra. (DDS: Días después de siembra).

### 3.- Producción de materia seca.

En la figura 3 y 4 se presenta la evolución de materia seca correspondiente a la fracción radicular, tallos-hojas y semillas en 6 periodos de muestreo, completando el ciclo a los 130 días después de siembra (DDS). Se puede observar que, en ambos sitios, la producción de materia seca es despreciable previo a los 60 días de establecido el cultivo. En tanto, después de los 90 DDS se generan dos tercios de la producción total de materia seca, y la proporción correspondiente a la semilla es del orden del 45% del peso total de la planta. Respecto a la raíz, presenta una tasa de crecimiento reducida y estable durante toda la temporada, representando menos del 10% del peso total de la planta. En ambos sitios de estudio se superó un rendimiento total de 6.000 kg/ha de materia seca.



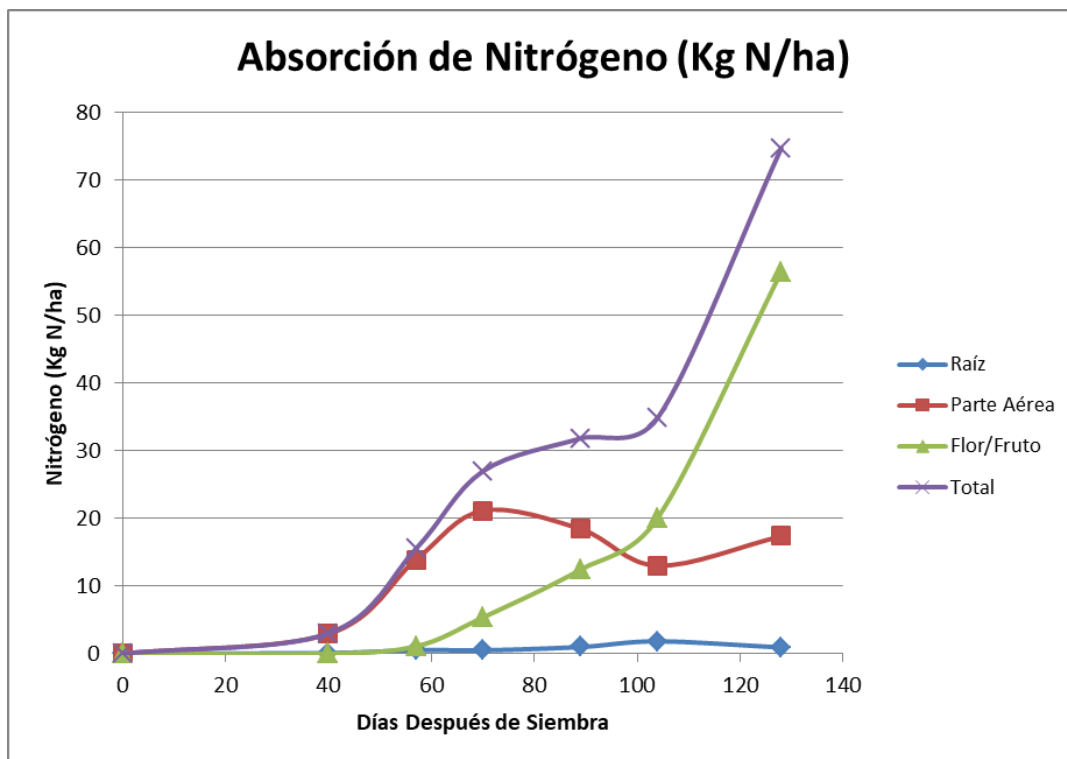
**Figura 3.** Producción de materia seca obtenida en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



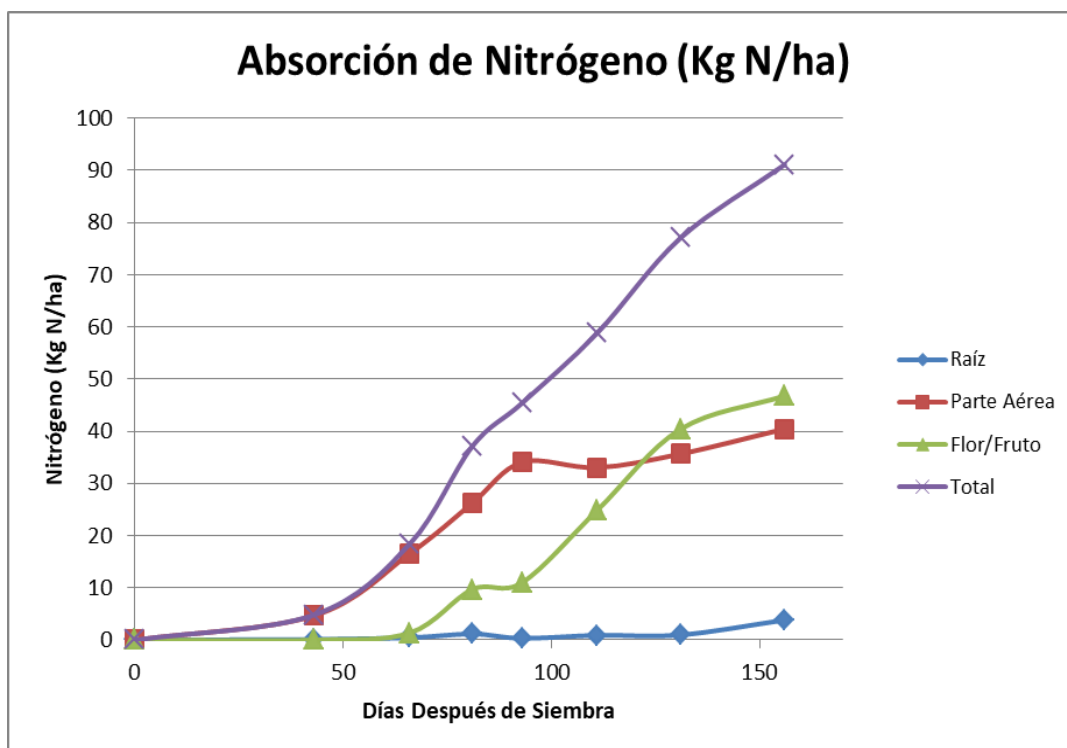
**Figura 4.** Producción de materia seca obtenida en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

#### 4.- Absorción de Nitrógeno

Las curvas de extracción de nitrógeno se presentan en la Figura 5 y 6. En ambos sitios, se puede observar que entre los 80 y 100 días, comienza un proceso de translocación de N desde los tejidos aéreos a la semilla, llegando al final del ciclo a una extracción total de 75-90 kg N/ha. La mayor proporción de este N se encuentra presente en la semilla, constituyendo un 60-75 % de la demanda total.



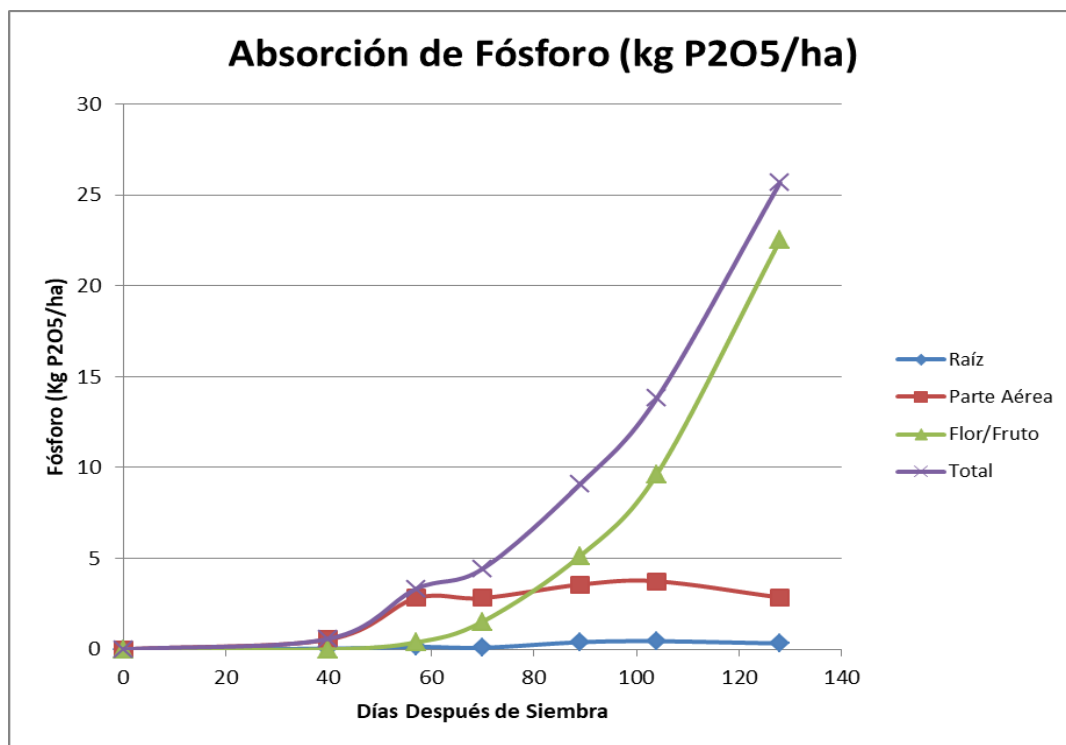
**Figura 5.** Extracción de nitrógeno obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



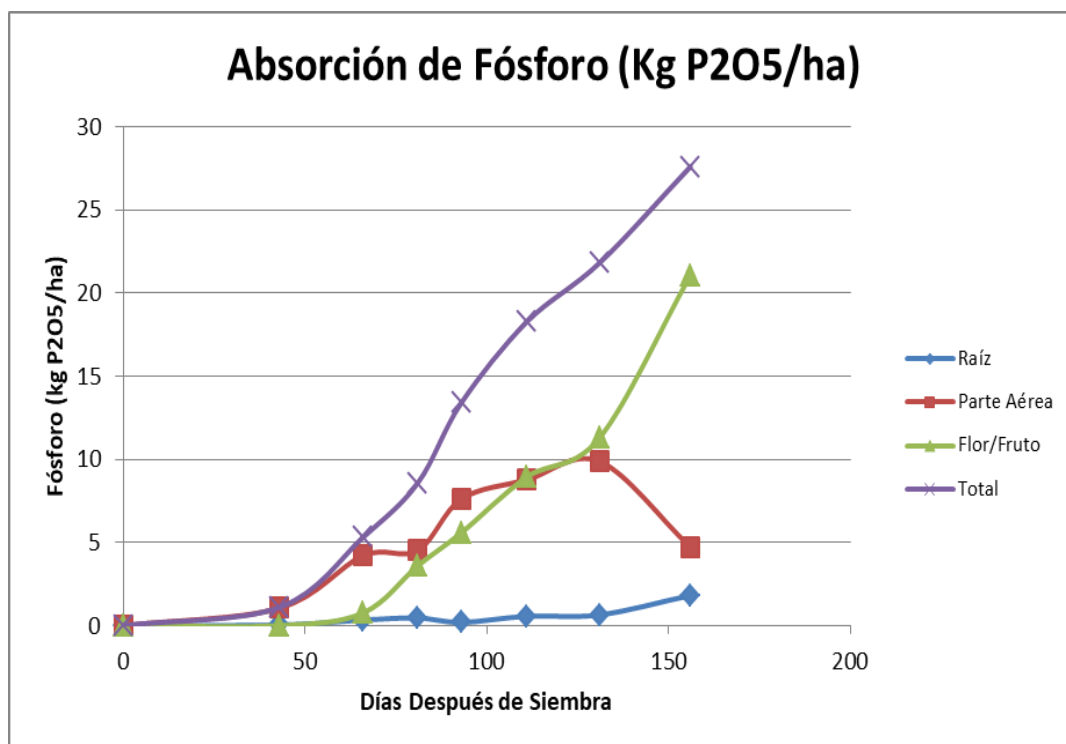
**Figura 6.** Extracción de nitrógeno obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

## 5.- Absorción de Fósforo

La extracción de fósforo por el cultivo es bajo en su primera etapa de crecimiento (0 a 60 días). A partir de esta fecha se genera un importante proceso de translocación a la semilla, llegando a constituir alrededor del 80% de la extracción total.



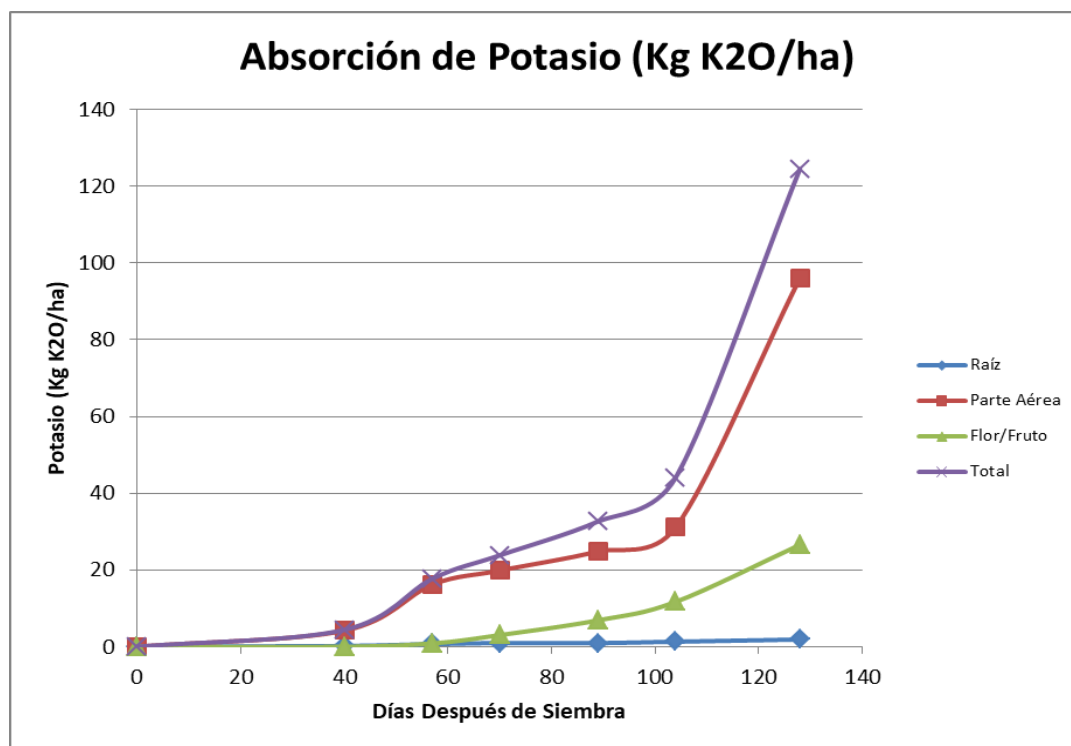
**Figura 7.** Extracción de fósforo obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



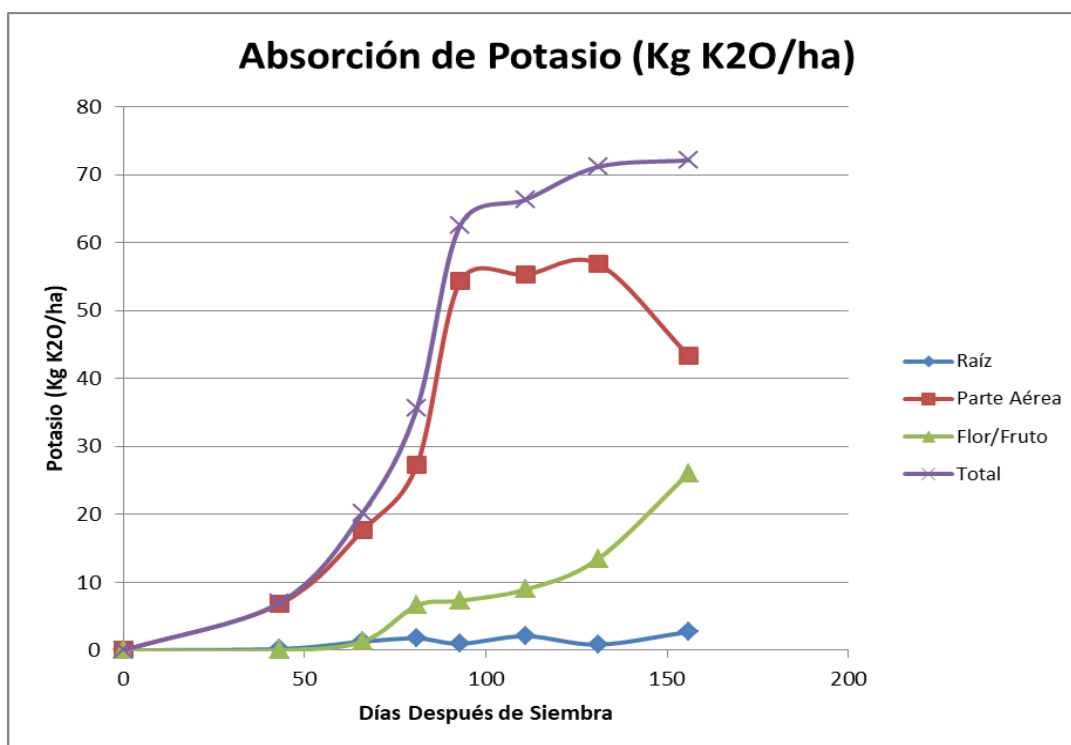
**Figura 8.** Extracción de fósforo obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

## 6.- Absorción de Potasio

La extracción de potasio que presenta esta especie varió de 70 a 125 kg K<sub>2</sub>O/ha. Por otra parte, es importante mencionar que una de las causales de esta importante diferencia, fue la disponibilidad de este elemento en la solución del suelo y su relación con otros cationes. La mayor parte de la extracción se localizó en la parte aérea (hojas y tallos) y no en las semillas como ocurre con el N y P. En el sitio Los Ángeles se puede observar que a partir de los 100 DDS se sigue incrementando considerablemente la tasa de extracción, mientras que en Selva Negra la absorción se mantuvo estable, probablemente por presentar una menor concentración este elemento en la solución de suelo.



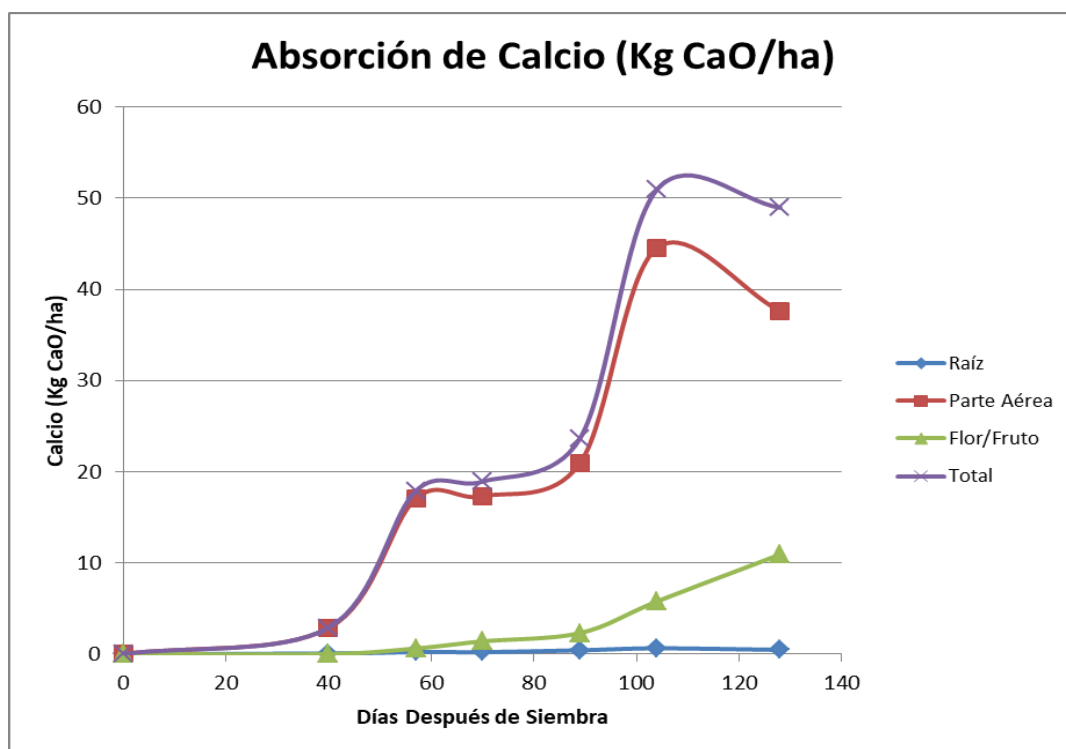
**Figura 9.** Extracción de potasio obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



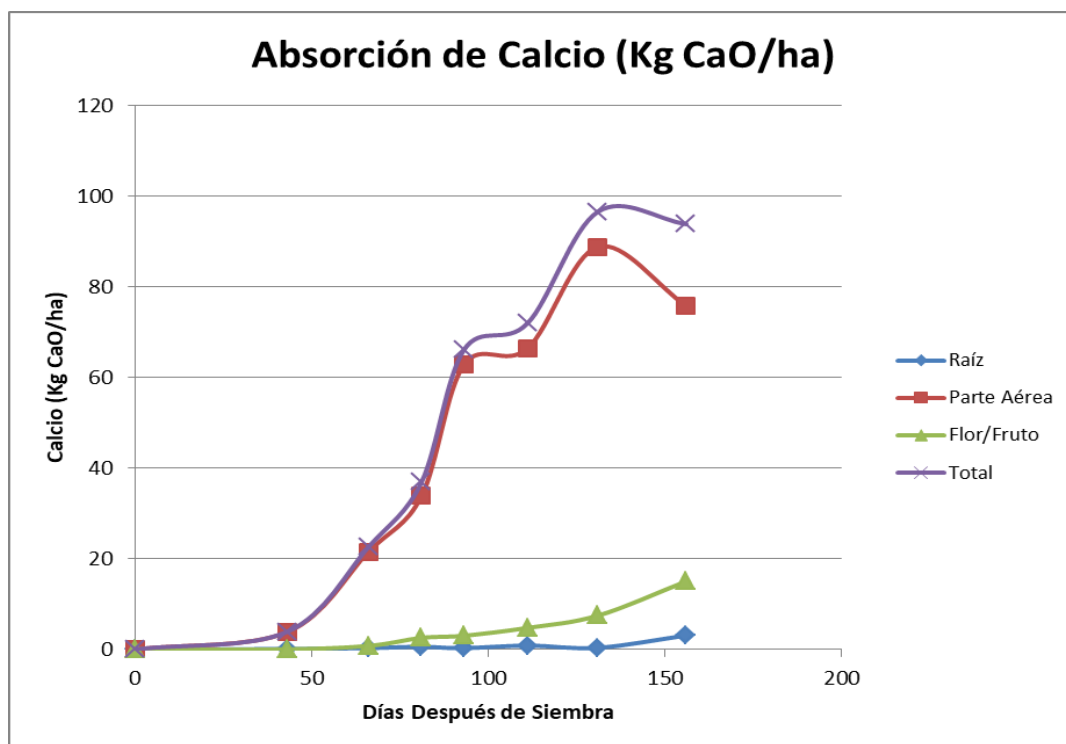
**Figura 10.** Extracción de potasio obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

## 7.- Absorción de Calcio

En el caso del calcio, en ambos sitios, la mayor absorción se presentó entre los 50-100 días, observando tasas de extracciones muy altas en ciertos períodos. Además se observa que, la gran parte del calcio absorbido se deposita en hojas y tallos. Cabe mencionar, que la absorción para parte de la raíz en relación a las otras partes de la planta es menor. La extracción total de calcio fue de 50 a 100 kg CaO/ha. Este gran rango se debe principalmente al nivel de disponibilidad de este elemento en ambos sitios de estudio.



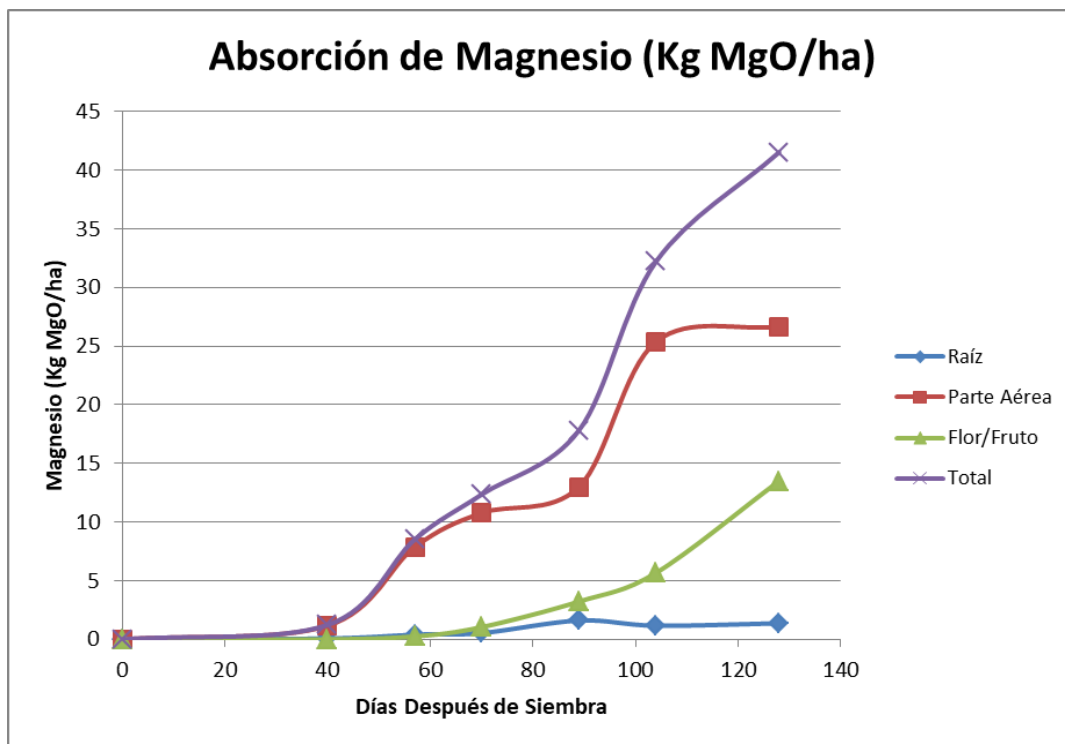
**Figura 11.** Extracción de calcio obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



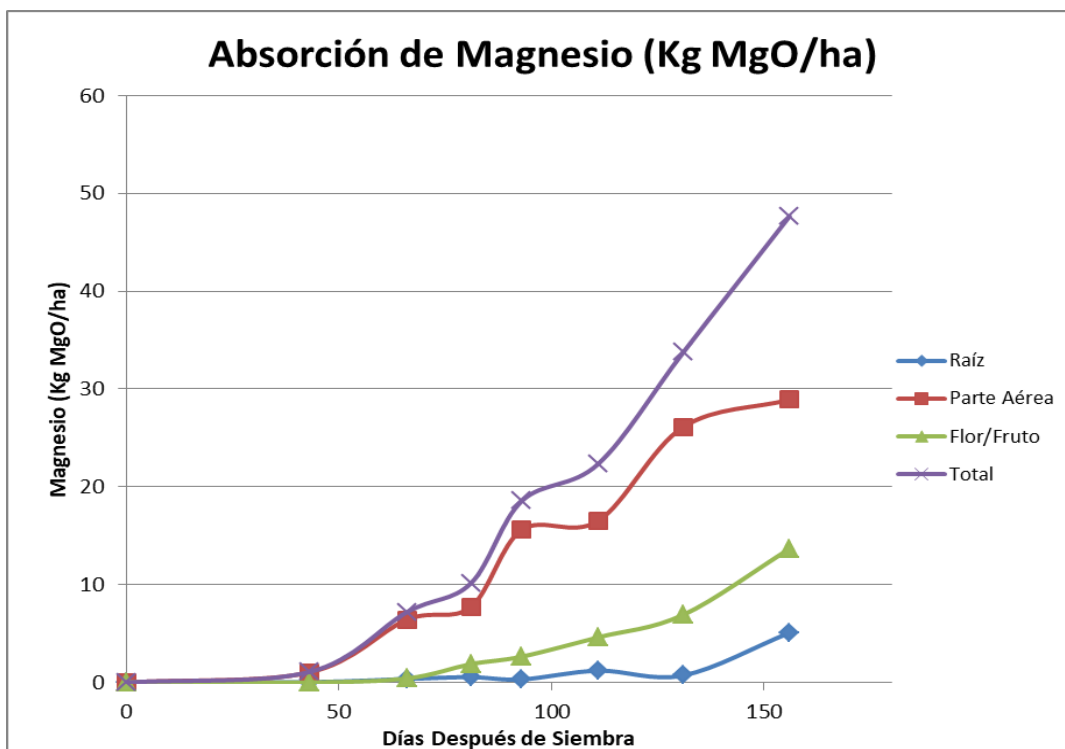
**Figura 12.** Extracción de calcio obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

## 8.- Extracción de Magnesio

El magnesio alcanzó una acumulación total de, aproximadamente, 45 kg MgO/ha, observándose a partir de los 50-60 DDS una tasa de acumulación estable por parte de la parte aérea hasta el final de la temporada, momento en el cual la acumulación llega a su máximo, encontrándose un 70% en la parte aérea y el otro 30% en la parte reproductiva (flor/fruto).



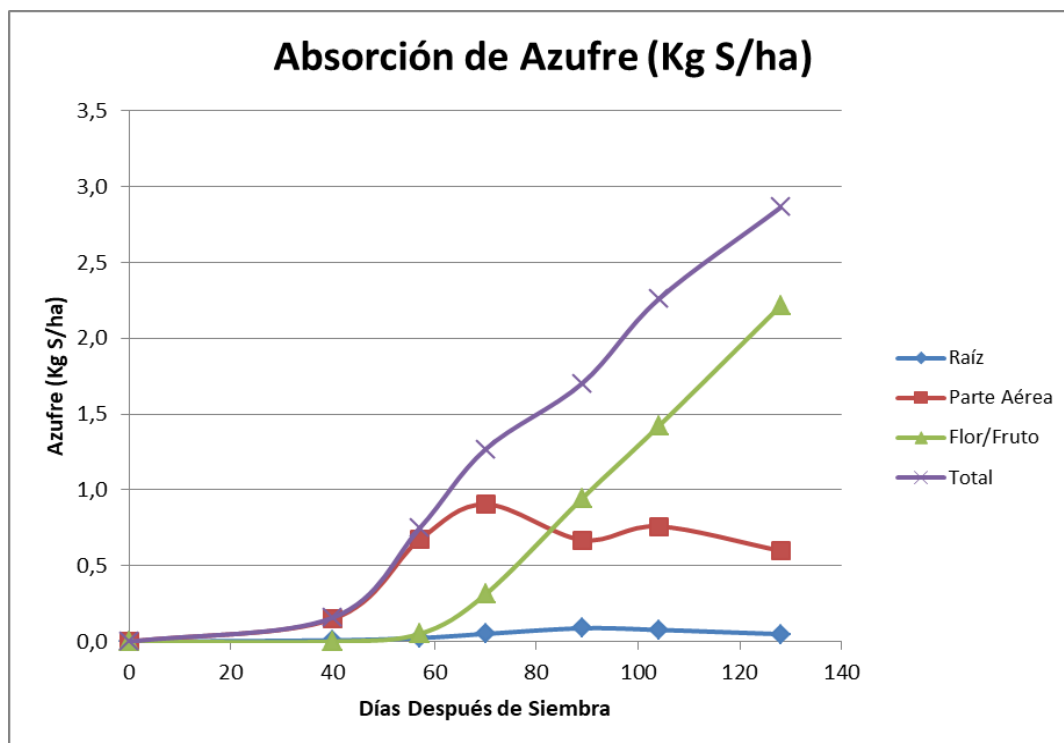
**Figura 13.** Extracción de magnesio obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



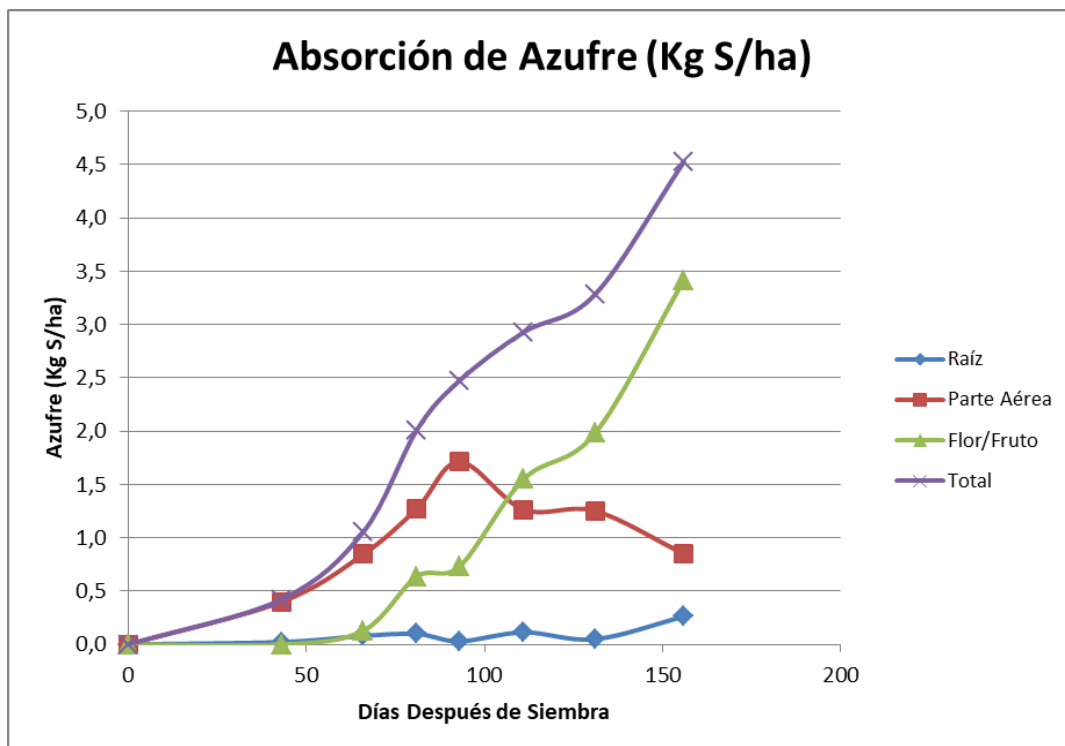
**Figura 14.** Extracción de magnesio obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

## 9.- Extracción de Azufre en Los Ángeles y Selva Negra.

El azufre alcanzó una acumulación total entre 2,7 a 4,5 kg S/ha, observándose a partir de los 90-100 DDS una tasa de acumulación significativa por parte de la flor/fruto, acumulándose la mayor concentración del azufre acumulado, en esta estructura de la planta. Mientras que la parte aérea se mantiene estable desde los 70-80 DDS hasta cosecha.



**Figura 15.** Extracción de azufre obtenido en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.



**Figura 16.** Extracción de azufre obtenido en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

#### 10.- Absorción de microelementos.

Con la excepción de hierro en la zona de Selva Negra, ningún micro-elemento superó una extracción de 1 kg/ha. Aun cuando estos nutrientes presentan un rol fundamental, sus requerimientos son considerablemente menores, comparado con los macronutrientes.

**Cuadro 5.** Absorción de microelementos en la zona de Los Ángeles, para un rendimiento de 3.263 kg de grano seco/ha.

| DDS | Fe<br>kg/ha | Mn<br>kg/ha | Zn<br>kg/ha | Cu<br>kg/ha | B<br>kg/ha |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 40  | 0,03        | 0,01        | 0,00        | 0,00        | 0,00       |
| 57  | 0,17        | 0,03        | 0,01        | 0,00        | 0,02       |
| 70  | 0,25        | 0,05        | 0,02        | 0,01        | 0,02       |
| 89  | 0,40        | 0,14        | 0,02        | 0,01        | 0,07       |
| 104 | 0,58        | 0,21        | 0,02        | 0,03        | 0,08       |
| 128 | 0,72        | 0,11        | 0,06        | 0,01        | 0,18       |

*DDS: días después de siembra*

**Cuadro 6.** Absorción de microelementos en la zona de Selva Negra, para un rendimiento de 3.162 kg de grano seco/ha.

| DDS | Fe<br>kg/ha | Mn<br>kg/ha | Zn<br>kg/ha | Cu<br>kg/ha | B<br>kg/ha |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 43  | 0,04        | 0,01        | 0,00        | 0,00        | 0,00       |
| 66  | 0,14        | 0,03        | 0,02        | 0,00        | 0,02       |
| 81  | 0,23        | 0,06        | 0,03        | 0,01        | 0,03       |
| 93  | 0,40        | 0,18        | 0,04        | 0,01        | 0,08       |
| 111 | 0,48        | 0,12        | 0,06        | 0,01        | 0,07       |
| 131 | 0,62        | 0,24        | 0,06        | 0,02        | 0,06       |
| 156 | 1,12        | 0,24        | 0,10        | 0,02        | 0,10       |

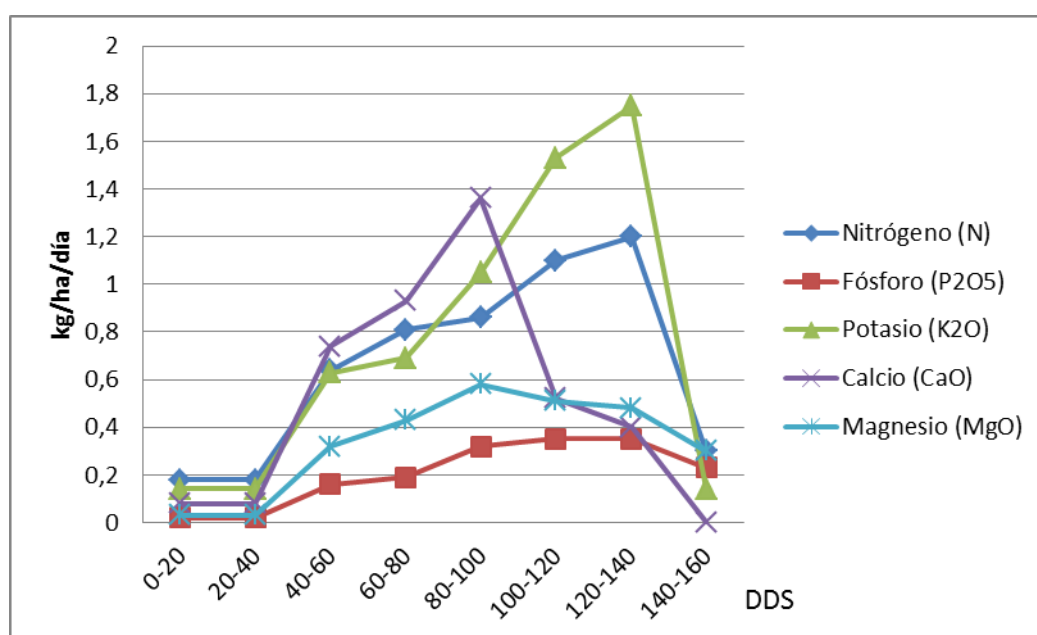
*DDS: días después de siembra*

#### **11- Tasas de acumulación diaria y distribución de macro-elementos.**

En el cuadro 7 se observan las tasas de acumulación de nutrientes por parte del cultivo de alforfón en los diferentes períodos del ciclo del cultivo. Se puede inferir que las máximas tasas de absorción de nutrientes se logran en el periodo de 80 a 140 días después de siembra. Solamente el calcio difiere de esta tendencia puesto que sus mayores tasas de absorción ocurren entre los 40 a 100 días después de siembra. Las mayores tasas de absorción las presentan los nutrientes Potasio, Nitrógeno y Calcio que superan en un cierto periodo 1 kg/ha/día.

**Cuadro 7.** Tasa de acumulación diaria de macro-nutrientes por parte del cultivo de Alforfón. Promedio de los dos sitios de estudio.

| Nutriente                                | Días después de siembra (DDS)          |       |       |       |        |         |         |         |
|------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
|                                          | 0-20                                   | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | 100-120 | 120-140 | 140-160 |
|                                          | Tasa de acumulación diaria (kg/ha/día) |       |       |       |        |         |         |         |
| Nitrógeno (N)                            | 0,18                                   | 0,18  | 0,64  | 0,81  | 0,86   | 1,1     | 1,2     | 0,3     |
| Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 0,02                                   | 0,02  | 0,16  | 0,19  | 0,32   | 0,35    | 0,35    | 0,23    |
| Potasio (K <sub>2</sub> O)               | 0,14                                   | 0,14  | 0,63  | 0,69  | 1,05   | 1,53    | 1,75    | 0,14    |
| Calcio (CaO)                             | 0,08                                   | 0,08  | 0,74  | 0,93  | 1,36   | 0,52    | 0,40    | 0       |
| Magnesio (MgO)                           | 0,03                                   | 0,03  | 0,32  | 0,43  | 0,58   | 0,51    | 0,48    | 0,30    |



**Figura 17.** Tasa de acumulación diaria de macro-nutrientes por parte del cultivo de Alforfón. Promedio de dos sitios de estudio.

## 12.- Demanda de Nutrientes por tonelada de rendimiento.

En el cuadro 8 se presenta el cálculo de requerimiento de nutrientes por tonelada de granos cosechados para las condiciones edafoclimáticas presentes en la zona de centro-sur de Chile, donde se realizaron ambos ensayos. La utilidad de esta información, es que se puede extrapolar a diferentes niveles productivos posibles de alcanzar en otras condiciones edafoclimáticas y, con ello, inferir los requerimientos nutricionales y niveles necesarios de fertilización. Se presenta un ejemplo para rendimientos dentro del rango de 2 a 4 ton/ha de grano.

**Cuadro 8.** Requerimiento interno de macronutrientes, demanda por tonelada producida de grano alforfón y demanda total para diferentes potenciales de rendimiento de grano. Promedio de ambos sitios de estudio.

| Nutrientes | Requerimiento interno (RI) <sup>1</sup> | Demanda por tonelada de grano           | Absorción total para diferentes rendimientos de grano (kg/ha) |          |          |
|------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------|----------|
|            |                                         |                                         | 2 ton/ha                                                      | 3 ton/ha | 4 ton/ha |
| Nitrógeno  | 1,3%                                    | 26 kg N/ton                             | 52                                                            | 78       | 104      |
| Fósforo    | 0,18%                                   | 9 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ton | 18                                                            | 27       | 36       |
| Potasio    | 1,3%                                    | 31 kg K <sub>2</sub> O/ton              | 62                                                            | 93       | 124      |
| Calcio     | 0,83%                                   | 23 kg CaO/ton                           | 46                                                            | 69       | 92       |
| Magnesio   | 0,42                                    | 14 kg MgO/ton                           | 28                                                            | 42       | 56       |

<sup>1.</sup> *Requerimiento Interno (RI) corresponde a la concentración promedio en la biomasa total de la planta al momento de la cosecha.*

#### IV. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede inferir como conclusión que el rendimiento de grano superó ligeramente 3 ton/ha, contribuyendo el grano en alrededor del 45% del peso seco total de la planta. La mayor tasa de acumulación de materia seca y de nutrientes se observó a partir de los 80 días después de siembra (enero). Las evaluaciones de concentración nutricional y evolución de materia seca permitieron determinar el requerimiento interno de los nutrientes y demandas nutricionales para diferentes potenciales productivos del cultivo de alforfón.