



4.2.- ESTUDIO DEL CONTENIDO EN NUTRIENTES:

En el presente capítulo nos disponemos a presentar los diversos resultados del estudio del contenido (en concentración y en miligramos) en nutrientes de *Pinus halepensis* Mill., y de *Pinus nigra* Arn. tanto de sus partes aéreas como de sus partes radicales. Así mismo, se procedió a comparar los resultados obtenidos entre ambas especies, en primer lugar tomando por separado partes aéreas y parte radicales, para a continuación realizar la comparación para el conjunto de la planta.

Las variables analizadas para el estudio del contenido en nutrientes son:

- Nitrógeno: de la parte aérea (N_a), de la parte radical (N_r) y total (N_T).
- Fósforo: de la parte aérea (P_a), de la parte radical (P_r) y total (P_T).
- Potasio: de la parte aérea (K_a), de la parte radical (K_r) y total (K_T).
- Calcio: de la parte aérea (Ca_a), de la parte radical (Ca_r) y total (Ca_T).
- Magnesio: de la parte aérea (Mg_a), de la parte radical (Mg_r) y total (Mg_T).

Se consideró, que tan importante como conocer a fondo las características morfológicas de estas especies, era necesario hacer un estudio pormenorizado de su estado fisiológico de las mismas. Para ello, en el diseño del ensayo se propuso un análisis de los micronutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) contenidos en los tejidos vegetales, diferenciando partes aéreas, de las radicales, con la excepción de la primera extracción (28 de abril), que por la escasez de la muestra fue necesario que el análisis se realizara en su conjunto. Las concentraciones con fecha 26 de febrero, corresponden a los contenidos de nutrientes en semillas. En el resto de las extracciones se analizaron cuatro muestras, una por cada uno de los bloques del estudio de morfología.

En los estudios del contenido en nutrientes de *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus nigra* Arn. y tras la realización de un análisis de los datos mediante estadística descriptiva (Anexo 7 y Anexo 10) se procedió comprobar si existían diferencias significativas entre las partes aéreas y las partes radicales de cada especie mediante la realización de ANOVAS (Análisis de la Varianza de una vía).

En el caso del estudio comparativo del contenido en nutrientes de *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus nigra* Arn., al igual que en el caso anterior, también se realizó un análisis de los datos promediados por especie, mediante estadística descriptiva (Anexo 11) para a continuación comprobar si existían diferencias significativas entre las dos especies, mediante la realización de ANOVAS (Análisis de la Varianza de una vía).

En los casos en los que no se cumplió la condición de homogeneidad de varianzas se procedió a realizar las transformaciones necesarias. En los casos en los que no se consiguieron transformaciones adecuadas fue necesario usar Estadística no Paramétrica (test de Kruskal-Wallis) para comprobar si existían diferencias significativas ($p < 0.05$).

También se incluyen las gráficas de cada variable con sus correspondientes barras de error estándar.

4.2.1.- Estudio de las diferencias del contenido en nutrientes de *Pinus halepensis* Mill. con respecto a la parte aérea y a la parte radical:

➤ **Nitrógeno:** concentración de N en % y contenido de N en mg/planta.

Análisis de la Varianza de una vía:

En la siguiente tabla aparecen los resultados de la ANOVAS de una vía para la variable *concentración de nitrógeno* con respecto a la *parte* para comprobar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en las sucesivas extracciones.

Ext.	D.S.	Nitrógeno (%)				Nitrógeno (mg/planta)		
		<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.	N.S.	<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.
26-02-98	0	6.18		-	-	1.439		-
28-04-98	61	3.05		-	-	1.055		-
13-06-98	106	1.94	1.43	26.29	0.0000	1.933	1.257	34.97
13-07-98	136	1.96	1.63	16.84	0.0020	5.271	3.244	38.45
13-08-98	166	1.61	1.40	13.04	0.0150	7.081	8.055	-12.09
13-09-98	196	1.38	1.08	21.74	0.0150	9.723	5.638	42.01
13-10-98	226	1.40	1.00	28.57	0.0030	15.184	7.031	53.69

Tabla 53: Análisis de la varianza de una vía de la variable *concentración de nitrógeno* con respecto a la *parte*, de la especie *Pinus halepensis* Mill., en las sucesivas extracciones del ensayo. P = nivel de significación. Los valores con $p < 0.05$, indica diferencias significativas (valores de la media sombreados en gris). En los casos en los que no se consiguió la homogeneidad de varianzas mediante las transformaciones necesarias se usó Estadística no paramétrica, valores marcados en azul. Se incluyen los datos del contenido de nitrógeno en mg/planta. D.S.= días desde el semillado. Dif.= diferencia en % entre la parte aérea y radical. N.S.= nivel de significación.

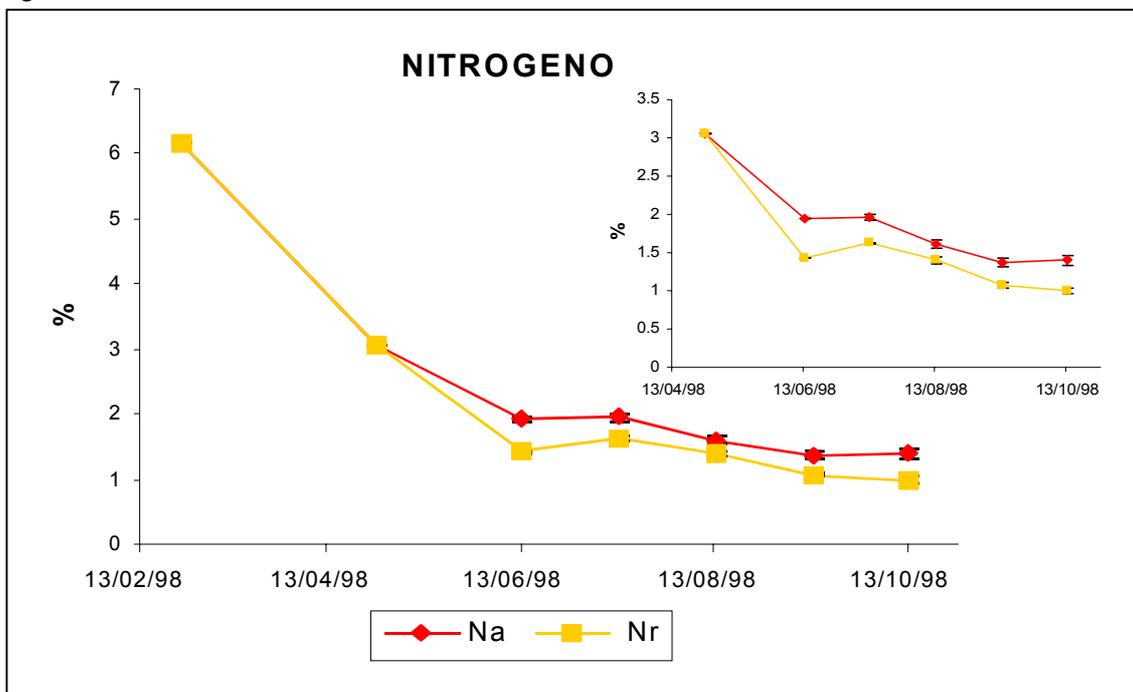


Gráfico 51: Evolución de la concentración en nitrógeno aéreo y radical de *Pinus halepensis* Mill. En la gráfica reducida se han excluido los valores del contenido en nitrógeno en semillas.



- **Fósforo:** concentración de P en % y contenido de P en mg/planta.

Análisis de la Varianza de una vía:

En la siguiente tabla aparecen los resultados de la ANOVAS de una vía para la variable *concentración de fósforo* con respecto a la *parte* para comprobar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en las sucesivas extracciones.

Ext.	D.S.	Fósforo (%)				Fósforo (mg/planta)		
		<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.	N.S.	<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.
26-02-98	0	0.14		-	-	0.032		-
28-04-98	61	0.16		-	-	0.345		-
13-06-98	106	0.070	0.073	-4.11	0.7050	0.069	0.061	11.59
13-07-98	136	0.065	0.060	7.69	0.5370	0.174	0.124	28.73
13-08-98	166	0.058	0.055	5.17	0.5370	0.252	0.172	31.74
13-09-98	196	0.058	0.050	13.79	0.4580	0.412	0.264	35.92
13-10-98	226	0.075	0.075	0.00	1.0000	0.809	0.515	36.34

Tabla 54: Análisis de la varianza de una vía de la variable *concentración de fósforo* con respecto a la *parte*, de la especie *Pinus halepensis* Mill., en las sucesivas extracciones del ensayo. P = nivel de significación. Los valores con $p < 0.05$, indica diferencias significativas (valores de la media sombreados en gris). En los casos en los que no se consiguió la homogeneidad de varianzas mediante las transformaciones necesarias se usó Estadística no paramétrica, valores marcados en azul. Se incluyen los datos del contenido de fósforo en mg/planta. D.S.= días desde el semillado. Dif.= diferencia en % entre la parte aérea y radical. N.S.= nivel de significación.

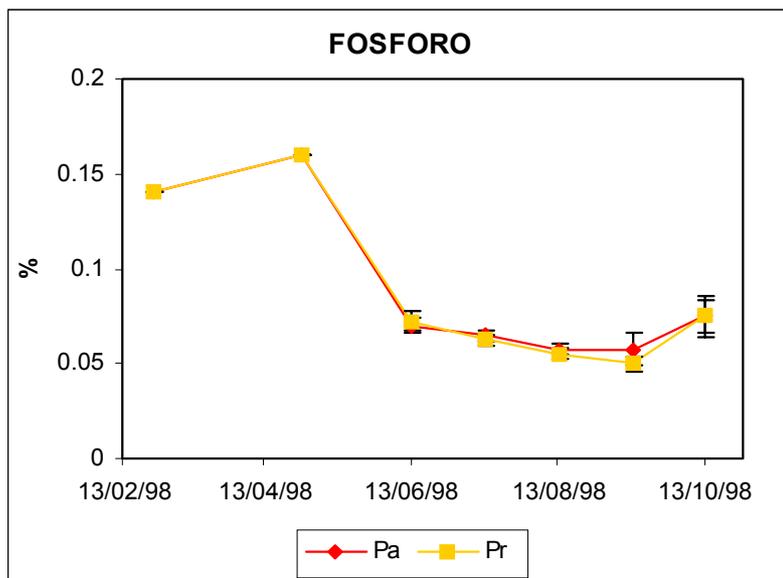


Gráfico 52: Evolución de la concentración de fósforo aéreo y radical de *Pinus halepensis* Mill.



- **Potasio:** concentración de K en % y contenido de K en mg/planta.

Análisis de la Varianza de una vía:

En la siguiente tabla aparecen los resultados de la ANOVAS de una vía para la variable *concentración de potasio* con respecto a la *parte* para comprobar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en las sucesivas extracciones.

Ext.	D.S.	Potasio (%)				Potasio (mg/planta)		
		<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.	N.S.	<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.
26-02-98	0	0.78		-	-	0.181		-
28-04-98	61	0.50		-	-	0.173		-
13-06-98	106	0.653	0.563	13.78	0.0620	0.647	0.465	28.13
13-07-98	136	0.720	0.103	85.69	0.0000	1.933	0.203	89.49
13-08-98	166	0.490	0.070	85.71	0.0010	2.122	0.217	89.77
13-09-98	196	0.530	0.068	87.17	0.0000	3.730	0.354	90.50
13-10-98	226	0.400	0.450	-11.11	0.5329	4.303	3.064	28.79

Tabla 55: Análisis de la varianza de una vía de la variable *concentración de potasio* con respecto a la *parte*, de la especie *Pinus halepensis* Mill., en las sucesivas extracciones del ensayo. P = nivel de significación. Los valores con $p < 0.05$, indica diferencias significativas (valores de la media sombreados en gris). En los casos en los que no se consiguió la homogeneidad de varianzas mediante las transformaciones necesarias se usó Estadística no paramétrica, valores marcados en azul. Se incluyen los datos del contenido de potasio en mg/planta. D.S.= días desde el semillado. Dif.= diferencia en % entre la parte aérea y radical. N.S.= nivel de significación.

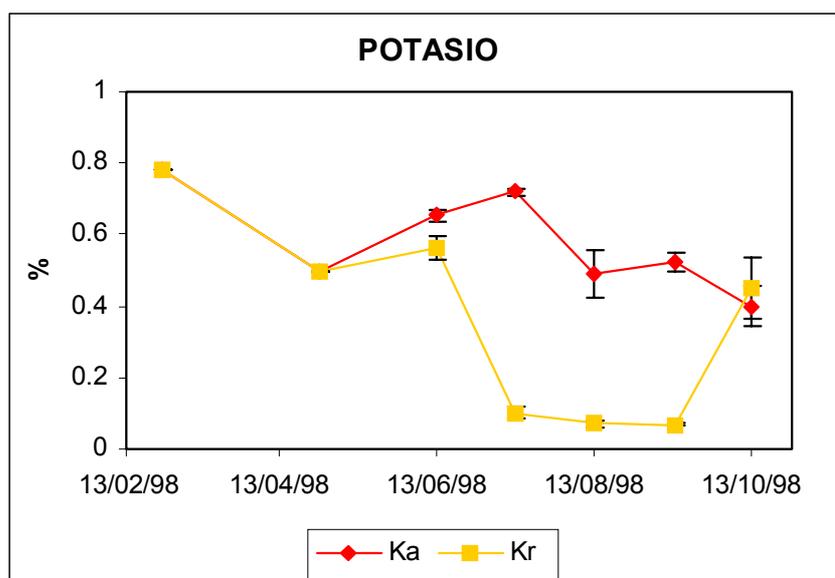


Gráfico 53: Evolución de la concentración de potasio aéreo y radical de *Pinus halepensis* Mill.



- **Calcio:** concentración de Ca en % y contenido de Ca en mg/planta.

Análisis de la Varianza de una vía:

En la siguiente tabla aparecen los resultados de la ANOVAS de una vía para la variable *concentración de calcio* con respecto a la *parte* para comprobar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en las sucesivas extracciones.

Ext.	D.S.	Calcio (%)				Calcio (mg/planta)		
		<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.	N.S.	<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.
26-02-98	0	0.040	-	-	-	0.009	-	-
28-04-98	61	0.110	-	-	-	0.038	-	-
13-06-98	106	0.185	0.480	-61.46	0.0040	0.183	0.377	-51.45
13-07-98	136	0.320	0.748	-57.22	0.0000	0.858	1.493	-42.53
13-08-98	166	0.538	1.423	-62.19	0.0000	2.333	4.439	-47.44
13-09-98	196	0.550	1.625	-66.15	0.0000	3.929	8.579	-54.20
13-10-98	226	0.950	1.025	-7.32	0.8370	10.718	7.505	29.97

Tabla 56: Análisis de la varianza de una vía de la variable *concentración de calcio* con respecto a la *parte*, de la especie *Pinus halepensis* Mill., en las sucesivas extracciones del ensayo. P = nivel de significación. Los valores con $p < 0.05$, indica diferencias significativas (valores de la media sombreados en gris). En los casos en los que no se consiguió la homogeneidad de varianzas mediante las transformaciones necesarias se usó Estadística no paramétrica, valores marcados en azul. Se incluyen los datos del contenido de calcio en mg/planta. D.S.= días desde el semillado. Dif.= diferencia en % entre la parte aérea y radical. N.S.= nivel de significación.

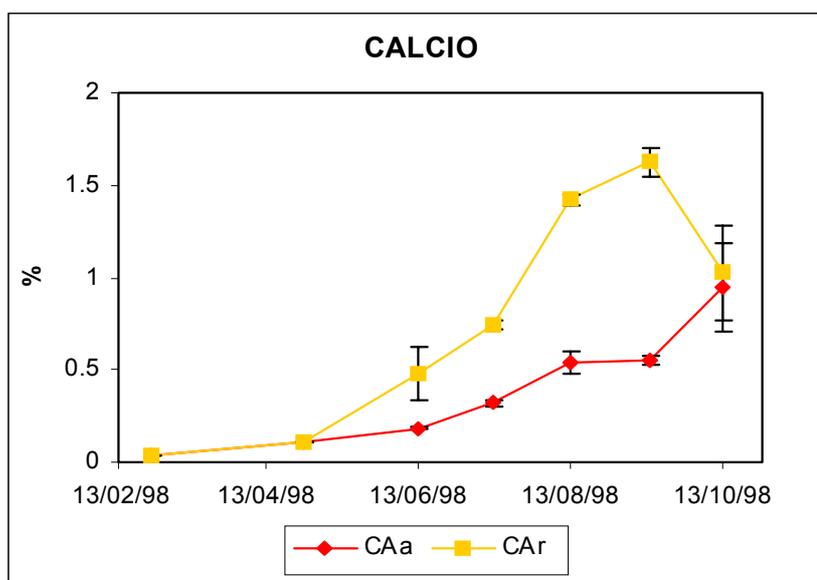


Gráfico 54: Evolución de la concentración de calcio aéreo y radical de *Pinus halepensis* Mill.



- **Magnesio:** concentración de Mg en % y contenido de Mg en mg/planta.

Análisis de la Varianza de una vía:

En la siguiente tabla aparecen los resultados de la ANOVAS de una vía para la variable *concentración de magnesio* con respecto a la *parte* para comprobar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en las sucesivas extracciones.

Ext.	D.S.	Magnesio (%)				Magnesio (mg/planta)		
		<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.	N.S.	<i>P.aérea</i>	<i>P.radical</i>	Dif.
26-02-98	0	0.460		-	-	0.107		-
28-04-98	61	0.180		-	-	0.062		-
13-06-98	106	0.158	0.150	5.06	0.7860	0.155	0.128	17.42
13-07-98	136	0.203	0.112	45.63	0.0885	0.546	0.224	58.97
13-08-98	166	0.290	0.193	33.45	0.0000	1.271	0.599	52.87
13-09-98	196	0.275	0.200	27.27	0.0240	1.965	1.052	46.46
13-10-98	226	0.275	0.275	0.00	1.0000	3.025	1.924	36.39

Tabla 57: Análisis de la varianza de una vía de la variable *concentración de magnesio* con respecto a la *parte*, de la especie *Pinus halepensis* Mill., en las sucesivas extracciones del ensayo. P = nivel de significación. Los valores con $p < 0.05$, indica diferencias significativas (valores de la media sombreados en gris). En los casos en los que no se consiguió la homogeneidad de varianzas mediante las transformaciones necesarias se usó Estadística no paramétrica, valores marcados en azul. Se incluyen los datos del contenido de magnesio en mg/planta. D.S.= días desde el semillado. Dif.= diferencia en % entre la parte aérea y radical. N.S.= nivel de significación.

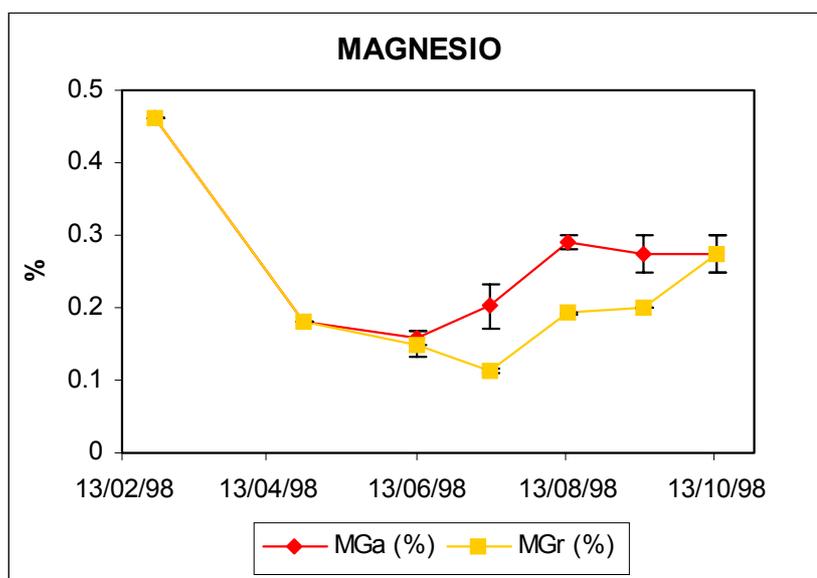


Gráfico 55: Evolución de la concentración de magnesio aéreo y radical de *Pinus halepensis* Mill.



Discusión:

En la siguiente tabla aparecen los rangos óptimos de concentración de nutrientes en tejidos vegetales, para plantas cultivadas en contenedor y preparadas para su plantación, distinguiendo entre concentraciones de la parte aérea de coníferas en general (LANDIS, 1985), y entre concentraciones de la parte radical de *Pinus halepensis* Mill. (OLIET, 1996).

Elemento	Rango óptimo (%)	
	Parte aérea	Parte radical
Nitrógeno	1.20 – 2.00	1.05 – 1.75
Fósforo	0.10 – 0.20	0.08 – 0.18
Potasio	0.30 – 0.80	0.26 – 0.70
Calcio	0.20 – 0.50	0.18 – 0.44
Magnesio	0.10 – 0.15	0.08 – 0.13

A continuación discutiremos los resultado del estudio de contenido en nutrientes en parte aéreas y radicales de *Pinus halepensis* Mill.

- **Nitrógeno:**

La evolución de la concentración de este elemento en tejidos aéreos y vegetales presenta una evolución pareja, siendo lógicamente menor a lo largo del cultivo. Esto es debido a que la concentración de nitrógeno (al igual que la del fósforo y el potasio) sufren los efectos de la dilución según avanza el tiempo en el cultivo (TIMMER, 1991). Sin embargo podemos determinar que las pérdidas de nitrógeno son mucho mayores en las primeras fases del cultivo. La pérdida de este elemento en *Pinus halepensis* Mill. con respecto al contenido en semillas hasta el 28 de abril, se computa en aproximadamente un 25 % mensual, tasa muy parecida a la registrada entre esta fecha y el 13 de junio, que se sitúa en un 24 % de pérdida mensual para la parte aérea, y en 35 % mensual si nos referimos a la parte radical.

A partir de esa fecha el tanto por ciento de la concentración de nitrógeno entra y se mantiene hasta el final del cultivo en los rangos óptimos propuestos por Landis y Oliet para planta cultivada, mientras que el tanto por ciento de pérdida mensual se estabiliza en valores situados por debajo del 20 %.

El análisis de la varianza arroja, que en todas las extracciones aparecen diferencias estadísticamente significativas entre las partes aéreas y radicales, siendo siempre la concentración en nitrógeno aéreo superior a la concentración de nitrógeno radical.

Con respecto a la evolución de los contenidos totales, se ve que esta especie, en general, presenta contenidos totales crecientes tanto en la parte aérea como en la parte radical, aunque se detecta una perdida del mismo el 28 de abril estimado en un 26 %.



También se ha observado un descenso en los contenidos de nitrógeno radical el 13 de septiembre estimado en un 30 %.

- **Fósforo:**

Se observa que no existen diferencias significativas entre los contenidos de fósforo aéreo y radical, sin embargo vemos que la concentración de este elemento es realmente baja a partir del 13 de junio alcanzándose al final del cultivo concentraciones de fósforo defectivas con respecto a los rangos propuestos por Landis y Oliet. Estos niveles deficientes de fósforo, los podemos atribuir a la escasa fertilización aportada, ya que si bien los contenidos de fósforo para el conjunto de la planta, aumentan al principio, entre el 28 de abril y el 13 de junio la concentración de este nutriente disminuye drásticamente (aproximadamente en un 56 %), hecho lógico ya que estamos en plena fase de establecimiento, en donde los requerimientos de fósforo son mucho mayores a los del resto del periodo vegetativo y por tanto los efectos de la dilución son más patentes (TIMMER, 1991). A partir de esa fecha también se produce una reducción de la concentración de fósforo, pero las pérdidas porcentuales son mucho menores, viéndose al final del ensayo un ligero incremento de la concentración de este elemento.

Con respecto a la relación entre la parte aérea y la radical, vemos que siempre es favorable a las parte aérea, pero las diferencias son muy pequeñas, llegando incluso a igualarse al final del ensayo.

En cuanto a los contenidos totales de fósforo, vemos que tanto para la parte aérea como para la parte radical un fuerte descenso de los niveles de este elemento el 13 de junio, coincidiendo en fecha con los mayores en la concentración de este nutriente. Esta bajada en los contenidos de fósforo se estima en un 80 % en el caso de la parte aérea, y de un 82 % en el caso de la parte radical. A partir de esta fecha, la evolución del contenido de fósforo en ambas partes es creciente, dándose los mayores crecimientos de este elemento el 13 de octubre, estimándose en un 49 % tanto para la parte aérea como para la parte radical.

- **Potasio:**

Los contenidos en potasio con respecto a las parte aéreas y radicales sufre una evolución muy diferente, pero íntimamente ligada entre ambas, a lo largo de todo el cultivo.

Con lo que respecta a la parte aérea, los niveles de potasio aumentan hasta el 13 de julio, produciéndose en la siguiente extracción un descenso de la concentración del 32 %, y tras un leve aumento vemos que la concentración, cae al final del cultivo hasta niveles por debajo de la concentración de la parte radical. La evolución de la concentración de la parte radical sufre un fuerte decremento a partir del 13 de julio (se han estimado las pérdidas en un 81,70 %). Esta situación se mantiene durante todo el verano hasta el 13 de septiembre, viéndose un incremento de la concentración del mismo el 13 de octubre. Podemos explicar este comportamiento por dos motivos:

- Por un exceso en los contenidos de calcio y magnesio, ya que es bien conocida la interacción negativa que del potasio con respecto a estos dos elementos.



- Que el potasio radical se transloque a la parte aérea durante el verano, ya que mientras se produce la mayor pérdida en los sistemas radicales, la concentración en la parte aérea sigue aumentando sin aumentar la dosis de fertilizante. Esta teoría concuerda con el papel regulador de la actividad estomática y por tanto del estrés hídrico, que se le atribuye al potasio. Por tanto podemos atribuir este comportamiento a una estrategia de la planta a fin de superar el verano con mejores garantías de supervivencia. Como confirmación comprobamos que las diferencias en las concentraciones de potasio entre la parte aérea y la parte radical, pasan de a ser de un 85 % aproximadamente entre el 13 de julio y el 13 de septiembre, a ser de un 11 % al final del cultivo. Es decir que este elemento vuelve a translocarse, pero esta vez de la parte aérea, a la parte radical, hasta alcanzar concentraciones similares.

Al final del cultivo las concentraciones de potasio se encuentran dentro de los rangos óptimos de concentración propuestos por Landis y Olier.

Con respecto a los contenidos totales, se observa que estos son superiores en la parte aérea, y que tras caer ligeramente el 28 de abril, presentan una evolución creciente a lo largo de todo el cultivo. Si nos referimos comportamiento los contenidos en la parte radical, vemos que existe una pérdida en el contenido de fósforo el 13 de julio, estimado en un 56 %, hecho que coincide con un gran descenso en la concentración de este elemento. Posteriormente el contenido total de fósforo en la parte radical, se estabiliza hasta el 13 de septiembre, aumentando en un 88 % al final del cultivo.

- **Calcio:**

Al igual que en el caso del potasio, el comportamiento del calcio entre las dos partes, es diferente, estando íntimamente ligado con la evolución del elemento anterior.

La tendencia del calcio, a diferencia de los otros elementos estudiados, tanto en su parte aérea como en su parte radical, es a aumentar sus concentraciones, alcanzándose niveles excesivos en ambas parte al final del cultivo. Esto es especialmente significativo en lo que se refiere a la parte radical, ya que encontramos que el 13 de julio, primera fecha con concentraciones excesivas en calcio para planta cultivada, coincide con la caída brusca en la concentración de potasio.

En el análisis de la varianza observamos que las diferencias estadísticamente significativas aparecen el 13 de junio, siendo el calcio radical del orden de un 60 % mayor al calcio aéreo. Estas diferencias se mantienen hasta el 13 de octubre, cuando se da una translocación del calcio radical a la parte aérea (a la inversa que en el potasio) llegando a una situación de equilibrio entre ambas concentraciones.

En cuanto a los contenidos totales, vemos que estos son crecientes en ambas partes hasta el 13 de septiembre. En la última extracción vemos que el contenido en calcio de la parte radical se reduce, mientras que se registra un aumento del 63 % en el contenido en calcio en la parte radical.



- **Magnesio:**

Las concentraciones de magnesio obtenidas, presentan en el caso de la parte aérea una evolución decreciente hasta el 13 de junio, para luego aumentar progresivamente hasta el final del cultivo. En cuanto a la evolución de la concentración de la parte radical, esta sigue una tendencia similar, solo que el periodo de pérdida en la concentración de este elemento, se prolonga hasta el 13 de julio, tendiendo a crecer desde esa fecha, hasta el final del cultivo.

Por otra parte, observamos que, aunque la concentración de magnesio es menor en la parte radical que en la aérea (situándose la mayor diferencia el 13 de julio), el comportamiento en general tiende a ser muy similar como ocurre con el fósforo y el calcio, ya que tiende a equilibrar las concentraciones en sus respectivas partes al final del cultivo.

Se ha detectado que existe una relación entre la concentración del magnesio aéreo y el calcio aéreo, viéndose que a mayor concentración del magnesio aéreo, la concentración del calcio aéreo disminuye.