



## Capítulo 6 Fertirrigación con Riego por Pulsos

**Marcelo Vidal S.**  
Ing. Agrónomo  
marcelo.vidal@inia.cl  
INIA Rayentué

**Rafael Ruiz S.**  
Ing. Agrónomo  
Consultor

**Alejandro Antúnez B.**  
Ing. Agrónomo Ph.D.  
INIA La Platina

**Claudia Araya R.**  
Ing. Agrónomo



## 6.1 Introducción

La fertirrigación del cultivo del maíz es una alternativa innovadora y se plantea como una alternativa de las actuales prácticas de fertilización. La válvula que controla el sistema de riego por pulsos permite la inyección de fertilizantes previamente solubilizados al surco de riego. Esta técnica de riego representa una modalidad para mejorar la eficiencia de aplicación de agua y los fertilizantes, permitiendo una absorción más uniforme. Este método de aplicación de fertilizante ha tenido ventajas y desventajas comparadas con otras técnicas de fertilización.

Algunas de las ventajas son:

- Menores pérdidas de fertilizante por percolación profunda.
- Capacidad de aplicar fertilizante en el momento que el cultivo lo necesite.
- Menor erosión potencial debido a menores caudales.

Algunas desventajas son:

- Potencial corrosión y agujereado de las compuertas de riego (en caso que sean de aluminio).
- La necesidad de calibrar el equipo de inyección.
- Traslado y ensamblado del equipo (en caso de ser sistema californiano móvil).

## 6.2 Momento de aplicación

Trabajos realizados en Estados Unidos, han demostrado que la aplicación de nitrógeno es más eficiente cuando se realiza en los ciclos de remojo. Esto permite una distribución uniforme en el terreno y mantiene el nivel deseado de nitrógeno en las raíces. Un estudio de la Extensión Cooperativa de la Universidad Estatal de Colorado (1995), determinó que los rendimientos del maíz fertirrigado aumentan en un 12% comparado con fertilización convencional. La eficiencia en el uso de nitratos aumentó hasta un 30% y la fertirrigación redujo la lixiviación de nitratos a las aguas

subterráneas. Además, el nitrógeno residual en los 60 cm superiores del perfil, aumentó un 14% al final del ciclo del cultivo. Muestras de suelos, mostraron una distribución uniforme del nitrógeno en todo el recorrido de los surcos. La fertirrigación con riego por pulsos permitiría optimizar las aplicaciones de nitrógeno y aumentar los rendimientos con una reducción de entre 20 y 40% de fertilizante y agua.

### 6.3 Evaluación de la Fertirrigación Nitrogenada en riego por surcos mediante pulsos.

Se realizaron dos ensayos en las temporadas 2012/2013 y 2013/2014 en donde se evaluó la aplicación de la dosis de la aporca vía fertirriego. En la temporada 2012/2013, se realizó la prueba en terrenos del Liceo Agrícola el Carmen, San Fernando. El suelo del ensayo es de textura franca arenosa, bien drenado, con profundidad variable y pedregosidad superficial en cabecera. Se trabajó con un híbrido de maíz tardío CIS variedad "Mamut". La dosis total de nitrógeno se presenta en el Cuadro 30, de acuerdo a los siguientes tratamientos:

- RSC: Riego tradicional y aplicación tradicional del nitrógeno a la aporca.
- RPT: Riego por pulsos con aplicación tradicional del nitrógeno a la aporca.
- RPF: Riego por pulsos con aplicación del nitrógeno en tres eventos de riego vía fertirriego; 1<sup>er</sup>. riego (40%), segundo y tercer riego (30% - 30%).

**Cuadro 30.** Fertilización del cultivo temporada 2012/2013.  
Liceo Agrícola El Carmen. San Fernando.

Periodo	Fertilizante	kg ha <sup>-1</sup>	kg N	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg K <sub>2</sub> O
Siembra	15 – 21 – 21	500	75	105	105
Aporca y fertirriego	UREA	600	275	---	---
Total			351	105	105



**Foto 12.** Aplicación del fertilizante vía fertirriego. El Carmen.

El segundo ensayo se realizó en el Fundo Las Arañas, ubicado en la comuna de Chépica, durante la temporada 2013/2014, en un suelo franco arcilloso, sin piedras, con un horizonte arcilloso bajo los 40 cm de profundidad.

Se trabajó con un híbrido de maíz tardío Pioneer variedad "33Y74". La dosis total de nitrógeno se presenta en el Cuadro 31, de acuerdo a los siguientes tratamientos:

- RSC: Riego tradicional y aplicación tradicional del nitrógeno a la aporca.
- RPF: Riego por pulsos con aplicación del nitrógeno en 2 eventos de riego vía fertirriego; 1<sup>er</sup> riego (50%), segundo riego (50%).

**Cuadro 31.** Fertilización del cultivo temporada 2013/2014.  
Fundo Las Arañas. Chépica.

Período	Fertilizante	kg ha <sup>-1</sup>	kg N	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg K <sub>2</sub> O
Siembra	28 – 14 – 12	700	196	98	84
Aporca y fertirriego	UREA	550	253	---	---
Total			449	98	84



**Foto 13.** Aplicación del fertilizante vía fertirriego. Las Arañas.

Efecto de la forma de aplicación del fertilizante al momento de la aporca sobre el rendimiento de grano en ambas temporadas. En el Cuadro 32, se presenta el rendimiento promedio obtenido según el tratamiento en el suelo en ambas localidades.

**Cuadro 32.** Rendimiento obtenido según tratamiento para ambas localidades.

Tratamiento	Rendimiento qq ha <sup>-1</sup>	
	El Carmen	Las Arañas
RPF	125	167
RPT	141	--
RSC	107	159

El rendimiento del maíz se afectó por los tratamientos de riego y fertilización en ambas localidades. En el Carmen, el sistema de riego por pulsos con fertilización tradicional (RPT), logró un mayor rendimiento que las demás técnicas evaluadas. También, es importante destacar que el rendimiento obtenido en la superficie donde se regó y fertilizó de manera tradicional, fue significativamente inferior a la superficie bajo riego por pulsos.

Por otra parte, estos rendimientos son inferiores a los obtenidos en la localidad de Las Arañas. En este predio, se generó una diferencia de 8 qq ha<sup>-1</sup> entre tratamientos evaluados (equivalente a un 5% de aumento de RPF sobre RSC). La baja diferencia en rendimiento podría deberse a un subsuelo de textura arcillosa, lo cual genera

que el componente lixiviación sea baja expresión en comparación con suelos de texturas gruesas como en El Carmen. Por otra parte, se estima que se ha aplicado dosis excesivas de N, ante las cuales el sistema RPF no expresa las ventajas y la ineficiencia de RSC es cubierta por el exceso de N.

Bajo estas condiciones, la principal ventaja del sistema de RPF, es que consiste en disminuir las pérdidas por lixiviación, como se presenta en el Cuadro 33.

**Cuadro 33.** Nitratos potencialmente lixiviados ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) según tratamiento.

Tratamiento	El Carmen	Las Arañas
RPF	103	9,3
RPT	128	--
RSC	240	9,9

Todos los tratamientos provocan lixiviación de nitratos en ambos suelos. Del Cuadro 33, puede deducirse que la magnitud de la lixiviación potencial es relativamente baja para el suelo e textura franco arcillosa (Las Arañas), en comparación al suelo de textura franco arenosa (El Carmen).

Suelos de textura gruesa o arenosa tiene una capacidad de retención de agua más baja y por lo tanto, un potencial de lixiviación de nitratos mucho mayor comparado con suelos de textura fina o arcillosa.

Las pérdidas de nitrógeno por lixiviación están muy relacionadas con los volúmenes de agua aplicados durante la temporada, especialmente en suelos de textura gruesa. De aquí parte un círculo vicioso en el cual los altos volúmenes de riego utilizados en la zona producen más percolación y mayor pérdida del nitrógeno móvil. Esto lleva al uso de altas dosis de N para compensar las pérdidas, generando una ineficiencia en la fertilización nitrogenada.

En el Cuadro 34, se presenta la eficiencia de aplicación del fertilizante nitrogenado de ambas temporadas para todos los tratamientos evaluados.

**Cuadro 34.** Eficiencia de aplicación del fertilizante según forma de aplicación y textura de suelo.

Tratamiento	El Carmen	Las Arañas
RPF	81%	46%
RPT	64%	--
RSC	38%	40%

Los valores de eficiencia de aplicación de N varían con las condiciones climáticas, de suelo y de manejo. Es así, como en el suelo franco arcilloso (Las Arañas), la eficiencia de aplicación de nitrógeno vía fertirriego con riego por pulso (RPF) fue de 46%, mientras que la eficiencia de la fertilización por surcos convencional (RSC), resultó sólo de un 40%. Por otra parte, en el suelo de textura franca arenosa (El Carmen), los tratamientos de riego por pulsos con fertirriego y fertilización tradicional (RPF y RPT), lograron una mayor eficiencia de aplicación que el tratamiento de aplicación de nitrógeno en la aporca y riego tradicional (RCS).

La eficiencia de aplicación lograda por el tratamiento RCS, fue similar en ambas localidades, pero si se observó una mejora muy relevante en el sistema de riego por pulsos en El Carmen. Esta mejora en la eficiencia de aplicación se debe principalmente al menor volumen de agua aplicado por el sistema de riego por pulsos durante la temporada y fue de tres veces menos que en el riego tradicional.

La eficiencia de fertilización lograda en Las Arañas por el tratamiento RPF fue superior a RSC. Sin embargo, esta cifra fue baja en ambos tratamientos. La baja diferencia en la eficiencia entre estos tratamientos (RSC y RPF), pudo deberse al aporte de nitrógeno del suelo, potencialmente alto como lo indica el nivel de N potencialmente mineralizable (143 ppm 0-60 cm de profundidad). Bajo esta situación, difícilmente pueden expresarse diferencias entre tratamientos y explican la baja eficiencia lograda especialmente por RPF. El alto valor de N potencial mineralizable, indica que el suelo tiene una reserva de N probablemente inmovilizado, que queda disponible para próximos cultivos y que representa el verdadero aporte nitrogenado del suelo.

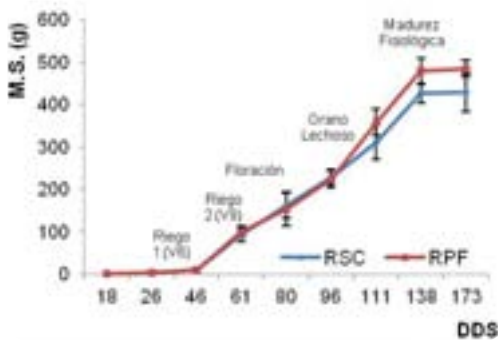


Por otra parte, el suelo de El Carmen, tiene un aporte bajo de N potencial mineralizable (54 ppm 0-60 cm profundidad), generando que la respuesta fuese mucho mayor, aumentando la eficiencia de aplicación de N principalmente por el buen manejo del riego.

### Acumulación de materia seca y extracción de NPK del maíz en la localidad de Las Arañas.

#### 6.4 Acumulación de masa seca del cultivo.

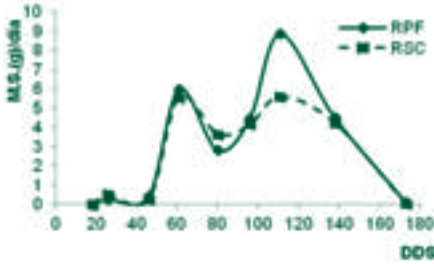
En la Figura 18, se presenta la dinámica de acumulación después de siembra (DDS) de masa seca del cultivo de maíz en los dos tratamientos evaluados



**Figura 18.** Evolución de la acumulación de materia seca por el cultivo de maíz durante el ciclo de cultivo.

Se observa que las plantas de maíz bajo tratamiento RPF acumularon en promedio 484,2 gr/planta equivalente a 37 t ha<sup>-1</sup> de materia seca y el maíz bajo tratamiento RSC alcanzó 427,9 gramos por planta equivalente a 33 t ha<sup>-1</sup>.

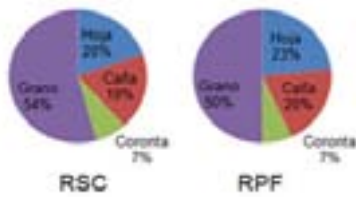
En la Figura 19, se presenta la tasa de acumulación de masa seca a lo largo del ciclo del cultivo para ambos tratamientos.



**Figura 19.** Tasa de acumulación de materia seca a lo largo del ciclo del cultivo.

A partir del primer evento de riego se genera un incremento importante en la acumulación de materia seca en ambos tratamientos, lo cual coincide con la segunda dosis de aplicación del fertilizante nitrogenado. Posteriormente, entre 60 y 80 DDS la tasa es decreciente. A partir de floración (80 DDS) comienza la mayor tasa de acumulación de materia seca equivalente a 5,5 g día<sup>-1</sup> para RSC y 8,8 g día<sup>-1</sup> para RPF. A partir de esta etapa fenológica, el tratamiento RPF tiene una mayor tasa de acumulación de materia seca aunque sin diferencias con RSC.

En la Figura 20, se presenta la partición de materia seca de cada órgano de la planta de maíz.



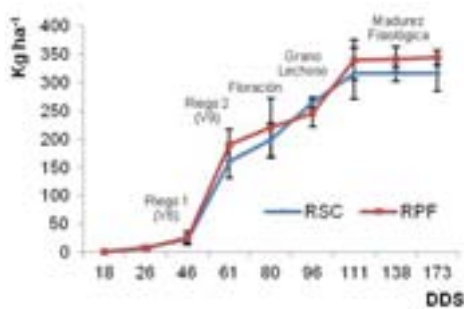
**Figura 20.** Porcentaje de masa seca de cada órgano.

Como se muestra en la Figura 20, el grano corresponde al 50% de la materia seca total para RPF y 54% para RSC. En segundo término, las hojas acumulan mayor masa seca en RPF, con un 23%, mientras que en RSC alcanzan un 20% de masa seca.

Luego sigue la caña, presentándose con un 20% de masa seca en RPF y con un 19% en RSC. Finalmente, en ambos tratamientos la coronta obtuvo un 7% de masa seca dentro de la masa total de la planta de maíz.

### 6.5 Extracción de N

En la Figura 21, se presenta las curvas de extracción de N total en ambos tratamientos.



**Figura 21.** Dinámica de absorción de nitrógeno en maíz grano durante el ciclo de cultivo. (Las barras verticales indican el error estándar).

La extracción de nitrógeno en los primeros 46 DDS es relativamente baja para ambos tratamientos, debido a que la formación de biomasa y tasa fotosintética de las plantas es reducida. Cabe señalar que hasta esta etapa solo se ha extraído el 7,3% del total de nitrógeno total para ambos tratamientos.

Al inicio de floración (80 DDS) se registra una acumulación del 62 y 64% del nitrógeno total extraído por la planta para RSC y RPF, respectivamente.

La extracción de N se detiene durante la madurez fisiológica (130 DDS), periodo en que el maíz ha absorbido casi el 99% del nitrógeno total extraído en ambos tratamientos. La extracción total de nitrógeno, fue de 316 kg N ha<sup>-1</sup> para RSC y 343 kg N ha<sup>-1</sup> para RPF. En ambos tratamientos, el requerimiento de N para producir 1 tonelada de grano con 14,5% humedad fue de 20 kg de N.

### Distribución porcentual de N en los distintos órganos de la planta

La distribución porcentual de nitrógeno en los distintos órganos o partes de la planta de maíz se presenta en la Figura 22.

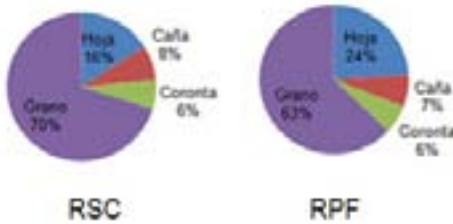


Figura 22. Distribución de nitrógeno en los distintos órganos de la planta.

En la Figura 22, se observa que gran parte del N extraído por la planta de maíz se concentra en el grano para ambos tratamientos siendo de 70% para RSC y 63% para RPF. Plantas tratadas bajo RPF mostraron una mayor proporción de N en las hojas, lo cual se relaciona posiblemente con una menor movilidad del elemento desde el área foliar al grano producto de la mayor absorción.

### 6.6 Tasa de acumulación de nitrógeno

En la Figura 23, se presenta la tasa de acumulación de N de las plantas de maíz durante el ciclo del cultivo.

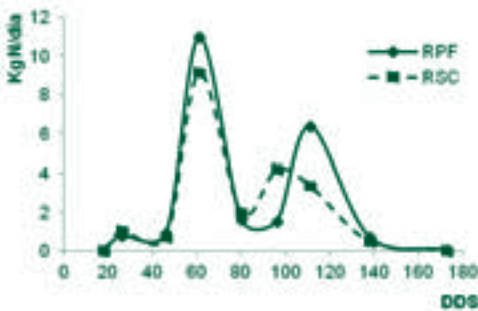
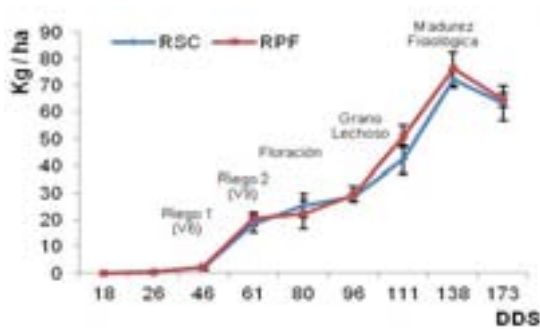


Figura 23. Tasa de absorción de nitrógeno durante el ciclo del cultivo del maíz.

En la Figura 23, se aprecia dos períodos críticos de alta absorción de nitrógeno; el primero entre los 46 y 61 DDS, que corresponde al estado vegetativo V6-V11, y que acumula una tasa similar para ambos tratamientos de  $10,9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para RPF, y  $9,1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para RSC. Este período coincide con una alta tasa de acumulación de materia seca relacionada con el inicio de riego y con la segunda dosis de fertilización nitrogenada. El segundo período de alta absorción de N difiere entre los tratamientos y se adelanta aproximadamente 20 días (de 100 a 80 DDS) en el tratamiento RSC en comparación al tratamiento RPF. Por otra parte, la tasa máxima de acumulación de N durante este segundo período fue de  $4,1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  (96 DDS) para RSC, mientras que para RPF logra una tasa muy superior de  $6,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  pero en una etapa posterior.

## 6.7 Extracción de P

En la Figura 30, se presenta las curvas de extracción de P total para plantas cultivadas bajo los dos tratamientos evaluados.



**Figura 30.** Dinámica de absorción de P en maíz grano durante el ciclo de cultivo. Las barras verticales indican el error estándar.

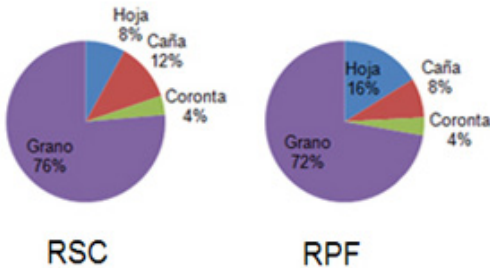
Se observa, que en general las tasas de absorción de P siguieron tendencias similares en ambos tratamientos, con tasas levemente superiores en RPF a partir de grano lechoso.

Cabe destacar que hasta 46 DDS, sólo se ha extraído un 3% del total de este elemento. En floración (80 DDS), la acumulación de P para RSC es del 35% y para RPF es de 29% del total extraído por las plantas.

La extracción de P se detiene durante la madurez fisiológica de la planta (130 DDS), período en que el maíz ha absorbido el 100% del P total extraído, en ambos tratamientos. La extracción total de P fue equivalente a  $63 \text{ kg N ha}^{-1}$  para RSC y  $64 \text{ kg N ha}^{-1}$  para RPF. En ambos tratamientos el requerimiento de P para producir 1 tonelada de grano con 14,5% humedad ascendió a 4 kg de P.

### 6.8 Distribución porcentual de P en los distintos órganos de la planta

La distribución porcentual de P en los distintos órganos o partes de la planta de maíz se presenta en la Figura 31.

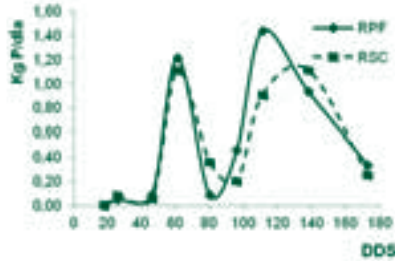


**Figura 31.** Distribución de P en los distintos órganos de la planta

En la Figura 31, se observa que para ambos tratamientos, la mayoría del P extraído por la planta de maíz se concentra en el grano, y representa el 76% para RSC y 72% para RPF. El P en las hojas fue de un 16% del total en RPF, representando prácticamente el doble del P contenido en las hojas de las plantas de RSC, el cual fue de un 8%.

### 6.9 Tasa de acumulación de P

En la Figura 32, se presenta la tasa de acumulación de P de las plantas de maíz durante el ciclo del cultivo.

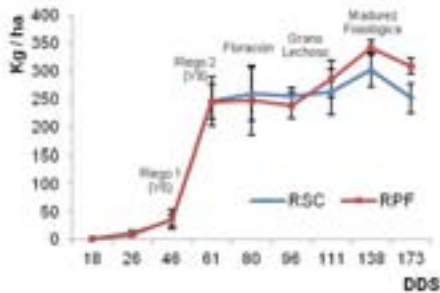


**Figura 32.** Tasa de absorción de P durante el ciclo del cultivo del maíz.

En la gráfica, se refleja dos periodos críticos de alta absorción de P. El primero, similar en ambos tratamientos, a partir de los 46 DDS hasta 61 DDS con una tasa de absorción de  $1,1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para ambos tratamientos. El segundo período de alta absorción de P, se inicia a partir de 80 DDS para RPF, aproximadamente 20 días antes que en RSC y alcanza una tasa equivalente a  $1,4 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , mayor a la tasa de RSC. Para RSC, la tasa máxima de acumulación de P se inicia en el estado de llenado de grano (110 DDS) hasta madurez fisiológica con una tasa de  $1,1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

### 6.10 Extracción de K

En la Figura 33, se presenta las curvas de extracción de K total para plantas cultivadas bajo los dos tratamientos evaluados.



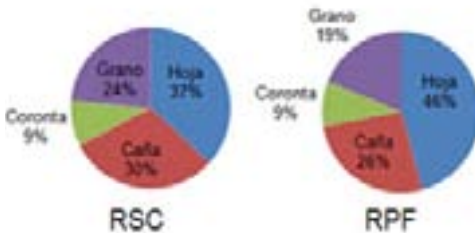
**Figura 33.** Dinámica de absorción de K en maíz grano durante el ciclo del cultivo. Las barras verticales indican el error estándar.

Se observa una semejanza en la absorción acumulada de K en ambos tratamientos. Sólo a partir de grano lechoso, se observa mayor acumulación de K en el tratamiento RPF. Al inicio del ciclo del cultivo, la tasa de absorción de K fue relativamente baja y resultó similar para ambos tratamientos. Hasta el día 46 DDS se acumuló aproximadamente un 12% del la extracción total de este elemento.

En floración (80 DDS), la acumulación de K para RSC fue del 81% y para RPF fue de 80% del total extraído por la planta. La extracción de K se detiene en madurez fisiológica (130 DDS), período en que el maíz ha absorbido el 100% del K total extraído en ambos tratamientos. La extracción total de K resultó con diferencias estadísticamente significativas para ambos tratamientos, alcanzando 258 kg K ha<sup>-1</sup> para RSC y 308 kg K ha<sup>-1</sup> en RPF. En ambos tratamientos, el requerimiento de K para producir 1 tonelada de grano con 14,5% humedad fue de 16 kg de K para RSC y 18 kg de K para RPF.

### 6.11 Distribución de K en los diferentes órganos de la planta

La distribución porcentual de K en los distintos órganos de la planta de maíz se presenta en la Figura 34.



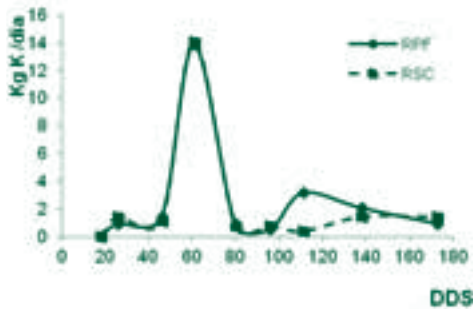
**Figura 34.** Distribución porcentual de K en los distintos órganos de la planta.



En la Figura 34, se observa que el mayor porcentaje del K extraído por la planta de maíz se concentra en la hoja para ambos tratamientos y presenta un valor de 37% para RSC y 46% para RPF. El órgano que sigue en preponderancia es la caña, con un 30% en RSC y un 26% en RPF. El tratamiento RPF resultó con un 19% de K en el grano, mientras que el tratamiento RSC presentó un 24%.

### 6.12 Tasa de acumulación de K

En la Figura 35, se presenta la tasa de acumulación de K de las plantas de maíz durante el ciclo del cultivo.



**Figura 35.** Tasa de absorción de K durante el ciclo del cultivo del maíz.

A diferencia de N y P, el K tiene un solo período crítico de alta demanda, muy temprano, similar en ambos tratamientos y se inicia a partir del primer riego (46 DDS) hasta el día 61, con una tasa de absorción de  $14 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para ambos tratamientos. El punto máximo de acumulación de K ocurre en la etapa vegetativa y tiene una tasa de absorción de entre  $15$  y  $23 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

### 6.13 Conclusiones

Del presente trabajo, se puede obtener las siguientes conclusiones:

- El rendimiento se vio afectado por el método de fertilización, forma de regar y tipo de suelo.
- La fertirrigación mediante riego por pulsos generó una mejor respuesta en rendimiento en el suelo franco arenoso que en el franco arcilloso. Esta técnica es una alternativa que mejora el rendimiento en suelos con bajo potencial productivo al generar mayor respuesta en la extracción de nutrientes y mejorar la eficiencia de aplicación y recuperación del N.
- En suelos con alto potencial productivo la respuesta del fertirriego con riego por pulsos es menor pero sigue siendo mejor que el sistema tradicional de riego y fertilización.
- En el suelo de textura fina, el componente lixiviación fue de baja expresión en comparación con el suelo de textura gruesa. Bajo estas condiciones, la reducción de las pérdidas por lixiviación, principal ventaja del sistema de RPF se aminoró en el Fundo Las Arañas en comparación a la Liceo Agrícola El Carmen.
- La cuantificación de la extracción de N, P, K, Ca y Mg en el cultivo del maíz completo (grano y biomasa) realizada en este proyecto, podrá servir como entrada en un modelo de ajuste de la fertilización del maíz.