

## EFFECTO DEL NITRÓGENO SOBRE EL DESARROLLO DE LA REMOLACHA AZUCARERA DE SIEMBRA OTOÑAL

Juan José Martínez<sup>1</sup>, Rodrigo Morillo-Velarde<sup>1</sup>, Luis F. Gordo<sup>1</sup>, José Luis Bermejo<sup>1</sup> y Cristina Echevarría<sup>2</sup>

<sup>1</sup>AIMCRA (Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera), Delegación Sur, C/Metalurgia nº 36, 41080 Sevilla, España.

<sup>2</sup>Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, Avenida Reina Mercedes nº 6, 41012 Sevilla, España.

### INTRODUCCIÓN

De todos los nutrientes de las plantas, una aplicación de nitrógeno en la mayoría de las situaciones tiene los efectos más espectaculares sobre el aspecto del cultivo (Draycott y Christenson, 2003). En el cultivo de la remolacha azucarera, el nitrógeno no solo determina el desarrollo del cultivo, sino que también actúa sobre la producción de sacarosa y la calidad industrial. Cada uno de estos parámetros poseen óptimos de nitrógeno diferentes (Shock, C. C. et al, 2000).

Existen muchos estudios sobre el efecto del nitrógeno sobre el desarrollo de la remolacha en siembra primaveral (Armstrong et al, 1986; Draycott, 1993; Draycott y Christenson 2003; Shock C.C., 2000, etc.), pero estos estudios son casi inexistentes cuando se trata de la modalidad de siembra otoñal. Aunque en principio la respuesta al nitrógeno de las dos modalidades de siembra debiera ser la misma, los factores climáticos afectarán tanto a la demanda de nitrógeno como a la limitación del crecimiento (temperatura invernal, evapotranspiración estival, etc.), y por lo tanto a la eficiencia del uso que del nitrógeno tenga el cultivo según la zona de implantación.

Es necesario un adecuado manejo de la fertilización nitrogenada para reducir el impacto ambiental de las prácticas agrícolas así como obtener un incremento de la rentabilidad de la producción.

Este estudio se ha realizado integrado en el proyecto FEDER-1FD97-0893-C3-01.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Se han realizado ensayos durante 3 años (2000-2001, 2001-2002 y 2002-2003), en 3 fincas diferentes de la provincia de Sevilla.

### **Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal**

Los datos concretos de estos ensayos se muestran en la Tabla 1.

Los ensayos se dispusieron en bloques completos al azar con al menos 4 repeticiones.

Las muestras para seguimiento evolutivo a lo largo del ciclo fueron tomadas de 3 repeticiones y para análisis de recolección se tomaron de todas las repeticiones existentes. La metodología empleada para la determinación de los parámetros fue la misma todos los años.

Para el estudio de la evolución de los diferentes parámetros se tomaron muestras quincenales de las plantas existentes en 1 metro lineal (0.5m<sup>2</sup>).

La determinación del contenido de nitratos de las muestras se realizaron sobre materia seca por el método descrito por López Rita (1990).

El contenido de nitrógeno total se determinó con un micro-Kjeldahl sobre materia seca.

El contenido de nitratos en jugo de peciolo se determinó con NITRACHEK 404, aplicándose la corrección correspondiente para obtener los resultados sobre materia seca.

Para la determinación de los resultados de recolección se tomaron 6 m<sup>2</sup> de superficie.

**Tabla 1.**

\* Dosis Recomendada de Nitrógeno en U. F. según propuesta de AIMCRA  
\*\* DR: Dosis Recomendada; DR+300: Dosis recomendada más 300 U.F.; SA: Sin aporte de nitrógeno; DR/2: la mitad de la dosis recomendada.

Finca	Localidad	Año Recol	DR*	Tratamientos**	Repeticiones
La Caridad	Alcalá del Río	2001	150	DR, DR+30	6
La Caridad	Alcalá del Río	2002	180	SA, DR, DR+30	4
La Reunión de S.Andrés.	Guillena	2002	150	SA, DR, DR+300	4
El Cerro	Carmona	2003	180	SA, DR, DR/2	4

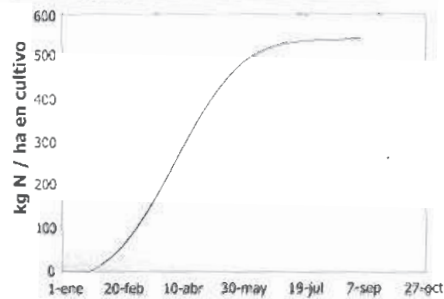
Los datos obtenidos fueron analizados en el paquete estadístico SPSS v8.0. con análisis de la varianza (ANOVA) y análisis de regresión. Todos los coeficientes r<sup>2</sup> que se muestran corresponden a valores ajustados.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Antes de poder hablar del efecto del nitrógeno sobre el desarrollo de la remolacha de siembra otoñal es importante conocer cuál ha sido la disponibilidad de nitrógeno que ha tenido el cultivo.

La cantidad de nitrógeno que incorpora la remolacha de siembra otoñal sigue una curva como la que se muestra en el gráfico 1 con un aumento progresivo hasta alcanzar su máximo a partir de Mayo-Junio (AIMCRA 2002, 2003 y 2004).

Gráfico 1. Modelo de evolución de la cantidad de nitrógeno encontrada en el cultivo



Como se observa en la Tabla 2, existe una discrepancia entre el nitrógeno aportado y el nitrógeno encontrado en el cultivo.

Como se observa en dicha tabla, la cantidad de nitrógeno máximo encontrado posee cierta correspondencia con la finca y el año. Por ejemplo, se puede observar como el ensayo de La Caridad realizado en el año 2001-2002 muestra los valores más altos de extracción de nitrógeno. Este hecho se pudo observar en campo, donde no existió diferencia visual entre tratamientos (aún siquiera con el tratamiento donde no se aportó nada de nitrógeno). Debido a esta falta de correspondencia entre el nitrógeno aportado y el encontrado, tomamos la extracción máxima de nitrógeno mostrada en Mayo-Junio como estimador de la disponibilidad de nitrógeno (nitrógeno que va a ser capaz de tomar el cultivo) que ha tenido el cultivo.

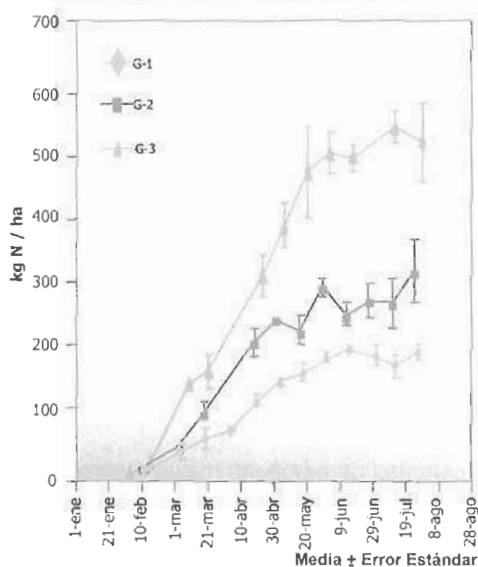
**Tabla 2.**  
Relación entre el nitrógeno aportado y la cantidad máxima de nitrógeno encontrada en el cultivo en los meses de Mayo-Junio, ordenados de menor a mayor según este último parámetro. (EC: El Cerro; LC: La Caridad; LR: La Reunión de San Andrés. \*: kg de N/ha)

Año recoj	Finca	Tratamiento	Aportado*	Max*	Grupo
2003	EC	SIN APORTE	0	209	1
2001	LC	DR	150	223	1
2003	EC	DR/2	90	250	1
2002	LR	SIN APORTE	0	259	
2002	LR	DR	150	285	2
2003	EC	DR	180	299	2
2001	LC	DR+300	450	316	2
2002	LC	SIN APORTE	0	420	
2002	LR	DR+300	450	455	3
2002	LC	DR	180	519	3
2002	LC	DR+300	480	569	3

Esta determinación de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo nos permite agrupar los diferentes tratamientos según este parámetro. Hemos reunido los tratamientos

## Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

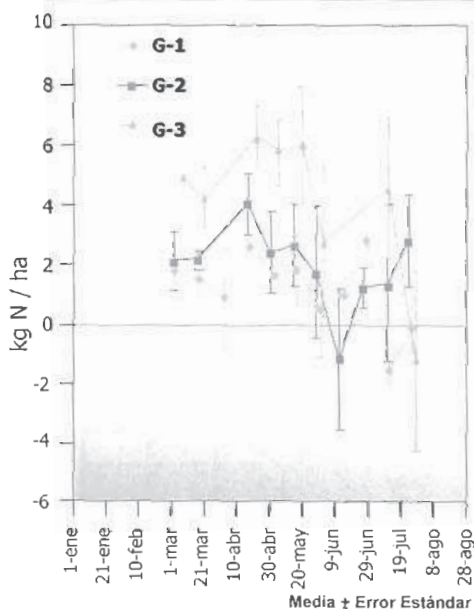
**Gráfico 2. Cantidad de nitrógeno determinado en los diferentes grupos realizados**



en 3 grupos según la tabla 2: Los 3 menores valores (G-1), los 3 intermedios (G-2) y los 3 mayores (G-3). Hemos promediado sus valores para evitar la correspondiente variabilidad entre fincas y años, y los hemos comparado entre sí. Para el estudio de la evolución a lo largo del ciclo, las medias se han realizado quincenalmente.

En el gráfico 2 se muestra la cantidad de nitrógeno observada en el cultivo en los diferentes grupos. Como se observa estos grupos siguen la curva característica mostrada en el Gráfico 1. En los 3 casos existe un incremento lineal hasta Mayo. Desde esta fecha prácticamente no existe un aumento del contenido en nitrógeno del cultivo en ninguno de los 3 grupos. Tanto el incremento como el nivel final alcanzado es dependiente de la disponibilidad de nitrógeno que ha poseído el cultivo. La media del valor máximo alcanzado en Mayo-Junio para el grupo 1 es de 217 kg N/ha, para el grupo 2 es de 300 kg N/ha y para el grupo 3 es de 515 kg N/ha. Observando el gráfico podemos ver que a la salida del invierno (Febrero) los 3 grupos poseen la misma cantidad de nitrógeno, no existiendo diferencia entre ellos. Es decir, que una mayor disponibilidad de nitrógeno no implica una mayor captación en las primeras fases del cultivo. A partir de Marzo, cuando existe un intenso crecimiento vegetativo, la captación de nitrógeno por parte del cultivo se ve potenciada por la disponibilidad de dicho nitrógeno. En Mayo se alcanza el máximo desarrollo foliar al tiempo que las condiciones ambientales se hacen más duras para la planta. Es a partir de este momento cuando deja de aumentar la cantidad de nitrógeno del cultivo manteniéndose estable hasta el final del ciclo estudiado.

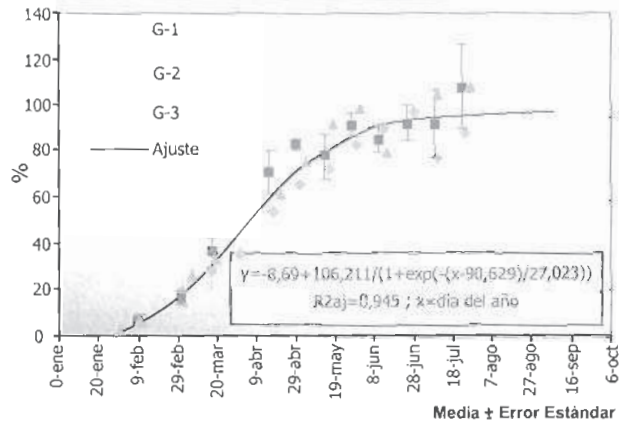
**Gráfico 3. Tasa de incorporación de nitrógeno ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) del cultivo en los diferentes grupos realizados**



## Cap V. Efecto del nitrógeno

La tasa de aparición de nitrógeno en el cultivo (gráfico 3) muestra diferencias según el grupo al que hagamos referencia. Durante casi todo el ciclo, y principalmente durante el periodo de crecimiento vegetativo, el grupo 3 presenta tasas superiores al resto, mostrando valores medios alrededor de 4 kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en Marzo y entre 5 y 6 kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en Abril y Mayo. Los valores de Marzo de los grupos 1 y 2 se encuentran alrededor de 2 kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Estos 2 tratamientos muestran un pico máximo en Abril con valores de aproximadamente 4 kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para el tratamiento 2 y de 2,5 kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para el tratamiento 1.

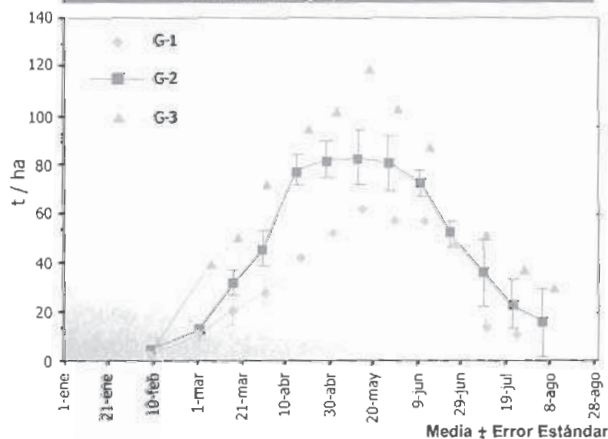
Gráfico 4. Relación porcentual entre el nitrógeno encontrado en el cultivo y el máximo encontrado en Mayo-Junio



Aunque, como hemos visto, la tasa de incorporación de nitrógeno del cultivo (en kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) es diferente según el grupo, si representamos el contenido de nitrógeno del cultivo en porcentaje sobre el contenido final, observamos que los tres grupos se ajustan a la misma curva (gráfico 4). Esto parece significar que la tasa de incorporación es proporcional al contenido final y por lo tanto proporcional a la disponibilidad de nitrógeno. Es decir, demuestra la alta afinidad y capacidad de absorción de la remolacha para el nitrógeno (Marschner, H. 1995).

Otra forma de interpretar este hecho pasa por la idea de que conociendo la cantidad de nitrógeno que posee el cultivo en un momento dado, sería posible estimar la cantidad final que incorporará.

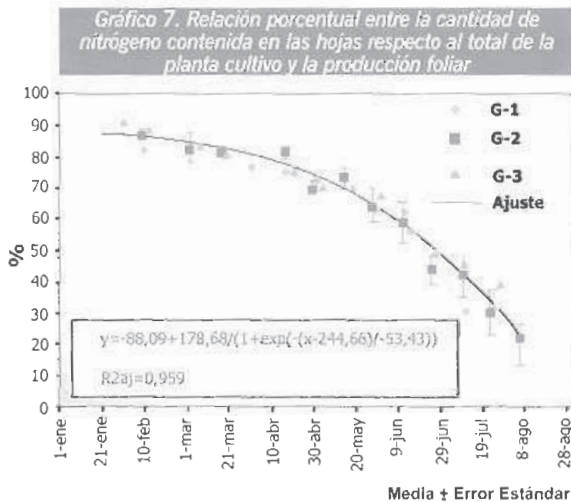
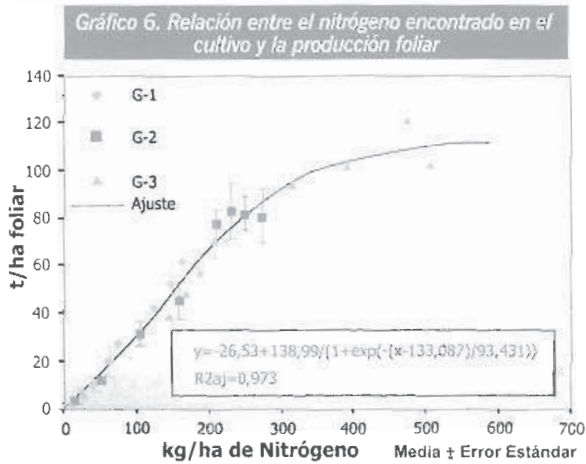
Gráfico 5. Evolución de la producción foliar de los diferentes grupos realizados



### DESARROLLO FOLIAR

Una mayor disponibilidad de nitrógeno implica un mayor desarrollo foliar (gráfico 5). Esto es de hecho una de las mayores diferencias existentes en el desarrollo producido por el nitrógeno. Aunque inicialmente, en Febrero cuando el cultivo está poco desarrollado, no se observan diferencias

## Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal



significativas entre grupos, en algo más de 20 días el grupo 3 muestra una clara diferenciación respecto a los otros 2 grupos, mostrando el grupo 2 valores intermedios 15 días después.

Durante el periodo de desarrollo vegetativo, la producción foliar aumenta, siendo su tasa de incremento mayor cuanto mayor es la disponibilidad de nitrógeno del cultivo. A partir de finales de Mayo y principios de Junio la producción foliar comienza a decrecer, debido más a las condiciones adversas de nuestra zona que a cualquier acción motivada por el nitrógeno. De hecho la eficiencia del uso del nitrógeno que presentan en Junio los diferentes grupos son: 106.77, 95.95 y 60.28 kg Peso seco de biomasa/kg N (respectivamente G-1, G-2 y G-3).

Esta dependencia de la producción foliar del nitrógeno disponible la podemos observar en el gráfico 6. En este gráfico

se representa la producción foliar de los diferentes grupos frente al nitrógeno incorporado por el cultivo. Como se observa esta relación se ajusta a una curva de tipo sigmoideal con un  $r^2_{aj} = 0.973$  para los 3 grupos.

La dependencia del nitrógeno que posee el desarrollo foliar es casi lineal hasta los 250-300 kg N/ha incorporados. Por otra parte, esta curva presenta un desarrollo foliar mayor del 90% sobre el final, con 350 U.F. incorporadas. Debido a que consideramos que la limitación del crecimiento foliar que se da en Mayo-Junio (al menos en los grupos con mayor disponibilidad de nitrógeno) proviene de las condiciones climáticas existentes en nuestra zona, es posible que en otras zonas varíe el desarrollo foliar máximo debido al nitrógeno.

El papel de las hojas como sumidero de nitrógeno se observa claramente en el gráfico 7. Al comienzo del ciclo estudiado el 90% del nitrógeno que posee la planta se

encuentra en las hojas. Este porcentaje decae paulatinamente hasta el final del ciclo. Inicialmente esta caída es suave, estando hasta Junio por encima del 60%. En los meses estivales el descenso de nitrógeno porcentual de las hojas se reduce más rápidamente hasta alcanzar el 20% del nitrógeno de la planta en Agosto.

Este efecto del nitrógeno sobre el desarrollo foliar se ve reflejado tanto en el grado de cubrición del terreno (Cobertura) como en el LAI (Índice de Área Foliar).

Respecto a la evolución de la cobertura (gráfico 8) observamos cómo durante todo el ciclo el grupo 1 mantiene niveles de cobertura inferiores al resto, alcanzando valores superiores al 90% sólo durante 1 mes. En cambio, no existen diferencias significativas entre los grupos 2 y 3. Como el desarrollo foliar debe ir encaminado a obtener la más rápida y continua cobertura del terreno para obtener la mayor captación de radiación solar posible, podemos suponer que el grupo 1 ha poseído mermas en el desarrollo, mientras que el grupo 2 aún teniendo menos nitrógeno que el grupo 3, no ha demostrado menores posibilidades de crecimiento potencial. Este hecho lo podremos comprobar más adelante.

Para comprobar cuál es la cantidad de nitrógeno que optimiza el desarrollo foliar respecto a la cobertura, representamos la cobertura frente al nitrógeno incorporado por el cultivo (gráfico 9). Para los 3 grupos este

Gráfico 8. Evolución de la cobertura de los diferentes grupos realizados, hasta Mayo inclusive

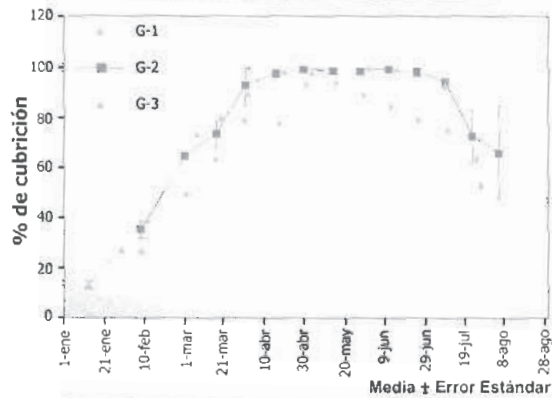


Gráfico 9. Relación entre la cobertura y la cantidad de nitrógeno encontrado en el cultivo, hasta Mayo inclusive

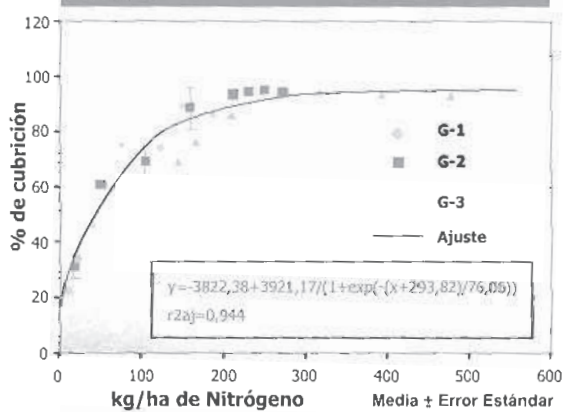
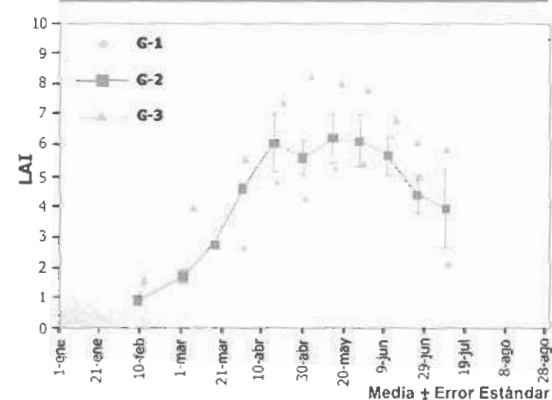


Gráfico 10. Evolución del LAI (Índice de Área Foliar) de los diferentes grupos realizados hasta Mayo inclusive



## Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

Gráfico 11. Relación entre el LAI y la cantidad de nitrógeno encontrada en el cultivo, hasta Mayo inclusive

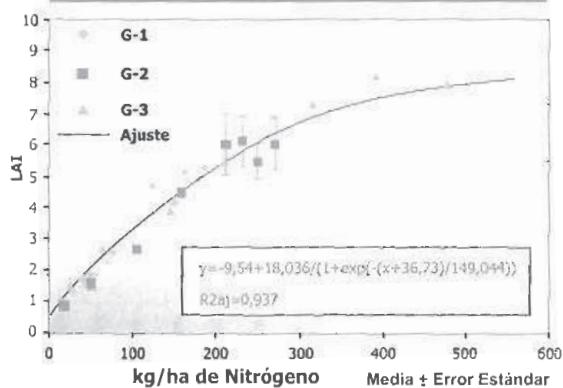


Gráfico 12. Evolución del peso de hoja individual de los diferentes grupos realizados

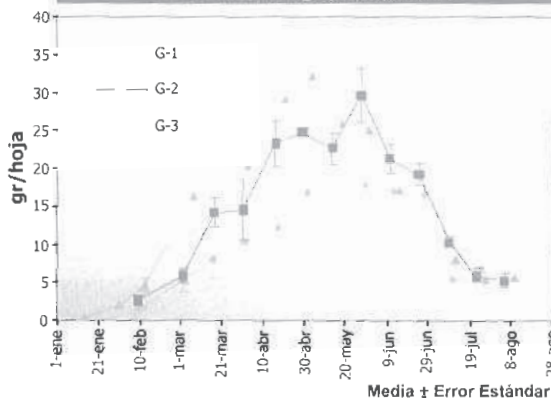
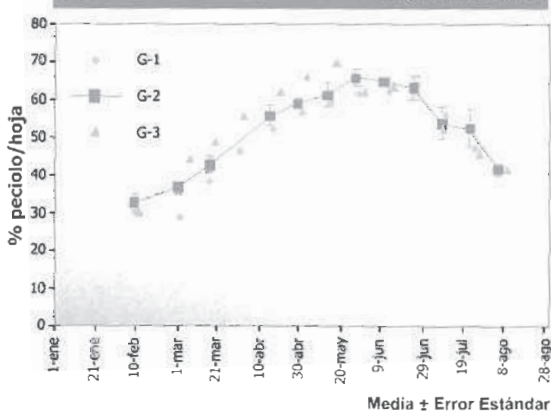


Gráfico 13. Evolución de la relación porcentual del peso del peciolo frente al peso total de la hoja de los diferentes grupos realizados



comportamiento se ajusta a una curva con un  $r^2_{ajustado} = 0.944$ . Como se observa, se obtiene el 90% de cobertura con 200 kg N/ha, mientras que incorporaciones superiores a 250 kg N/ha no aportan mejora en el grado de cobertura del terreno.

De igual forma se ha representado el LAI mostrado por los diferentes grupos frente al nitrógeno incorporado (gráficos 10 y 11). Lo primero que se observa es que el grupo 3 ha mostrado niveles de LAI de hasta 8 (superior a 4 a partir de primeros de Marzo), el grupo 2 de hasta 6 (superior a 4 a primeros de Abril), y el grupo 1 muestra niveles máximos de LAI de aproximadamente 5 (alcanzado solo en Mayo-Junio).

De igual forma que la cobertura, el LAI muestra una relación matemática estrecha ( $r^2_{ajustado} = 0.937$ ) respecto al nitrógeno incorporado. Draycott (1993) considera que un LAI óptimo para la remolacha se encuentra entre 4 y 5. En las condiciones ensayadas estos valores lo encontramos entre 150 y 200 kg N/ha incorporados, por lo que esta sería la incorporación mínima requerida por el cultivo para alcanzar dicho LAI.

Un aumento en la disponibilidad de nitrógeno implica un incremento en el tamaño de las hojas individuales, un incremento del tamaño del peciolo respecto al limbo, pero no en el número de hojas producidas (gráficos 12, 13 y 14).



**CONCENTRACION DE NITRÓGENO EN TEJIDOS**

En general, el contenido de nitrógeno en los tejidos es superior cuanto más disponibilidad de nitrógeno ha tenido la planta, como se puede observar en los gráficos 15,16 y 17.

La remolacha es una planta con un alto comportamiento nitrofilico (con gran avidez por el nitrógeno). Esta planta acumula nitratos de reserva principalmente en vacuolas existentes en el peciolo.

El contenido de nitratos en jugo de peciolo posee un comportamiento muy característico en la remolacha azucarera en siembra otoñal (memorias AIMCRA 2002, 2003, 2004). La concentración en peciolo crece desde naciencia hasta Febrero o Marzo donde muestra un pico máximo. Posteriormente esta concentración decrece hasta que en recolección se suelen encontrar los niveles mínimos. En el gráfico 18 se muestra la evolución del contenido de N(NO3) sobre materia seca tomada en el jugo de peciolo de los 3 grupos. Como se observa la concentración de N(NO3) en peciolo es correspondiente con la disponibilidad de nitrógeno a lo largo de todo el ciclo. Mayor disponibilidad implica una mayor concentración.

Gráfico 14. Evolución del número de hojas por planta de los diferentes grupos realizados

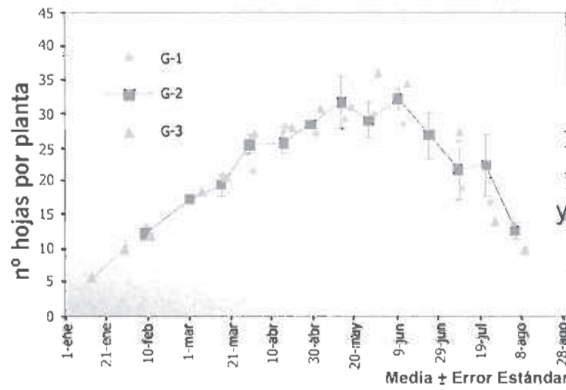


Gráfico 15. Evolución de la concentración de nitrógeno total en limbos

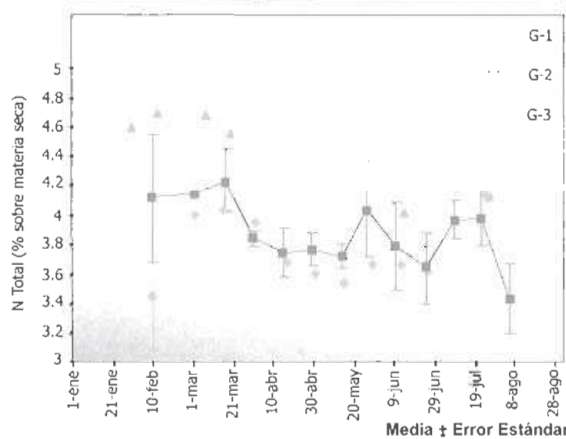
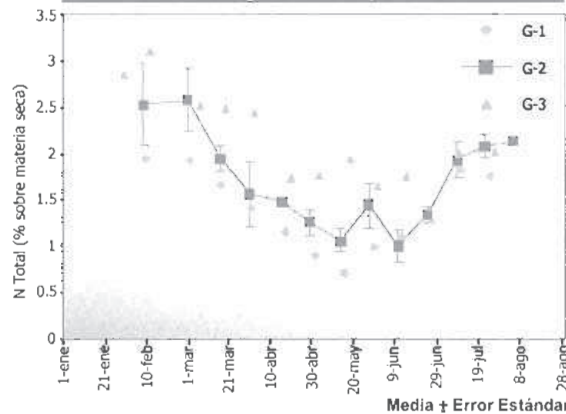
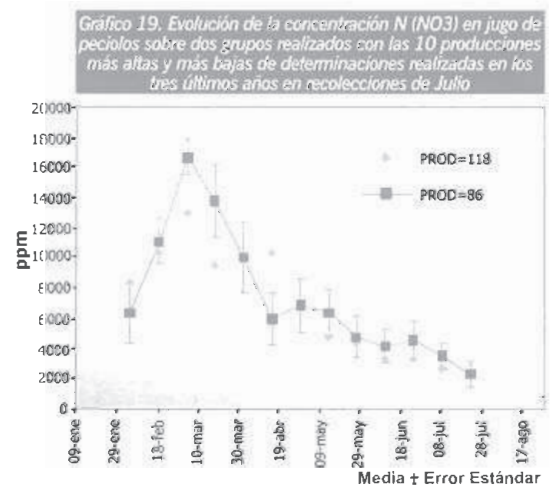
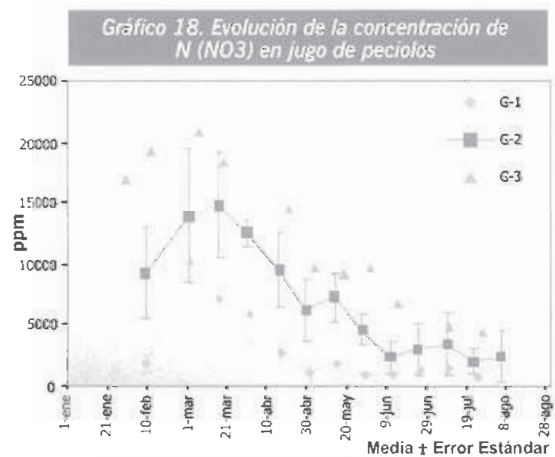
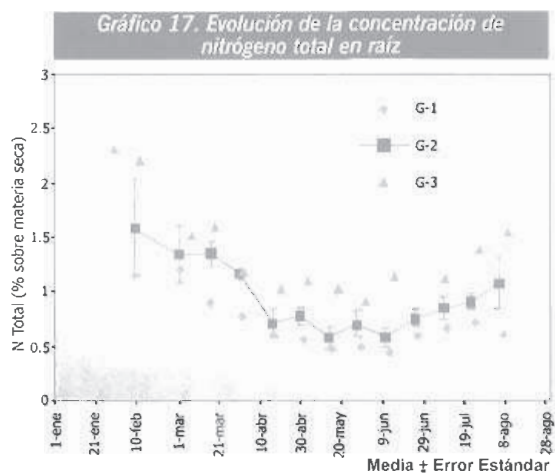


Gráfico 16. Evolución de la concentración de nitrógeno total en peciolo



## Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal



Diferentes autores (Analogides, 1988, Draycott, 1993; Draycott y Christenson, 2003, etc.) describen la posible utilidad de la concentración de N(NO<sub>3</sub>) en peciolo como herramienta para un buen manejo del nitrógeno en el cultivo de la remolacha azucarera. Ahora bien, esta utilidad se ve mermada por la dificultad de definir la relación entre el N(NO<sub>3</sub>) en peciolo y los parámetros de producción y calidad obtenidos en recolección. Para intentar dar algo de luz a esta relación hemos tomado todas las determinaciones evolutivas realizadas en AIMCRA en los 3 últimos años y las hemos relacionado con los resultados finales en recolección de Julio. Para ello se han tomado estas determinaciones (36 en total), se han ordenado en orden decreciente según el parámetro a estudiar, y se han tomado dos grupos de 10 con medias quincenales. Estos dos grupos están compuestos por los 10 resultados más bajos y por los 10 resultados más altos. Los parámetros a estudiar han sido: Producción, Polarización, IEA (Índice Económico del Agricultor) y VTIR (Valor Tecnológico e Industrial de la Remolacha).

Los resultados se muestran en los gráficos 19, 20, 21 y 22. Como se observa no existe una clara diferencia entre las mayores y las menores producciones respecto a la evolución del N(NO<sub>3</sub>), especialmente en las últimas fases del desarrollo. Esto puede ser debido a que en los dos casos las producciones son bastante altas (86 y 118 t/ha), por lo que faltarían

## Cap V. Efecto del nitrógeno

tratamientos con bajas producciones para observar diferencias respecto a este parámetro. Si observamos la evolución del N(NO<sub>3</sub>) respecto a los grupos formados por las más altas y más bajas polarizaciones, podemos ver que hasta Marzo no existen diferencias entre estos dos grupos. A partir de aquí los tratamientos con mejor polarización (17.3) evolucionan de forma inferior a los de menor polarización (13.5). Observamos que los tratamientos con polarización más alta poseen valores inferiores a 4000 ppm a partir de mediados de Abril y alrededor de 2000 ppm desde finales de Mayo. El grupo con menor polarización no baja de 4000 ppm de N(NO<sub>3</sub>). El IEA muestra diferencias significativas desde Marzo, presentando los menores contenidos en N(NO<sub>3</sub>) el grupo de mayor IEA final (108 respecto a 77 del otro grupo). Los mejores resultados se han obtenido con valores inferiores a 2000 ppm a partir de Junio. La mayor diferencia entre las evoluciones se muestran cuando los tratamientos son agrupados respecto al VTIR. En este caso las diferencias se marcan desde el comienzo de los análisis, siendo muy superiores en el caso de los tratamientos cuya media final es de 75 frente a los tratamientos cuya media es de 87. Se puede observar como el mejor VTIR se ha conseguido con valores cercanos o inferiores a 2000 ppm desde mediados de Abril.

Lo anteriormente expuesto nos permite decir que para obtener mejores polarizaciones, IEA y VTIR, la concentración de N(NO<sub>3</sub>) en materia seca sobre jugo de peciolo debe estar alrededor o ser inferior a 2000 ppm de N(NO<sub>3</sub>) al menos 3 semanas antes de recolección, estando con valores de 4000 ppm o inferiores al menos 5 semanas antes de dicha recolección.

Gráfico 20. Evolución de la concentración N (NO<sub>3</sub>) en jugo de peciolo sobre dos grupos realizados con las 10 polarizaciones más altas y más bajas de determinaciones realizadas en los tres últimos años en recolecciones de Julio

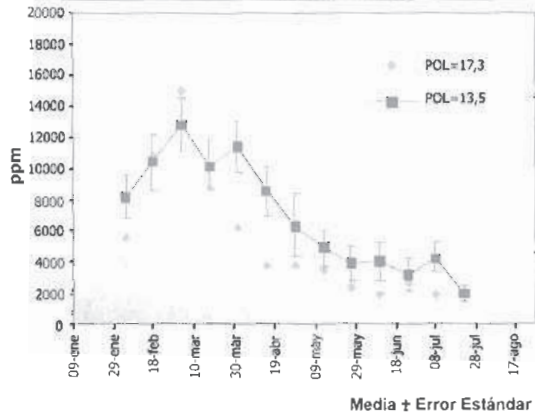
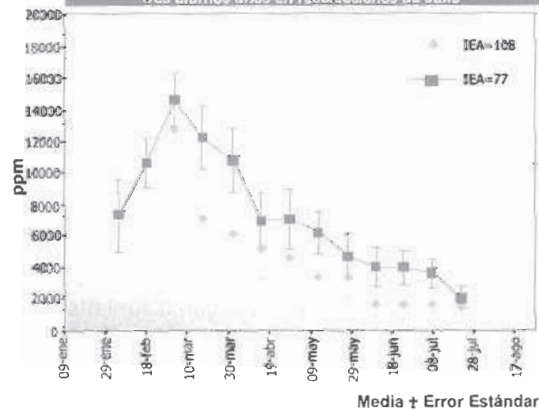
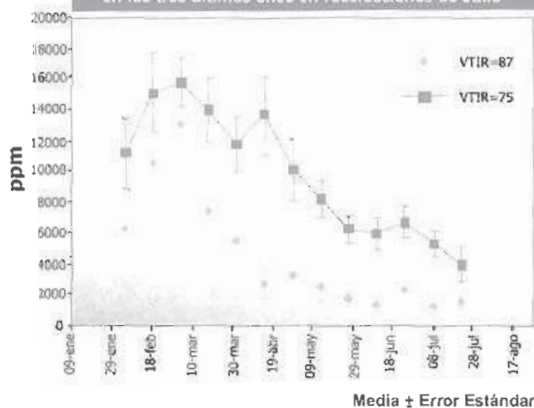


Gráfico 21. Evolución de la concentración N (NO<sub>3</sub>) en jugo de peciolo sobre dos grupos realizados con los 10 valores de IEA más altos y más bajos de determinaciones realizadas en los tres últimos años en recolecciones de Julio



## Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

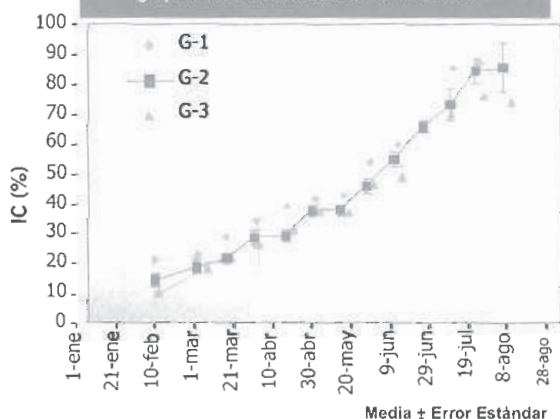
Gráfico 22. Evolución de la concentración N (NO<sub>3</sub>) en jugo de peciolo sobre dos grupos realizados con los 10 valores de VTIR más altos y más bajos de determinaciones realizadas en los tres últimos años en recolecciones de Julio



## DESARROLLO DE LA RAÍZ

El desarrollo de la raíz suele estar ligado al desarrollo foliar, especialmente durante la fase de desarrollo vegetativo. Ahora bien, esta relación varía con dependencia de la cantidad de nitrógeno disponible para el cultivo. En el gráfico 23 se muestra la evolución del Índice de Cosecha (IC) de los diferentes grupos realizados. El IC viene definido como la relación porcentual entre el elemento cosechable (en nuestro caso la raíz) y el total de biomasa producida. Como se observa durante casi todo el ciclo estudiado el IC del grupo 1 es superior al resto, igualándose al final con el grupo 2. Los grupos 2 y 3 mantienen similar IC durante el periodo vegetativo (hasta Mayo), mostrando mayor crecimiento el grupo 2 desde esta fecha. Al final del periodo, el IC de los 3 grupos muestra una tendencia a la estabilización, con valores diferentes según el grupo, 74% para G-3 y alrededor de 85% para los otros dos grupos.

Gráfico 23. Evolución del índice de Cosecha de los tres grupos realizados. Media ± Error Estándar



Esta diferencia entre los grupos es posiblemente debida a que una mayor disponibilidad de nitrógeno promueve un mantenimiento del desarrollo vegetativo con un mayor desarrollo foliar y un mayor reparto de asimilados hacia la parte aérea (Scott, R.K. y Jaggard, K.W. 1993; Gastal, F. y Lemaire, G., 1997).

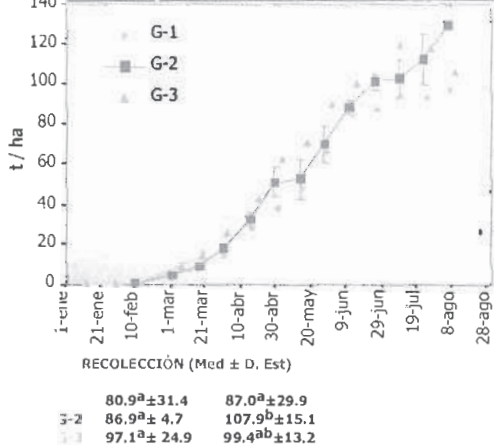
Aunque el balance entre parte aérea y raíz sea menor debido a una mayor disponibilidad de nitrógeno por parte del cultivo, el nitrógeno promueve el crecimiento general de la planta, y es por esto por lo que la producción de raíz (gráfico 24) del G-3 es superior durante casi todo el ciclo, la producción del G-1 es inferior y la de G-2 posea valores intermedios. El grupo 1 presenta su máximo de producción a partir de principios de Junio, no aumentando sustancialmente dicha producción a partir de aquí. El grupo 3 presenta este máximo e incluso decremента desde finales de Junio, mientras que el grupo 2 mantiene un crecimiento continuado hasta el final del ciclo estudiado.

## Cap V.Efecto del nitrógeno

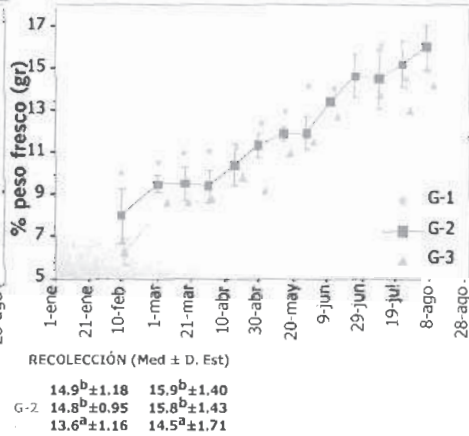
Los resultados obtenidos en recolección corresponden a lo observado en la evolución, con mayores producciones de G-3 en Junio (aunque sin diferencia significativa) y con mayores producciones de G-2 en Julio (esta vez con diferencia significativa frente a G-1).

Durante la fase vegetativa, la polarización (gráfico 25) evoluciona de forma inversa a la disponibilidad de nitrógeno, de tal forma que las mayores polarizaciones las presenta G-1 y las menores las presenta G-3. Ya en Junio, las polarizaciones de G-1 y G-2 se hacen similares, siendo inferiores las de G-3. Esto mismo ocurre en las recolecciones de Junio y Julio donde el grupo 3 posee algo más de 1° Pol (% de sacarosa sobre peso fresco de la raíz) de diferencia.

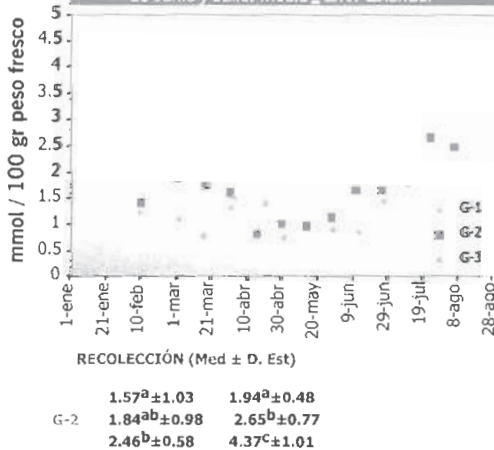
**Gráfico 24. Evolución de la producción de raíz a lo largo del ciclo de los tres grupos realizados y resultados de recolección de Junio y Julio. Media  $\pm$  Error Estándar**



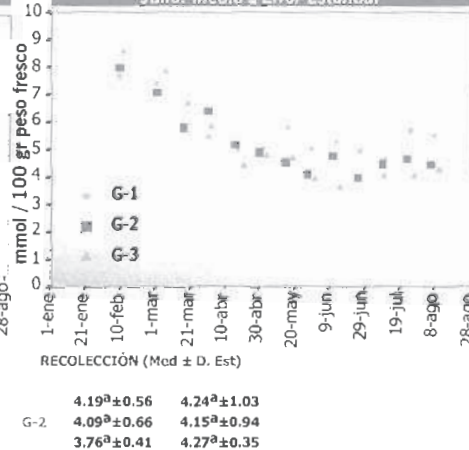
**Gráfico 25. Evolución de la polarización a lo largo del ciclo de los tres grupos realizados y resultados de recolección de Junio y Julio. Media  $\pm$  Error Estándar**



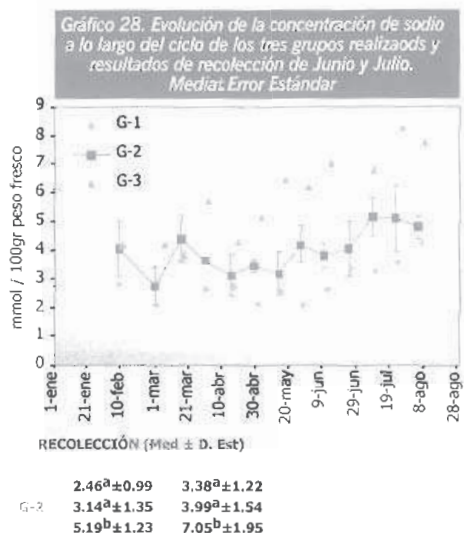
**Gráfico 26. Evolución de la concentración de nitrógeno  $\alpha$ -amino a lo largo del ciclo de los tres grupos realizados y resultados de recolección de Junio y Julio. Media  $\pm$  Error Estándar**



**Gráfico 27. Evolución de la concentración de potasio a lo largo del ciclo de los tres grupos realizados y resultados de recolección de Junio y Julio. Media  $\pm$  Error Estándar**



## Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal



Uno de los elementos que más es afectado por la nutrición nitrogenada en la composición de la raíz es el nitrógeno  $\alpha$ -amino (gráfico 26). Como se observa en el gráfico 26 existe una clara diferencia entre los 3 tratamientos, tanto al comienzo del estudio (donde G-3 y G-2 son superiores a G-1), como al final, donde G-3 evoluciona con valores muy superiores al resto, y G-2 y G-1 muestran clara diferencia entre sí. Los resultados en recolección vuelven a confirmar este comportamiento, con clara diferencia significativa entre los grupos.

Respecto al potasio (gráfico 27), parece existir cierta diferencia durante las primeras fases de desarrollo del G-3

que presenta valores superiores. A partir de Mayo, existe una tendencia inversa a la cantidad máxima de nitrógeno encontrada en el cultivo, con valores superiores en G-1 e inferiores en G-3. En recolección no existen diferencias significativas entre tratamientos, pero las medias parecen mostrar esta tendencia, especialmente en la recolección de Junio.

El sodio (gráfico 28) muestra un comportamiento similar al nitrógeno  $\alpha$ -amino, es decir presenta mayor valor a mayor disponibilidad de nitrógeno por parte de la planta. En recolección, y a diferencia del nitrógeno  $\alpha$ -amino, no existen diferencias significativas entre los grupos 1 y 2, aunque las medias si muestran esa tendencia.

La evolución de los azúcares reductores (gráfico 29) del grupo 1 y 2 es similar a lo largo de todo el ciclo estudiado, mientras que el G-3 muestra valores superiores desde Mayo hasta Julio. En recolección, las medias muestran esta tendencia aunque sin diferencias significativas.

Los parámetros de raíz anteriormente estudiados (Producción, polarización y elementos melacígenos: nitrógeno  $\alpha$ -amino, potasio, sodio y azúcares reductores) representan aquellos parámetros con significación económica, tanto para el agricultor como para la industria azucarera. Estos parámetros económicos se pueden reunir en dos: IEA y VTIR. Los resultados de estos dos parámetros se muestran en la Tabla 3.

Los mejores resultados económicos para el agricultor los presenta el grupo 2 tanto en la recolección de Junio como en la realizada en Julio, mostrando diferencia significativa con G-3 en Junio y con los dos grupos en Julio. Aunque los valores de IEA de los grupos 1 y 3 son inferiores al de G-2, el motivo es posiblemente diferente. En el caso del grupo 1 parece haber existido una cierta carencia de nitrógeno lo que no le permitió un desarrollo vegetativo óptimo, y por lo que ha visto mermada

Cap V. Efecto del nitrógeno

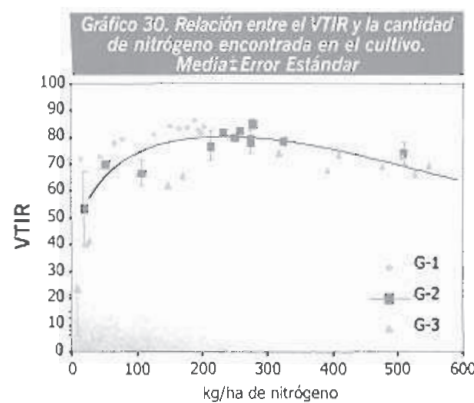
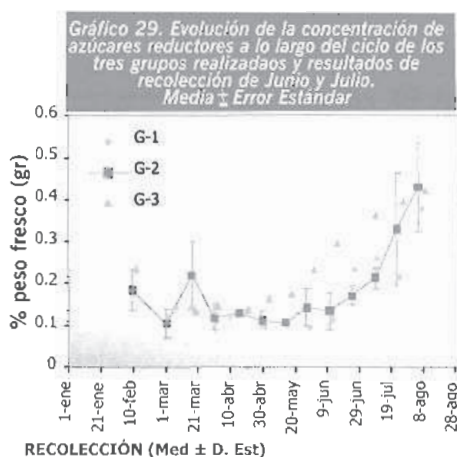
Tabla 3				
	IEA		VTIR	
	JUNIO	JULIO	JUNIO	JULIO
G-1	66.6 <sup>b</sup> ±27.6	78.1 <sup>a</sup> ±30.8	84.7 <sup>b</sup> ±3.1	81.4 <sup>a</sup> ±3.6
G-2	74.0 <sup>b</sup> ±19.6	96.0 <sup>b</sup> ±24.4	83.2 <sup>b</sup> ±4.2	79.9 <sup>b</sup> ±4.0
G-3	46.9 <sup>a</sup> ±19.2	68.4 <sup>a</sup> ±24.0	79.5 <sup>a</sup> ±3.7	71.9 <sup>a</sup> ±6.6

TEST LSD con P<0,05. Diferentes letras representan diferencias significativas.

su producción de raíz. En el caso del grupo 3 es el exceso de nitrógeno lo que ha mantenido demasiado tiempo este desarrollo vegetativo, no permitiendo la acumulación de sacarosa en la raíz.

La calidad industrial (VTIR) se ve claramente afectada por un exceso de nitrógeno disponible (G-3) debido sobre todo a la acumulación de nitrógeno α-amino y sodio y a la menor polarización presentada.

En el gráfico 30 se puede observar la correspondencia entre el VTIR y el nitrógeno incorporado. Inicialmente el valor del VTIR se incrementa debido principalmente al incremento de la polarización. Es por ello que existen grandes diferencias entre los 3 grupos. Los mayores niveles de VTIR se alcanzan con incorporaciones entre 200 y 250 kg N/ha (estando el óptimo en 220 kg N/ha), existiendo una caída de este parámetro a medida que la planta incorpora más nitrógeno.



## **CONCLUSIONES**

En nuestras condiciones experimentales no existe correspondencia entre el nitrógeno aplicado y el encontrado en el cultivo.

El nitrógeno estimula el desarrollo vegetativo, con mayor producción foliar, mayor tamaño de las hojas, mayor proporción de peciolo y menor índice de cosecha.

Una aplicación inadecuada de nitrógeno (tanto por exceso como por defecto) reduce los parámetros económicos tanto por la reducción de IEA como por la reducción de la capacidad de extracción de la sacarosa (este último caso se produce por una aplicación excesiva).

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AIMCRA (2002).** Memoria de los trabajos efectuados en la campaña 2001/02. Siembra otoño 2000, zona sur. AIMCRA. Valladolid

**AIMCRA (2003).** Memoria de los trabajos efectuados en la campaña 2002/03. Siembra otoño 2001, zona sur. AIMCRA. Valladolid

**AIMCRA (2004).** Memoria de los trabajos efectuados en la campaña 2003/04. Siembra otoño 2002, zona sur. AIMCRA. Valladolid

**Analogides, DA (1988).** Time dependent interrelationships of plant nitrogen status and crop performance with reference to sugar beet. D.S. Jenkinson, and K.A. Smith (eds) Nitrogen efficiency in agricultural soils. Elsevier Applied Science. London and New York: 145-157

**Armstrong, M.J., Mildord, G.F.J., Pocock, T.O., Last, P.J. y Day, W. (1986).** The dynamics of nitrogen uptake and its remobilization during the growth of sugar beet. J. agric. Sci., Camb., 107: 145-154

**Draycott, A.P. (1993).** Nutrition. D.A. Cooke y R.K. Scott (ed). The sugar beet crop. Science into practice. Chapman & Hall, London, UK

**Draycott, A.P. y Christenson, D.R. (2003).** Nutrients for sugar production. Soil-Plant Relationships. CAB International. Cambridge, USA.

**Gastal, F. y Lemaire, G. (1997).** Nitrogen Nutrition and Growth of Cultivated Swards. JF Morot-Gaudry (ed). Nitrogen assimilation by plants. Physiological, biochemical and molecular aspects. Science Publishers, Inc. Plymouth, UK

**Lopez Rita, J y Lopez Melida, J (1990).** El diagnóstico de suelos y plantas. 4ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.



**Marschner, H. (1995).** Mineral nutrition of higher plants. Segunda Edición. Harcourt Brace & Company, Publishers. Academic Press. Cambridge. UK

**Shock, C.C., Seddigh, M., Saunders, L.D., Stieber, T.D. y Miller, J.G. (2000).** Sugar beet nitrogen uptake and performance following heavily fertilized onion. *Agron. J.*, 92: 10-15

**Scott, R.K. y Jaggard, K.W.. (1993).** Crop physiology and agronomy. D.A. Cooke y R.K. Scott (ed). The sugar beet crop. Science into practice. Chapman & Hall, London, UK