

RESPUESTA VARIETAL EN REMOLACHA AZUCARERA AL ESTRÉS HÍDRICO

Rodrigo Morillo-Velarde², Luis Gordo², Juan José Martínez², Cristina Echevarría¹ y Sofía García-Mauriño¹

¹Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, Avenida Reina Mercedes nº 6, 41012 Sevilla, España.

²AIMCRA (Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera), Delegación Sur, C/Metalurgia nº 36, 41080 Sevilla, España.

INTRODUCCIÓN

La posibilidad de paliar los efectos del estrés hídrico se ha abordado recientemente mediante el uso de variedades tolerantes. En diferentes condiciones se ha señalado una interacción positiva entre variedades de remolacha azucarera y riego, tanto en condiciones de bajo déficit hídrico (como Van der Beek (1993) en Holanda y Ober *et al* (2003) en el Reino Unido), como en condiciones de alto déficit hídrico (Abdollahian *et al* (2000) en Irán).

En Andalucía se ha comprobado una diferente sensibilidad a la sequía entre variedades comerciales de remolacha, medida esta por el índice S (AIMCRA 1992). Este índice mide la tolerancia a la sequía en forma de reducción de rendimientos causados estos por ambientes/condiciones desfavorables. Se define S como:

$S = (1 - Y_s/Y_r) / (1 - Y_{ms}/Y_{mr})$ donde Y_s es el rendimiento de la variedad en condiciones desfavorables (secano); Y_r es el rendimiento en riego; Y_{ms} es el rendimiento medio en secano y Y_{mr} es el rendimiento medio en regadío.

Un valor bajo de S indica una menor reducción en el rendimiento ante una falta de agua, es decir más tolerancia a sequía. Se han encontrado valores de S estadísticamente diferentes en variedades comerciales, desde 0.42 a 1.39.

En este trabajo se ha evaluado el comportamiento de dos variedades comerciales de remolacha azucarera, Claudia y Ramona, testigos de AIMCRA, bajo dos condiciones de cultivo diferentes, riego según balance de agua y sin riego (tratamiento de déficit severo) con el objetivo de analizar si existen diferencias entre variedades, en qué momento se produce y qué variables de desarrollo, producción o calidad industrial se ven afectadas. Este estudio se ha realizado dentro del proyecto de investigación FEDER 1FD97-0893-C3-01.

Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

METODOLOGÍA

Se han realizado cuatro ensayos, cuya localización y principales referencias de los tratamientos aplicados se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Localización de los ensayos y tratamientos.

Ensayo	Finca y localidad	Riego + lluvia(mm)	Número de riegos	Solo Lluvia (mm)
Caridad 2001	La Caridad Alcalá (Se)	868	12	367
Reunión 2002	La reunión Guillena(Se)	696	12	242
Caridad 2002	La Caridad Alcalá (Se)	697	12	215
El Cerro 2003	El Cerro Carmona(Se)	773	15	280

El tratamiento de riego según balance (RAD) ha consistido en la aplicación semanal de las necesidades hídricas del cultivo (ETc) calculadas según el método de la FAO, donde la ETo se ha estimado por el método del tanque evaporimétrico de clase A. El tratamiento de riego deficitario, déficit severo (DH) ha recibido solamente la lluvia. Los valores medidos (enero-julio) se indican en la tabla 1.

Diseño estadístico: Bloques completos al azar (RCBD) con cuatro repeticiones. 16 Muestras quincenales desde primera quincena de febrero hasta la primera de agosto. Los dos muestreos de julio se han considerado como recolección habitual (parcela 6 m²). Se han analizado en cada muestreo 15 variables de desarrollo, producción y calidad según protocolo AIMCRA.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

- La comparación de medias de tratamientos en recolección (tabla 2) se ha realizado por el test de la *t* de Student para muestras pareadas al 5%. Las diferencias significativas se indican con un asterisco (*). El programa estadístico empleado ha sido S.P.S.S (v.8.0).

- El reagrupamiento de ensayos se ha analizado por un ANOVA de dos vías, siendo los factores fijos: localidad (4) y tratamientos (4), los muestreos se han usado como repeticiones. La homogeneidad de varianzas, requisito para el reagrupamiento en este análisis, se ha comprobado por el test de Levene a $p=0.05$. Para todas las variables ha resultado no significativo, por lo que los cuatro ensayos se han podido reagrupar. En el reagrupamiento, comparando las medias de las distintas variables, el efecto de la localidad ha sido no significativo para todas las variables según el test F a $p=0.05$.

- La comparación de tratamientos y muestreos se ha realizado por un ANOVA

Cap X. Respuesta varietal

de dos vías, siendo los factores fijos: tratamientos (4, Claudia RAD, Claudia DH, Ramona RAD y Ramona DH) y los muestreos (16) y las repeticiones las cuatro localidades. La homogeneidad de varianzas se ha verificado igualmente por el test de Levene. En los casos en que la diferencia entre tratamientos ha sido significativa, se han comparado las medias por el test de Tukey HSD a $p=0.05$. Para todas las variables estudiadas el muestreo ha sido significativo. Los resultados se muestran variable a variable.

RESULTADOS

En estas condiciones experimentales, los rendimientos medios comparativos se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Producción y calidad media de los ensayos. RAD=Riego a la demanda, DH=Déficit Hídrico

Ensayo	Trat	Peso	Pol	Az/ha	N-min	K	Na	AZred	VTIR
Caridad 2001	DH	65.7	16.3	10.7	2.3*	4.6	5.1*	0.35*	80.6
	RAD	84.1*	17.4*	14.6*	1.9	4.3	3.4	0.19	83.5*
Reunión 2002	DH	68.8	20.2*	13.4	2.4*	4.6	2.4	0.19*	86.5
	RAD	103.8*	17.0	17.6*	1.9	3.8	2.8	0.14	86.2
Caridad 2002	DH	51.5	18.3*	9.4	5.3*	4.8	8.0	0.44	74.8
	RAD	99.2*	15.0	14.9*	4.4	4.3	7.1	0.42	72.8
Cerro 2003	DH	55.6	18.3*	10.2	2.1	5.0	3.1	0.45*	82.8
	RAD	107.7*	14.8	15.9*	2.3	5.2	4.1*	0.34	80.3

(*) = diferencias significativas según t a $p=0.05$

Pol = Polarización (°p)

N-min = Nitrógeno alfa-amino (mmol/100 g R)

Na = Sodio (mmol /100 g R)

VTIR = Valor Tecnológico Industrial de la remolacha (%)

Peso = Producción de Raíz (t/ha)

Az/ha = Rendimiento en azúcar /ha

K = Potasio (mmol/ 100 g R)

Azred =Azúcares reductores (g/100 g R)

Los resultados de recolección coinciden con lo esperado. Un estrés hídrico severo se traduce en una pérdida significativa de producción de raíz y de rendimiento en azúcar, un aumento de la polarización (causada posiblemente por la deshidratación de la raíz) y pérdida significativa de calidad, con un aumento claro de los elementos melacígenos (contenidos en sodio, potasio y nitrógeno alfa-amino).

ANÁLISIS DE VARIABLES:

- **Porcentaje de Cobertura**, las diferencias entre tratamientos con y sin riego son altamente significativas ($p<0.001$). No existen diferencias significativas entre variedades. Los valores medios de los muestreos y de recolección se indican en la tabla 3. El máximo porcentaje de cobertura alcanzado para las dos variedades en riego está en el 99.5% a primeros de junio. En los tratamientos sin riego, el máximo alcanzado está en el 88% a primeros de abril (ver Fig. 1). A partir de entonces decrece y más que con los de riego.

Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

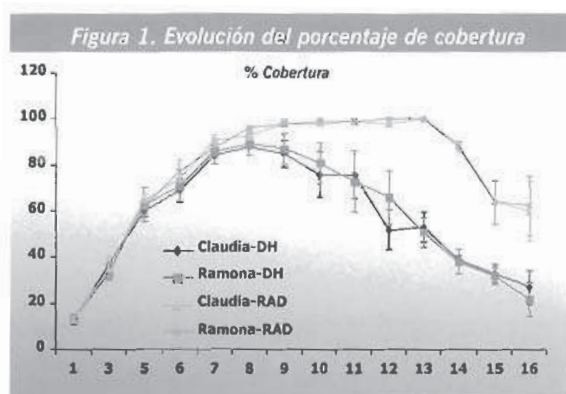


Tabla 3. Porcentaje de cobertura

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	57.63 b	38.8 b
Claudia DH	57.79 b	38.9 b
Ramona RAD	77.20 a	80.4 a
Claudia RAD	76.69 a	82.6 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Número de Hojas**, la diferencia entre tratamientos con y sin riego respecto al número de hojas es significativa ($p<0.05$). Las dos variedades con riego alcanzan un máximo de 32.3 hojas/planta al final de mayo en tanto sin riego sólo llegan a 27.2 hojas/planta. Los valores medios de todos los muestreos y en recolección se muestran en la Tabla 4. Ramona tiene un número menor de hojas.

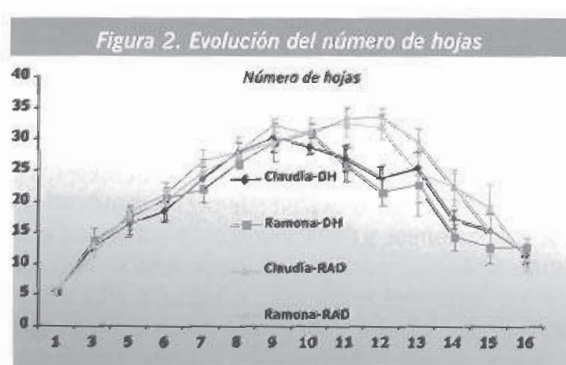


Tabla 4. Número de hojas

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	19.6 c	14.0 d
Claudia DH	20.3 bc	17.7 c
Ramona RAD	22.6 a	20.6 b
Claudia RAD	22.1 ab	22.9 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Índice de Área Foliar (LAI)**, las diferencias entre los cuatro tratamientos son muy significativas ($p=0.007$). Las variedades responden de forma diferente a la falta de agua. En relación con los valores máximos que se alcanzan, Claudia con riego alcanza un LAI de 6.6 en tanto sin riego alcanza un LAI de 5.6, ambos valores al final de mayo. Ramona con riego alcanza 6.1 y sin riego 4.1, al final de abril. En recolección, ver Tabla 5, el LAI disminuye aún con riego y se mantienen las diferencias. Ramona sin riego presenta el menor LAI.

Figura 3. Evolución del Índice de Área Foliar (LAI)

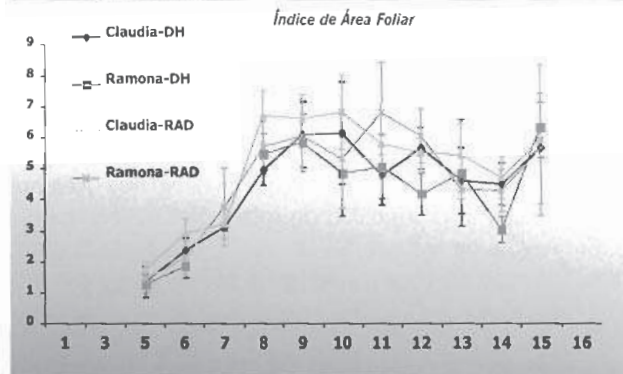


Tabla 5. Índice del Área Foliar (LAI)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	3.9 b	3.6 b
Claudia DH	4.1 ab	4.9 a
Ramona RAD	4.7 ab	4.6 a
Claudia RAD	5.1 a	4.5 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

Figura 4. Evolución de la producción de raíz (T/ha)

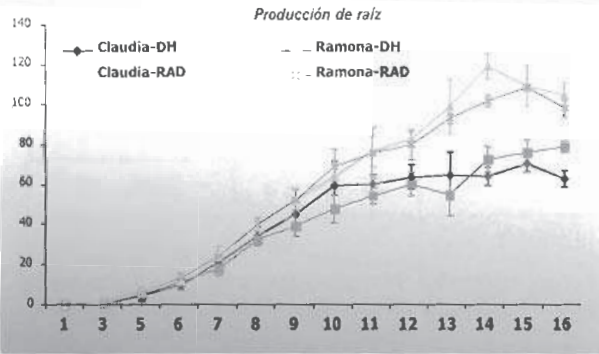


Tabla 6. Producción de Raíz (t/ha)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	40.6 a	76.6 b
Claudia DH	41.1 a	54.9 b
Ramona RAD	56.4 a	81.5 a
Claudia RAD	57.5 a	96.9 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Producción de Raíz (t/ha)**, las diferencias entre riego y no riego son significativas a partir de mayo ($p < 0.01$, ver Fig. 4) y en la recolección. No hay diferencias significativas entre variedades. Con riego la producción de raíz (parte cosechable) aumenta hasta primeros de julio. Sin riego a partir de mitad de mayo, el peso de la raíz permanece más o menos constante. Los rendimientos medios y los obtenidos en recolección se indican en la Tabla 6.

Figura 5. Evolución de la producción de hoja (T/ha)

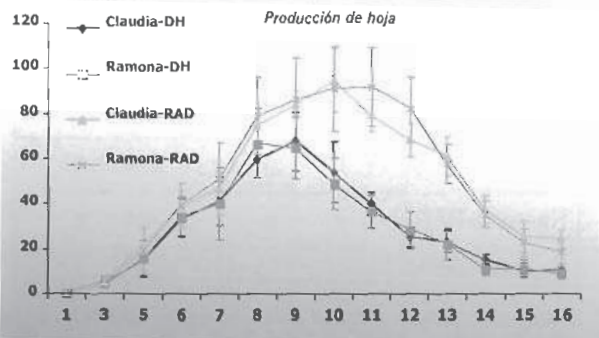


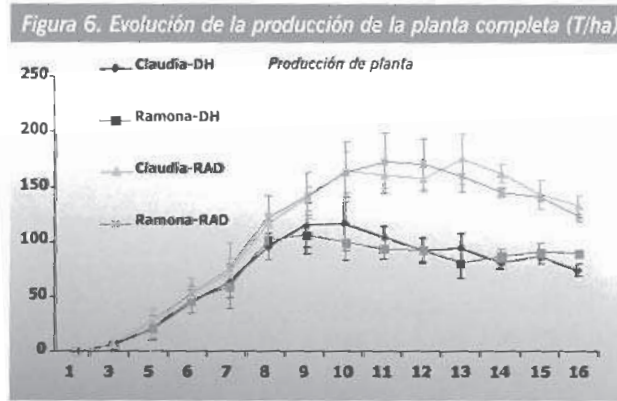
Tabla 7. Producción de Hoja (t/ha)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	29.03 b	12.5 b
Claudia DH	29.19 b	14.1 b
Ramona RAD	49.78 a	31.6 a
Claudia RAD	48.03 a	35.1 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Producción de Hoja (t/ha)**, las diferencias entre riego y no riego son significativas, aunque hasta mitad de abril los valores son similares (ver Fig. 5). No hay diferencias entre variedades. En la recolección las diferencias entre riego y no riego se aproximan. Los valores medios y en recolección se muestran en la Tabla 7.

• **Producción de la Planta (t/ha)**, el peso de la planta completa, suma de las dos variables anteriores, es diferente estadísticamente entre los tratamientos con y sin riego. No existen diferencias entre variedades. Los resultados de los muestreos se muestran gráficamente en la Fig. 6 y en la Tabla 8.



Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

Tabla 8. Producción Total de la planta (t/ha)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	70.2 b	90.3 b
Claudia DH	71.4 b	86.8 b
Ramona RAD	108.4 a	142.6 a
Claudia RAD	108.5 a	153.9 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Nitrógeno en la Planta (kg/ha)**, no existen diferencias significativas en relación con la cantidad de nitrógeno en la planta respecto a las variedades o el riego ($p=0.074$). Sólo Ramona en déficit tiene menos nitrógeno. La evolución en cada tratamiento se indica en la Fig. 7. Los valores medios de los muestreos y los obtenidos en recolección se muestran en la Tabla 9. Ramona sin riego tiene menos nitrógeno.

Figura 7. Evolución del contenido total de N en la planta completa (kg/ha)

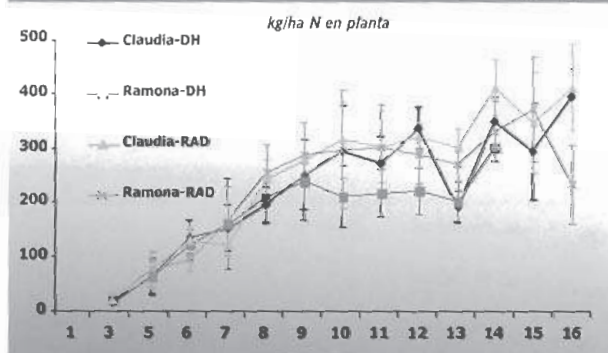


Tabla 9. Cantidad de Nitrógeno en la planta

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	181.1 b	303.3 b
Claudia DH	202.7 a	350.3 a
Ramona RAD	232.2 a	342.4 a
Claudia RAD	234.2 a	337.7 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **NO₃ en el Peciolo (sobre M.Seca en ppm)**, la evolución del nitrógeno nítrico en el peciolo (sobre materia seca) es la conocida. Todos los tratamientos responden de manera similar. Las diferencias no son significativas ($p=0.553$). Gráficamente se indican en la Fig. 8 y los valores medios y finales, en recolección en la Tabla 10.

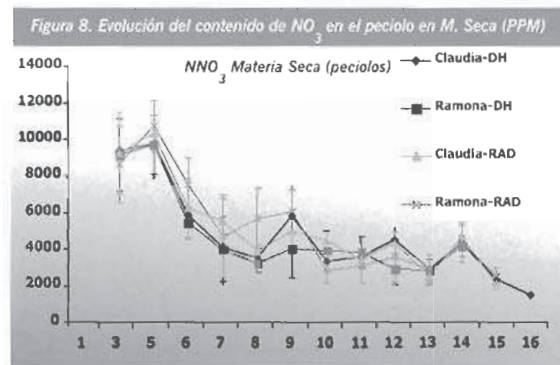


Tabla 10. Nitrógeno NO₃ en el Peciolo (ppm)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	5085.40 a	3765.00 a
Claudia DH	4822.48 a	3607.50 a
Ramona RAD	5519.18 a	4088.75 a
Claudia RAD	5145.51 a	3743.70 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• Brix, hasta final de marzo los valores de los cuatro tratamientos son similares (ver Fig. 9). A partir de ahí, las dos variedades sin riego muestran valores más altos de brix que las dos variedades con riego. Las diferencias entre ambos grupos son estadísticamente significativas ($p<0.001$). No hay diferencias entre variedades. Los valores medios y de recolección se indican en la Tabla 11.

Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

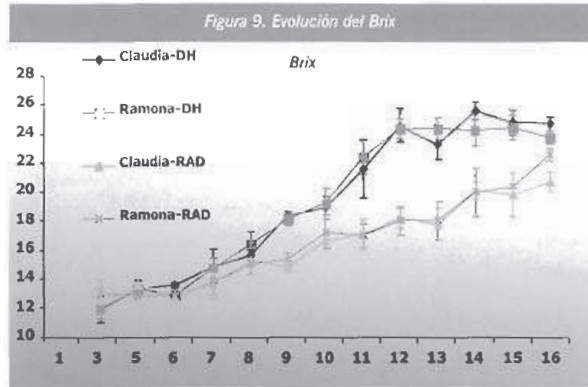


Tabla 11. Brix

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	18.99 a	23.8 a
Claudia DH	19.14 a	24.8 a
Ramona RAD	16.39 b	21.1 b
Claudia RAD	16.29 b	19.9 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Polarización**, los contenidos en sacarosa, la polarización, son diferentes estadísticamente entre las variedades con riego y sin riego ($p < 0.01$) aunque hasta marzo son aproximados (ver Fig. 10), esto hace que las diferencias entre medias no sean significativas. Las dos variedades sin riego tienen una polarización superior en recolección, sin diferencias entre variedades. En la Tabla 12 se indican los valores medios y los obtenidos en recolección.

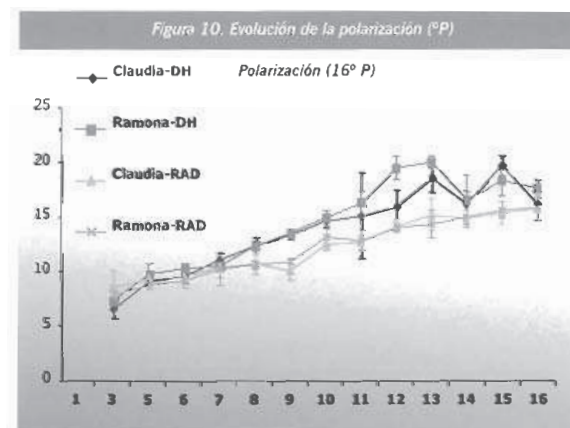


Tabla 12. Polarización (%p)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	14.02 a	17.12 a
Claudia DH	13.63 a	16.70 a
Ramona RAD	12.07 a	15.80 b
Claudia RAD	12.21 a	15.41 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Rendimiento en Azúcar/ha**, el producto de producción de raíz por polarización, el rendimiento en azúcar (teórico), es muy similar por tratamiento hasta primeros de abril. Luego empiezan las diferencias. Las dos variedades con riego tienen un rendimiento superior (ver Fig.11), estadísticamente significativo. No hay diferencias significativas entre variedades en la media de los muestreos y sí en recolección. Claudia es más productiva que Ramona. Los valores medios y en recolección se muestran en la Tabla 13.

Figura 11. Evolución del rendimiento en azúcar/ha

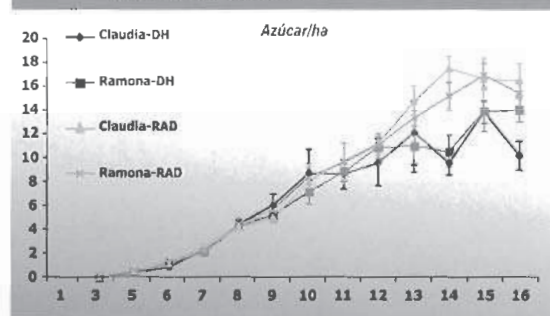


Tabla 13. Rendimiento en Azúcar/ha

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	6.64 a	12.7 b
Claudia DH	6.85 a	11.7 b
Ramona RAD	8.25 a	16.0 a
Claudia RAD	8.46 a	17.2 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

• **Nitrógeno Alfa Amino**, pese que hasta el mes de abril no existen diferencias claras entre tratamientos, a partir de ahí ambas variedades sin riego presentan unos contenidos más altos de nitrógeno alfa-amino (ver Fig. 12). Los valores medios, Tabla 14, muestran diferencias no significativas en Claudia y significativas en Ramona. Estas variedades con riego tienen los valores medios más bajos. En las últimas muestras Claudia aumenta los contenidos (lo que es usual) y Ramona los disminuye.

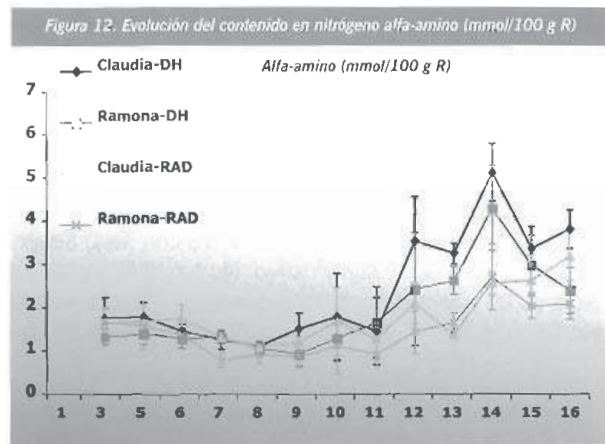


Tabla 14. Contenidos en Nitrógeno alfa-amino (mmol/100 g R)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	1.87 ab	3.4 a
Claudia DH	2.15 a	3.8 a
Ramona RAD	1.52 b	2.6 b
Claudia RAD	1.71 ab	2.1 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Potasio**, el contenido en potasio de la raíz disminuye conforme avanza el cultivo sin que existan diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.506$). La evolución se muestra en la Fig. 13. Los resultados medios y en recolección se muestran en la Tabla 15. En recolección las variedades sin riego tienen más potasio pero las diferencias no son significativas.

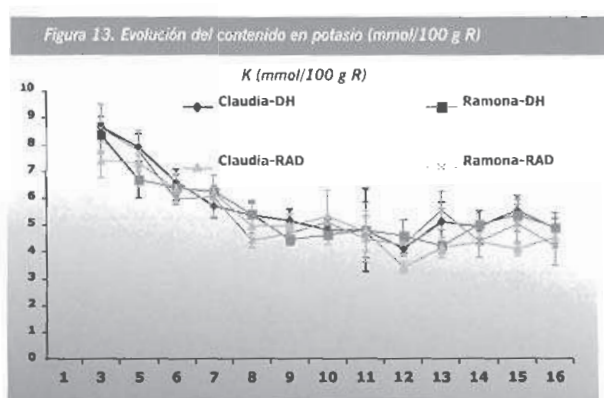
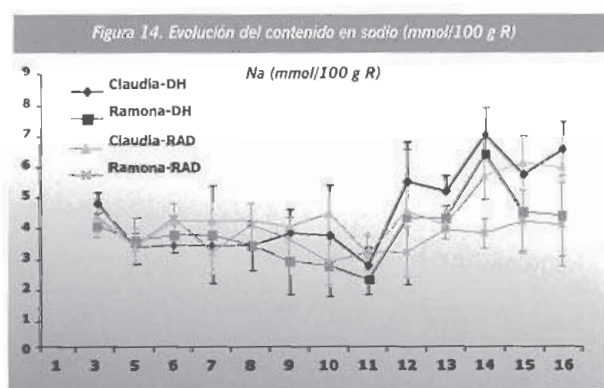


Tabla 15. Contenido en Potasio (mmol/100 g R)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	5.61 a	5.1 a
Claudia DH	5.78 a	5.2 a
Ramona RAD	5.50 a	4.5 a
Claudia RAD	5.41 a	4.1 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Sodio**, el contenido en sodio de la raíz tiene una evolución poco constante, sin ser significativas las diferencias entre tratamientos ($p= 0.308$, ver Fig. 14). En recolección la variedad Claudia tiene unos niveles más elevados sin llegar a ser significativos (ver Tabla 16). El nivel de sodio no parece depender del riego y sí más de la variedad. Ramona con riego tiene los valores más bajos de sodio en recolección.



Aspectos fisiológicos de la remolacha azucarera de siembra otoñal

Tabla 16. Contenido en Sodio (mmol/100 g R)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	3.90 a	5.2 a
Claudia DH	4.28 a	5.7 b
Ramona RAD	3.76 a	3.4 a
Claudia RAD	4.28 a	5.3 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

• **Azúcares Reductores**, los azúcares reductores, principales causantes de la calidad de la remolacha en Andalucía, son más o menos constantes hasta abril. A partir de ahí Claudia eleva los contenidos más que Ramona (ver Fig.15). Las diferencias entre tratamientos son significativas ($p<0.001$). Las diferencias entre variedades son estadísticamente diferentes, tanto en valores medios como en recolección (ver Tabla 17). En los últimos muestreos la variedad Ramona baja sensiblemente el contenido en azúcares reductores.

Figura 15. Evolución del contenido en azúcares reductores (g/100 g R)

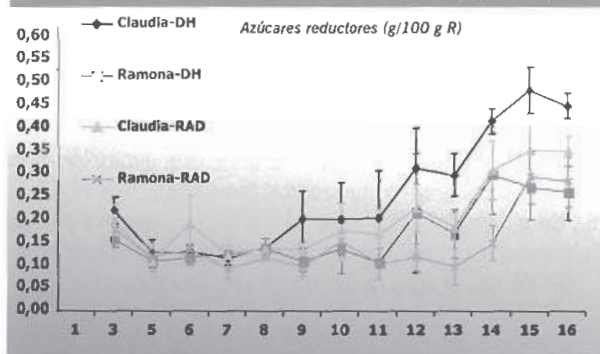


Tabla 17. Contenido en Azúcares reductores (g/100 g R)

Tratamiento	Media (%)	Recolección (%)
Ramona DH	0.18 b	0.28 b
Claudia DH	0.25 a	0.47 a
Ramona RAD	0.15 b	0.19 c
Claudia RAD	0.19 ab	0.31 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test Tukey HSD a $p=0.05$.

CONCLUSIONES

En las condiciones de los cuatro ensayos realizados, la falta de riego ha supuesto un déficit hídrico de 480 mm (equivalente a 13 riegos), lo que se ha traducido en una pérdida de 38.5 t/ha de raíz y ganancia de 2 grados polarimétricos, perdiéndose 5 t/ha de azúcar. La calidad se ve gravemente afectada por cuanto los contenidos en sodio aumentan un 7%, el nitrógeno alfa-amino un 13% y especialmente los azúcares reductores un 22 %. En estas condiciones:

- El estrés hídrico severo afecta significativamente al porcentaje de cobertura, número de hojas, producción de raíz, producción de hojas, Brix, polarización, rendimiento en azúcar, nitrógeno alfa-amino en recolección y especialmente a los azúcares reductores.

- El estrés hídrico severo no ha afectado al contenido en nitrógeno nítrico en el peciolo, contenido en potasio y sodio.

- No se han encontrado diferencias entre las variedades Claudia y Ramona en relación con el porcentaje de cobertura, producción de raíz, producción de hojas, NO₃ en el peciolo, Brix, polarización, rendimiento en azúcar, nitrógeno alfa-amino, contenido en potasio.

- El estrés hídrico afecta de forma diferente a las variedades en el número de hojas, Índice de área foliar (LAI), cantidad total de nitrógeno en la planta (la variedad Ramona tiene significativamente menos nitrógeno sin riego), contenido en sodio en la raíz (la variedad Claudia sin riego tiene un nivel más elevado) y a los azúcares reductores (la variedad Ramona presenta unos contenidos mas bajos y aumentan menos si falta el agua).

La variedades pueden ser una buena medida para mejorar la calidad, incluso en condiciones de alto estrés hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

Abdollahian Noghabi.M.(2000)."Study evaluation about water stress in Iran". IIRB info nº 7: pp 5-7.

AIMCRA (1992). "Resultados de los trabajos realizados en la campaña 1992/1993". Edit. AIMCRA

Ober.E.S, Clark.C.J.A, Jaggard.K.W, Pidgeon.J.D.(2003). "Progress towards improving the drought tolerance of sugar beet". 1st joint ASSBT-IIRB Congress. S.Antonio, pp 181-188.

Van der Beek.M.A and Houtman.H.J.(1993)."Does interaction between varieties and drought stress exist?". Proceeding IIRB 56 Winter Congress, pp 151-169.