

Caña de azúcar: rendimientos de tallo y sacarino condicionados por la disponibilidad hídrica

*Ing. Agr. Carlos Espíndola
AER INTA Las Toscas*

La cuenca cañera santafesina comprende un área de 50.000 ha con aptitud y uso agrícola. Sólo un 10,6% de las mismas son cultivadas con caña de azúcar (Ministerio de la Producción Santa Fe, 2009). Una de las razones de este bajo porcentaje es la alta variabilidad interanual de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

Los productores de la región se caracterizan por ser agrícolas diversificados, es decir, además de producir caña de azúcar, producen algodón y soja, cultivos que tienen la particularidad de presentar sus periodos críticos hídricos (fase de floración del algodón y soja, y parte de la fase fenológica de activo o gran crecimiento de la caña de azúcar) durante el

mismo período (enero y febrero).

Es clara la posibilidad de que los productores utilicen el riego, durante los meses de enero y febrero, para la producción de otros cultivos. De darse esta situación se desconoce si el rendimiento del cultivo de caña de azúcar se vería afectado seriamente frente a un posible estrés hídrico durante los meses en cuestión.

La caña de azúcar necesita aproximadamente, a lo largo de su ciclo, unos 1.550 mm. En la fase fenológica de activo o gran crecimiento, que abarca desde noviembre a marzo, necesita aproximadamente 950 mm (COET, 2005).

De acuerdo con los datos promedios de precipitaciones de la Estación Meteorológica del Centro Operativo Experimental de Tacuarendí (serie de 34 años), durante los meses de enero y febrero se producen el 42,19% (271 mm) de las precipitaciones totales (642,3 mm) para el periodo de activo o gran crecimiento (noviembre a marzo). En tanto que la demanda hídrica del cultivo durante estos dos meses es de 430 mm, que significa un 45,26% del total requerido para dicho período. Esto significa que se produce un déficit hídrico del 37% (159 mm) durante los meses de enero y febrero.

Además, se debe tener en cuenta que en la zona cañera santafesina se produce casi todos los años una sequía en los meses de diciembre y enero, y aunque el total de lluvia caída en estos meses sea considerable, el balance hídrico es negativo debido a la elevada evapotranspiración.

Durante las distintas fases fenológicas, el efecto del estrés hídrico en el cultivo no es el mismo, suele variar en función de la etapa crítica, momento de ocurrencia, intensidad y duración. La caña de azúcar posee cuatro etapas fenológicas que incluyen la germinación-emergencia, macollaje-establecimiento del canopeo, activo o gran crecimiento y la maduración. Si un periodo de estrés hídrico se extiende durante la fase de activo o gran crecimiento, las consecuencias en el rendimiento pueden ser más severas comparado con etapas iniciales del cultivo (Inman-Bamber, 2004).

Soopramanien et al. (1992) determinaron que el estrés hídrico debe ser evitado después de la fase de macollaje porque afecta al número y a la altura de tallos molibles, lo que produce una disminución en los rendimientos del cultivo, mientras que Wiedenfeld y Enciso (2008), observaron que la caña de azúcar utiliza altos niveles de agua disponible, pero tiene la capacidad de compensar un breve periodo de estrés hídrico (hasta por debajo de los 18% de su nivel óptimo de agua disponible) sin afectar la producción de sus máximos rendimientos.

El presente trabajo tiene como objeto evaluar los rendimien-

tos y calidad sacarina de dos variedades de caña de azúcar, sometidas a variaciones en el contenido hídrico del suelo, durante el período crítico del cultivo (fase fenológica de activo o gran crecimiento).

...Si un período de estrés hídrico se extiende durante la fase de activo o gran crecimiento, las consecuencias en el rendimiento pueden ser más severas comparado con etapas iniciales del cultivo (Inman-Bamber, 2004).

EL ENSAYO

Para el ensayo se utilizaron dos variedades de caña de azúcar: LCP 85-384 y NA 85-1602. La primera de éstas se caracteriza por presentar tallos delgados, pero sus cepas se destacan por la gran producción de tallos macizos (sin médula hueca o corchosa). Se distinguen, además, por su gran capacidad de producción de macollos y buena precocidad madurativa. Su rendimiento cultural es de 87,20 t ha⁻¹, rendimiento fabril promedio de 11,2% y rendimiento promedio en azúcar de 9,76 t ha⁻¹ (resultados promedios de 12 cosechas efectuadas en seis localidades de la provincia de Tucumán). La variedad NA 85-1602, se caracteriza por presentar tallos gruesos y una precocidad madurativa intermedia. Su hábito de crecimiento es abierto, lo que dificulta su adaptación a la cosecha mecánica. Las determinaciones fueron realizadas en soca dos y soca tres en ambas variedades.

El lote: el módulo experimental, localizado en el campo experimental del Centro Operativo Experimental de Tacuarendí (COET), departamento General Obligado, Santa Fe, contó con una superficie de 8.528 m². El cultivo antecesor fue sorgo granífero. Para esta labor se utilizó 12 t de semillas de dos variedades de caña de azúcar: LCP 85-384 y NA 85-1602. El lote se dividió en dos parcelas apareadas, una para cada variedad.

El lote contempla 26 linios con cintas de riego por goteo, 13 linios para cada variedad. La disposición de las cintas se realizó por medio de un surcador adaptado.

La separación entre linios es de 1,60 m. Dentro de cada linio se encuentran apareados dos surcos. Por cada linio se colocó la cinta de riego, ubicada en medio de los surcos apareados. La manguera o cinta situada a 20 cm de la superficie de suelo y entre 5 a 8 cm por debajo de la caña semilla. Las mangueras empleadas para dicho módulo son de polietileno de color negro. Su diámetro es de 22,2 mm, presentan sus orificios de goteo separados a 50 cm y el caudal es de 0,6 l/h/goteo.

Una vez colocadas las mangueras se procedió a la instalación de los sistemas de cañerías: primaria y secundarias (a 60 cm de profundidad). La primera, conectada a la estación de bombeo, conformada por una bomba de 6000 l h⁻¹, válvulas reguladoras de presión, manómetro y filtro. Las segundas, conectadas a las cintas de riego por medio de tubos flexibles y a través de conectores específicos.

La dosis óptima de riego, para cada etapa fenológica del cultivo, fue determinada a través de balance hídrico. Para realizar este balance se determinó: precipitaciones, humedad de suelo y evapotranspiración diaria del cultivo a través de método Penman-Monteith (Allen et al, 1998). Se utilizaron los valores de Kc corregidos correspondiente para cada fase fenológica del cultivo.

Variables determinadas: Para cada tratamiento se dispuso de 4 parcelas, de aproximadamente 177,6 m². Dentro de las mismas, la unidad experimental o unidad muestral representa los 10 m lineales centrales del surco central de cada parcela. En ella se determinó:

- Contenido hídrico en el suelo a través del método gravimétrico, donde se definió 40 sitios de muestreo (correspondientes a cada parcela del ensayo) y por cada sitio se tomó muestras a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). Este tipo de análisis se realizó con una frecuencia semanal.
- Rendimiento (t ha⁻¹), donde se cosechó los tallos de los 10 m lineales centrales del surco central, se pesó y se llevó los resultados a valor hectárea.
- Rendimiento sacarino a cosecha (t ha⁻¹). Para su determinación, en laboratorio, se extrajo el jugo de los tallos mediante un trapiche eléctrico, se filtró luego el mismo utilizando subacetato de plomo como aglutinante de impurezas, y se analizaron las muestras en un polarímetro donde se determinó la lectura del Pol (% de sacarosa en jugo). A su vez, se realizó la lectura de Brix y Temperatura del jugo de cada muestra por medio de un densímetro con termómetro. Los valores de Pol, Brix y Temperatura fueron utilizados para determinar Brix (%), Pol(%), Pureza (%), Pol caña (%) y Rendimiento en azúcar (%). Este último valor se lo llevó finalmente a tonelaje de azúcar por ha por medio de su producto por el tonelaje de tallos por ha.

Precipitaciones, temperatura, punto de rocío, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, fueron obtenidas de la Estación Meteorológica digital del COET.

Diseño experimental: El módulo experimental contempla 20 parcelas para cada variedad de caña de azúcar (LCP 85-

384 y NA 85-1602) (Fig.1). A cada variedad se le aplicará cinco tratamientos de riego: sin riego complementario (tratamiento testigo); riego complementario durante todo el ciclo del cultivo; sin riego complementario durante el mes de enero; sin riego complementario durante el mes de febrero y sin riego complementario durante los meses de enero y febrero.

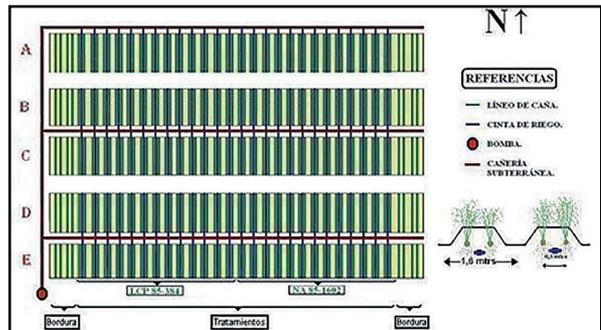


Figura 1 - Croquis del módulo experimental de riego.

Cada tratamiento tendrá 4 repeticiones y una superficie aproximada de 177,6 m² por parcela.

Para el desarrollo de la experiencia se utilizó el Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) para cada variedad a estudiar.

| TACUARENDÍ 2011/2012 | | | | | |
|----------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|----------------------|---------|
| Temp. Media Mensual (°C)*1 | Evapotranspiración media del cultivo (mm) | Precipitaciones (mm) | Necesidades hídricas del cultivo (mm) | Balance Mensual (mm) | |
| Nov. | 23,00 | 4,50 | 135,00 | 144,00 | -9,00 |
| Dic. | 24,00 | 5,60 | 68,00 | 201,50 | -133,50 |
| Enero | 27,00 | 6,00 | 98,90 | 248,00 | -149,10 |
| Febrero | 27,70 | 5,32 | 71,00 | 182,00 | -111,00 |
| Marzo | 23,60 | 4,08 | 16,40 | 170,50 | -154,10 |
| Totales | | 389,30 | 946,00 | | -556,70 |

| TACUARENDÍ 2011/2012 | | | | | |
|----------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|----------------------|---------|
| Temp. Media Mensual (°C)*1 | Evapotranspiración media del cultivo (mm) | Precipitaciones (mm) | Necesidades hídricas del cultivo (mm) | Balance Mensual (mm) | |
| Nov. | 24,18 | 4,82 | 65,00 | 144,00 | -79,00 |
| Dic. | 26,06 | 5,10 | 221,00 | 201,50 | 19,50 |
| Enero | 26,19 | 5,72 | 153,00 | 248,00 | -95,00 |
| Febrero | 25,21 | 4,78 | 38,50 | 182,00 | -143,50 |
| Marzo | 21,93 | 3,32 | 349,50 | 170,50 | 179,00 |
| Totales | | 827,00 | 946,00 | | -119,00 |

Tabla 1 - Datos meteorológicos para las campañas 2011/2012 y 2012/2013. *1 Datos climáticos de la Estación meteorológica del Centro Operativo Experimental Tacuarendí (COET). *2 Datos calculados por el método de Penman-Monteith modificado (Allen et al, 1998). *3 Datos publicados en jornada técnica de riego. COET. 2005

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA, y los promedios se compararon mediante el Test de Tukey al

5%. Se utilizó el software estadístico InfoStat.

Para las campañas estudiadas durante la fase fenológica de activo o gran crecimiento se registraron los datos agrometeorológicos expuestos en la Tabla 1.

LOS RESULTADOS

A partir de los datos expuestos se puede apreciar que el cul-

tivo de caña de azúcar experimentó un severo estrés hídrico durante su fase fenológica más crítica (etapa de activo o gran crecimiento). Estrés que se vio fuertemente acentuado durante el primer año de ensayos. En las Fig. 2 y Fig. 3 se puede observar la distribución de las precipitaciones y las necesidades del cultivo.

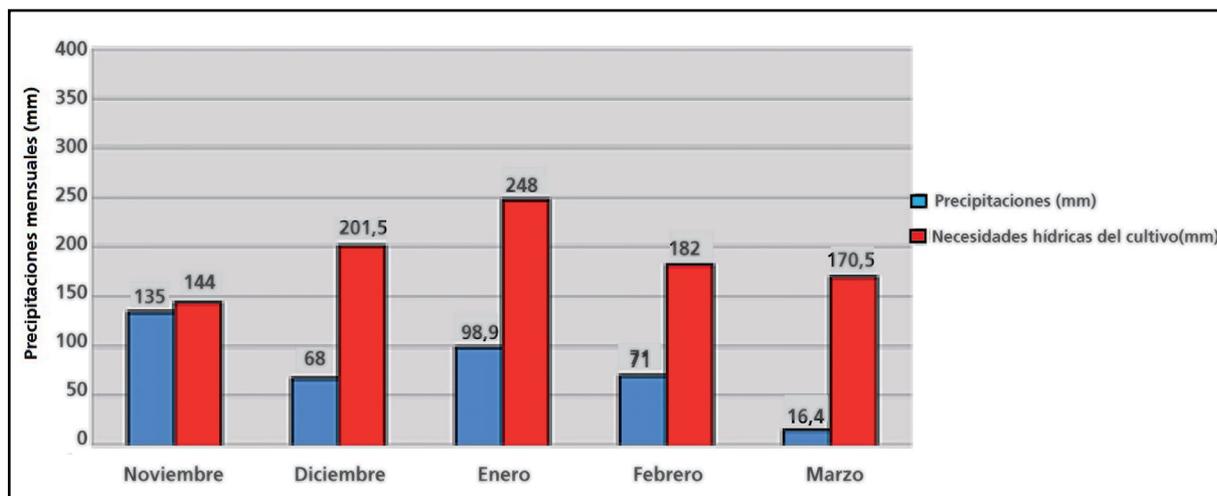


Figura 2 - Distribución de las precipitaciones y las necesidades del cultivo de caña de azúcar durante la fase de activo o gran crecimiento. Campaña 2011/2012.

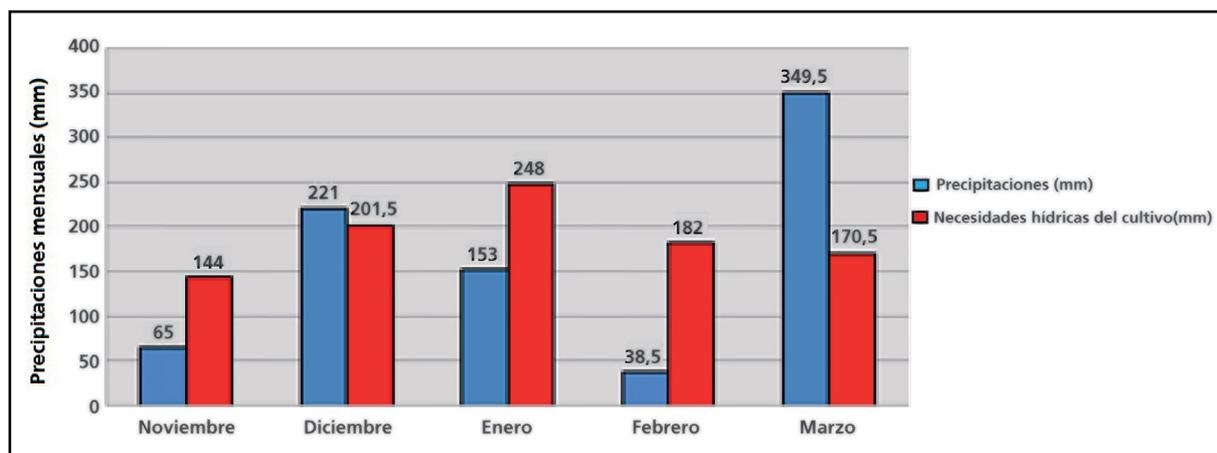


Figura 3 - Distribución de las precipitaciones y las necesidades del cultivo de caña de azúcar durante la fase de activo o gran crecimiento. Campaña 2012/2013.

A continuación se evaluará en qué medida una reducción del agua total disponible influye en una reducción del rendimiento y en la calidad del cultivo de caña de azúcar. Se propone expresar los datos como porcentajes de reducción del agua total disponible, de rendimiento y calidad sacarina

En promedio, en el transcurso de las dos campañas evaluadas (Fig. 4), el tratamiento de "Riego durante todo el ciclo", en ambas variedades, percibió un total de 1847,83 mm de agua total disponible (precipitaciones + riego). Con estos valores de agua disponible el cultivo produjo un rendimiento prome-

dio de tallos de 90,94 t ha-1 en la variedad LCP 85-384 y un tonelaje promedio de 87,58 t ha-1 para el caso de la variedad NA 85-1602.

Ahora bien, si expresamos como el 100% estos valores de agua total disponible y rendimientos del tratamiento "Riego durante todo el ciclo", se puede realizar una comparación porcentual y determinar qué grado de reducción acusa el rendimiento frente a una disminución en la disponibilidad de hídrica total presentada para cada tratamiento.

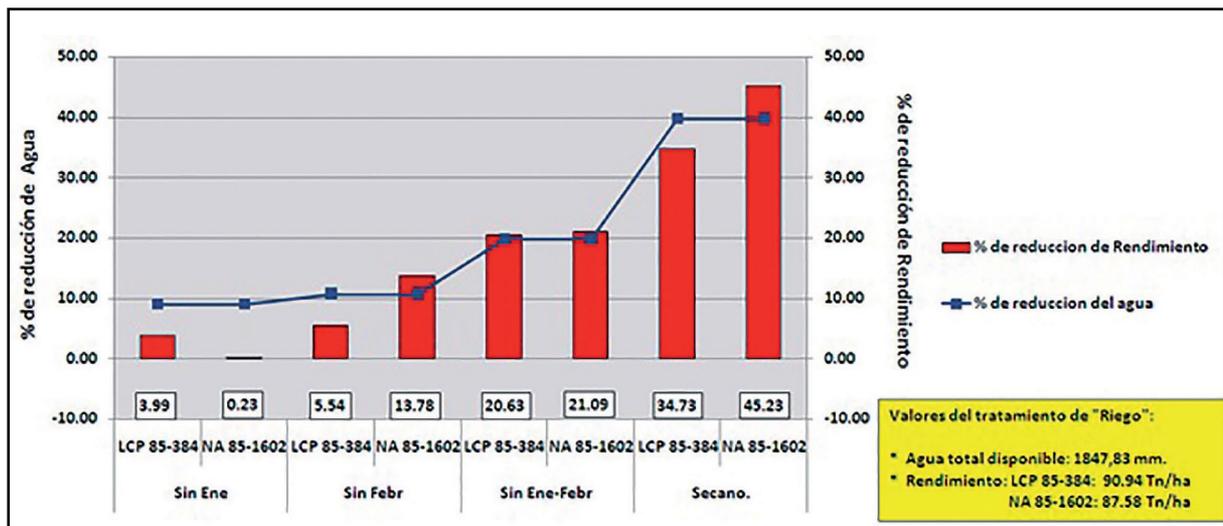


Figura 4 - Porcentaje de reducción del rendimiento de tallos y del Agua total disponible, obtenidos en los distintos tratamientos, con respecto al tratamiento de "Riego". Valores promedio de las dos campañas evaluadas

En la figura 4, bajo el tratamiento "Sin riego en enero", la disminución del agua total disponible osciló en 9%. Esta disminución ocasionó un merma del 3,99% y del 0,23% en los rendimientos de las variedades LCP 85-384 y NA 85-1602 respectivamente.

Cuando la restricción hídrica ocurrió durante el mes de febrero, el cultivo dejó de percibir un 10,74% del agua total disponible. Bajo esta condición la variedad LCP 85-384 mostró una merma del 5,54% a diferencia de NA 85-1602, quien sufrió una reducción del 13,78% en los rendimientos observados respecto a lo registrado para el tratamiento sin restricciones hídricas.

En cambio en el tratamiento "Sin riego en enero y febrero" el cultivo recibió un 19,75% menos de agua total disponible. Esto originó que los rendimientos decaigan en un 20,63% en la variedad LCP 85-384 y un 21,09% en la variedad NA 85-1602. En el tratamiento que no recibió riego en ningún momento, es decir, en el tratamiento de "Secano", las reducciones en rendimientos fueron las mayores registradas. LCP 85-384 exhibió una merma del 34,73% y NA 85-1602 del 45,23%. Estos porcentajes fueron obtenidos cuando el agua total disponible se restringió en un 39,72%.

Estos dos últimos casos concuerdan con lo observado por Wiedenfeld (1995) quien determinó que cuando la disponibilidad de agua, a lo largo del ciclo del cultivo, estaba reducida en 25 y 43%, las reducciones del rinde promediaron los 30 y 53%, respectivamente. Pero a diferencia de lo expresado por Wiedenfeld (1995), y coincidiendo con los estudios publicados por el mismo autor en el año 2000, estos valores de reducción del rendimiento pueden llegar a ser alcanzados cuando

la reducción del agua disponible ocurre en un período de 6 semanas, coincidentes con la etapa de mayor demanda de ET y la fase de gran crecimiento.

Mediante este análisis vemos que el comportamiento de ambas variedades es diferente ante una reducción del agua disponible durante los meses de enero y febrero. Una limitación en la disponibilidad de agua (reducción promedio de 166,3 mm) durante el mes de enero tiene una mayor consecuencia en el rendimiento de la variedad LCP 85-384, la cual acusó una disminución promedio, en ambas campañas, de 3,62 t ha⁻¹ respecto a lo registrado en tratamiento de "Riego". En cambio la variedad NA 85-1602, ante la misma situación hídrica, arrojó una merma del rendimiento de 0,20 t ha⁻¹, en promedio de ambas campañas evaluadas.

Cuando la disminución del agua total disponible se produjo durante el mes de febrero (reducción de 198 mm respecto a lo percibido en el tratamiento de "Riego"), las consecuencias en el rendimiento fueron mayores en la variedad NA 85-1602. En esta situación, esta variedad perdió 12,06 t ha⁻¹ en rendimiento respecto a lo observado en la misma variedad y sometida a condiciones óptimas de humedad. En cambio LCP 85-384, ante la misma situación hídrica limitante, redujo sus rendimientos sólo en 5,03 t ha⁻¹ respecto a lo observado en la misma variedad sometida al tratamiento "Riego".

A partir de lo expuesto (promedio de datos de dos campañas consecutivas) se llega a la conclusión de que ambas variedades toleran en mayor medida un estrés hídrico ocurrido durante el mes de enero. En este sentido, LCP 85-384 presentó mayor cantidad de tallos, pero sus pesos y la altura de los mismos se redujeron respecto a los registrados en el

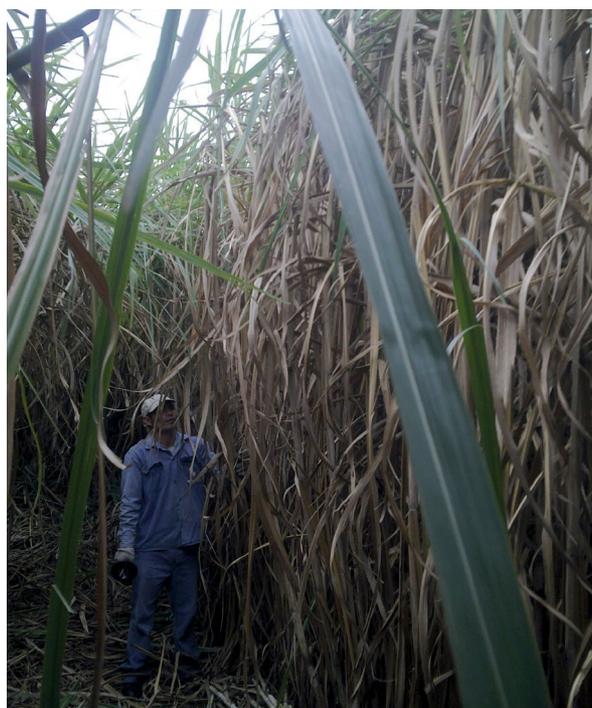
tratamiento "Riego". En cambio, cuando la restricción hídrica recayó sobre el mes de febrero las reducciones también se hicieron efectiva en la variable número de tallos y la merma del rendimiento fue mayor.

NA 85-1602 podría afrontar en mejor medida un estrés durante el mes de enero ya que no hubo diferencias marcadas en el número de tallos y sus pesos respecto a lo registrado en el tratamiento de Riego. En cambio, cuando la restricción hídrica ocurrió durante el mes de febrero, la variable que mayormente se vio afectada es la de peso de tallos. En este caso las reducciones en el rendimiento son menores en la variedad LCP 85-384.

Estos resultados concuerdan con los expresado por Soopramanien et al. (1992), quien manifestó que el estrés hídrico debe ser evitado después de la fase de macollaje porque afecta al número y a la altura de tallos molibles, lo que produce una disminución en los rendimientos del cultivo.

Para los tratamientos de mayor restricción hídrica, la merma en el rendimiento fue siempre mayor en la variedad NA 85-1602, siendo mayor las diferencias en el tratamiento "Secano", respecto a lo observado en los tratamientos "Riego". Al promediar los valores de rendimiento o calidad sacarina obtenidos en ambas campañas y para el tratamiento "Riego", LCP 85-384 fue la que mayores valores acusó. Los rendimientos alcanzados fueron de 10,65 t ha⁻¹ y de 10,07 t ha⁻¹ para las variedades LCP 85-384 y NA 85-1602. El agua total disponible, como ya se mencionó anteriormente, en el tratamiento "Riego" y en promedio para ambas campañas, fue de 1847,83 mm (Fig. 5).

De acuerdo con estos valores obtenidos, cuando ambas variedades fueron sometidas a una restricción hídrica del 9% respecto del tratamiento de riego y durante el mes de enero,



ambas expresaron una disminución de sus rendimientos sacarinos. Esta merma fue del 6,83% para la variedad LCP 85-384 y del 3,32% para la variedad NA 85-1602.

En cambio, cuando el riego fue suprimido durante el mes de febrero, el cultivo soportó una restricción del agua total disponible del 10,74% respecto del tratamiento "Riego". Esto ocasionó mermas en el rendimiento sacarino del cultivo. LCP 85-384 mostró una disminución del 9,56% y NA 85-1602 del 17,84%.

El cultivo bajo el tratamiento "Sin riego en enero y febrero" percibió un 19,75% menos de agua total disponible. Ante esta situación la variedad LCP 85-384 aminoró en un 21,85% su

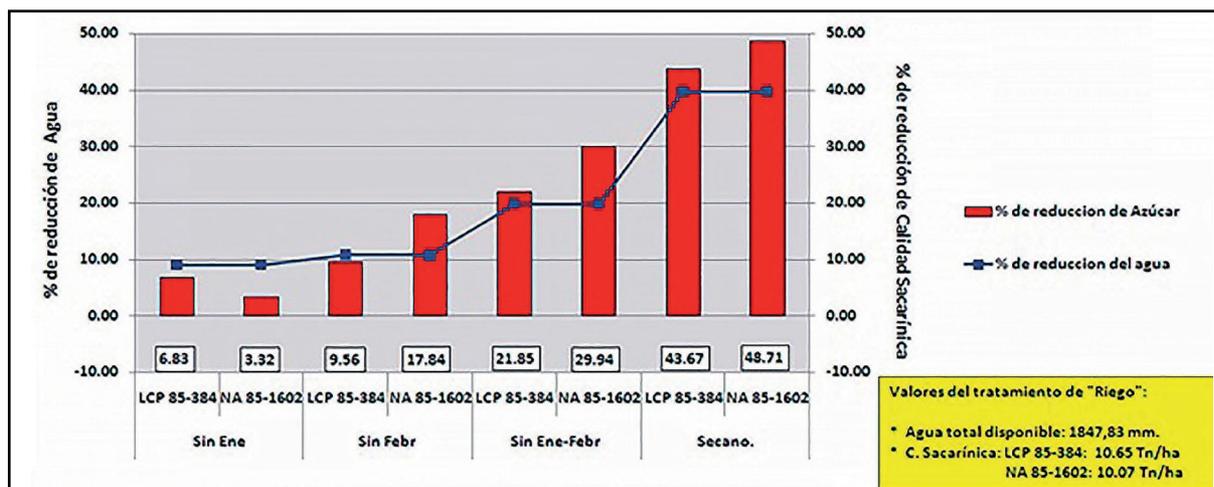


Figura 5 - Porcentaje de reducción del rendimiento sacarino y del Agua total disponible, obtenidos en los distintos tratamientos, con respecto al tratamiento "Riego". Valores promedio de las dos campañas evaluadas.

rendimiento sacarino y NA 85-1602 en un 29,94% respecto a lo obtenido en el tratamiento de "Riego".

En el tratamiento de "Secano", como ya se vio anteriormente, la reducción del agua total disponible fue del 39,72%. En este caso, el rendimiento sacarino, en la variedad LCP 85-384, se redujo en un 43,67% respecto al rendimiento obtenido en el tratamiento de "Riego". En la variedad NA 85-1602 esta reducción alcanzó los 48,71%.

Estos datos nos indican que una reducción en el agua total disponible durante los meses de enero y febrero, tiene una implicancia diferente en ambas variedades evaluadas, en cuanto al rendimiento de azúcar se refiere. Una limitación en la disponibilidad de agua (reducción promedio de 166,3 mm) durante el mes de enero tiene una mayor consecuencia en la variedad LCP 85-384. Esta variedad acusó una disminución promedio, en ambas campañas, de 0,73 t ha⁻¹ de azúcar producido respecto a lo registrado en tratamiento de "Riego". En cambio, la variedad NA 85-1602, ante la misma situación hídrica, arrojó una merma de 0,33 t ha⁻¹ en promedio, en ambas campañas evaluadas.

Así mismo, cuando la disminución del agua total disponible se produjo durante el mes de febrero (reducción de 198 mm respecto a lo percibido en el tratamiento "Riego"), las consecuencias en el rendimiento sacarino fueron mayores en la variedad NA 85-1602. En esta situación, esta variedad perdió 1,79 t ha⁻¹ de azúcar producido respecto a lo observado en la misma variedad y sometida a condiciones óptimas de humedad. En cambio, LCP 85-384, ante la misma situación hídrica limitante, redujo sus rendimientos sólo en 1,02 t ha⁻¹, respecto a lo observado en la misma variedad sometida al tratamiento "Riego".

En el presente trabajo se observó que durante el mes de febrero de la primera campaña, con un déficit de 111 mm, los porcentajes de reducción del azúcar producido fueron del 10,56% en la variedad LCP 85-384 y del 19,51% para la variedad NA 85-384. Así mismo, para el mes de enero, durante la segunda campaña, LCP 85-384 ya manifestó un porcentaje



mínimo de reducción del rendimiento (1,2%) ante un estrés de 95 mm.

En concordancia con lo expuesto para la variable rendimiento de tallos, la producción de azúcar (promedio de datos de dos campañas consecutivas), en ambas variedades, se ve más comprometida cuando el cultivo sobrelleva un estrés hídrico durante el mes de febrero, en relación a lo observado en el tratamiento "Sin riego en enero". También, las pérdidas en rendimiento sacarino fueron menores en la variedad NA 85-1602 cuando ambas variedades fueron sometidas al tratamiento "Sin riego en enero". En contraposición, en el tratamiento "Sin riego en febrero", la variedad que menor reducción obtuvo fue LCP 85-384. Estos resultados pueden ser explicados, al igual que en el caso de la variable rendimiento de tallos, por las variables número y peso de los mismos. Estas variables están correlacionadas en forma directa con los rendimientos de tallos y rendimientos sacarinos.

La producción de azúcar se vio más comprometida en los tratamientos que mayor restricción hídrica sufrieron. La disminución fue siempre mayor en la variedad NA 85-1602, siendo mayor las diferencias entre ambas variedades en el tratamiento "Sin riego en enero y febrero". Además las mayores pérdidas del rendimiento sacarino, respecto a lo observado en los tratamientos "Riego", fueron registradas en el tratamiento "Secano".