

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DEL SUSTRATO UTILIZADO**

Una vez rellena la maceta de 2500 ml de capacidad con el sustrato que se iba a utilizar en la fase de vivero, se regó a capacidad de campo y se pesó, obteniéndose un valor de 3684 g. Después de mantener la maceta con el sustrato en una estufa a 60°C durante 3 días se volvió a pesar, dando un valor de 2393 g. La diferencia de pesos mostró un contenido total de agua de 1291 g, que en volumen y dada la densidad del agua de 1g/cc, resulta en 1291 cc.

Según estos resultados, el contenido volumétrico de agua que el sustrato puede retener en este tipo de contenedor sería de:

$$1291 \text{ cc de agua} / 2500 \text{ cc de sustrato} = 0,518 \text{ cc/cc} = 51,8\%$$

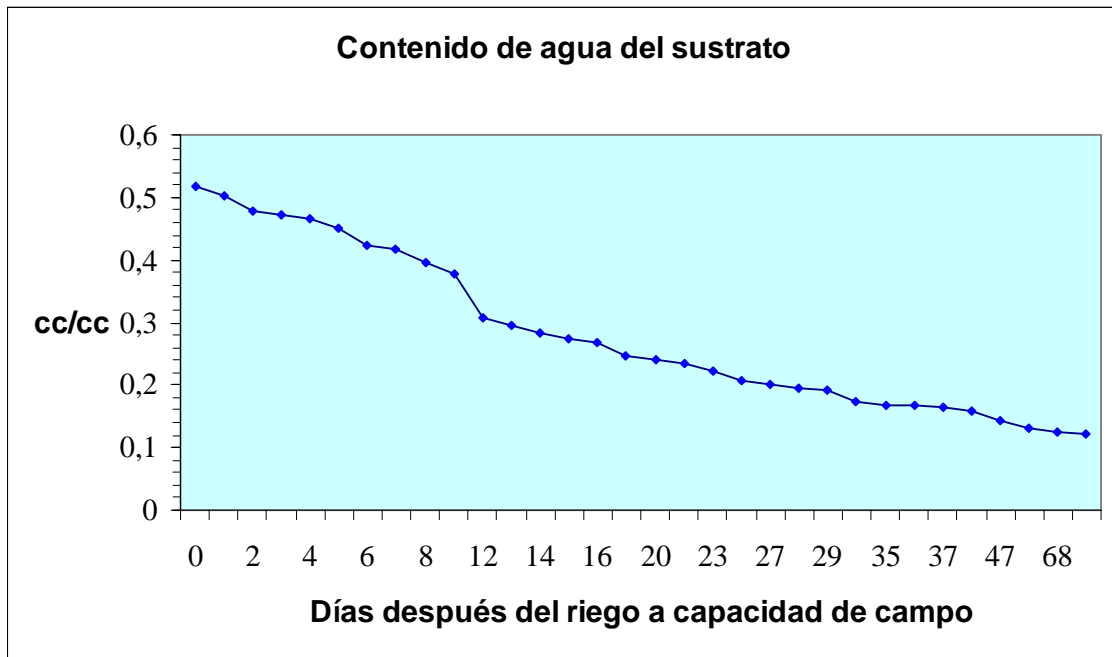
La mezcla de sustrato que se utilizó, 1/3 de turba, 1/3 de arena y 1/3 de tierra, tiene un volumen relativo de agua fácilmente asimilable (AFA) del 25% (estudiado previamente en deboot). Así, en una maceta con capacidad para 2500 cc de sustrato y una vez que se haya regado a capacidad de campo, el agua fácilmente disponible para las plantas que se desarrollen en su interior será de 625 cc.

### **4.2. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DEL SUSTRATO TRAS SATURACIÓN Y SU RELACIÓN CON EL POTENCIAL HÍDRICO**

Según los resultados obtenidos en el apartado anterior, después de regar a capacidad de campo las tres macetas que se utilizaron en este ensayo, el sustrato debía retener un contenido volumétrico de agua de 0,518 cc de agua/cc de sustrato. Tras el riego, la diferencia de los pesos de las macetas tomados cada dos días fue indicando que

el contenido de agua disminuía progresivamente (anexo 1), hasta alcanzar 68 días después del riego un valor medio de 0,1244 cc de agua/cc de sustrato (Figura 11).

La pérdida de agua fue mayor durante los primeros días, hasta que una vez sobrepasado el valor del agua fácilmente asimilable (25% del volumen del sustrato, es decir, 0,250 cc de agua/cc de sustrato) el nivel descendió más lentamente.



**Figura 11.** Relación entre el contenido de agua en el sustrato y días transcurridos tras el riego a capacidad de campo.

En cuanto a los valores del potencial hídrico del sustrato tras el riego a capacidad de campo, los resultados obtenidos mostraron un aumento progresivo del potencial hídrico a medida que transcurrían los días después del último riego y disminuía por evaporación el contenido de agua del sustrato (anexo 1).

En la Figura 12 puede observarse como el potencial hídrico aumenta conforme disminuye el contenido de agua después del riego a capacidad de campo. Una vez que dicho contenido desciende de 0,246 cc/cc, el agua deja de ser fácilmente asimilable, correspondiéndose con un potencial hídrico de 72 cb.



**Figura 12.** Relación entre el potencial hídrico del sustrato y el contenido de agua.

### 4.3. MADRESELVA

#### 4.3.1. FASE DE VIVERO

##### 4.3.1.1. PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE ENDURECIMIENTO

Las medidas se hicieron al mes de iniciado los tratamientos de riego y paclobutrazol, a los dos meses y al final de la fase de vivero. Como puede observarse en la Tabla 1, en el primer mes todos los parámetros hídricos se vieron afectados sólo por el riego deficitario, que los disminuyó. Lo que más significativamente se vio afectado es el potencial hídrico y todos sus componentes. En el caso del potencial osmótico a saturación, su reducción refleja una acumulación activa de solutos, con el objeto de mantener la turgencia. Este mecanismo permite mantener un potencial de turgencia alto, a pesar del descenso en el potencial hídrico, lo que puede traer como consecuencia que la apertura del estoma, la expansión foliar, la transpiración y la fotosíntesis se mantengan funcionando por más tiempo (Lakso, 1979).

**Tabla 1.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros hídricos medidos al mes de iniciarse los tratamientos en plantas de madreSelva

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
$\Psi_{\text{hmd}}$ (MPa)	-1.00	-1.66	-1.26	-1.40	**	ns	ns
$\Psi_{\text{omd}}$ (MPa)	-1.62	-1.93	-1.73	-1.82	**	ns	ns
$\Psi_{\text{pmd}}$ (MPa)	0.62	0.27	0.47	0.42	**	ns	ns
$\Psi_{\text{osat}}$ (MPa)	-1.54	-1.76	-1.62	-1.68	**	ns	ns
CRA (%)	83.71	77.57	83.88	80.99	*	ns	ns
$P_n$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	3.12	0.83	2.65	1.29	*	ns	ns
$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	73.22	20.80	66.03	27.99	*	ns	ns

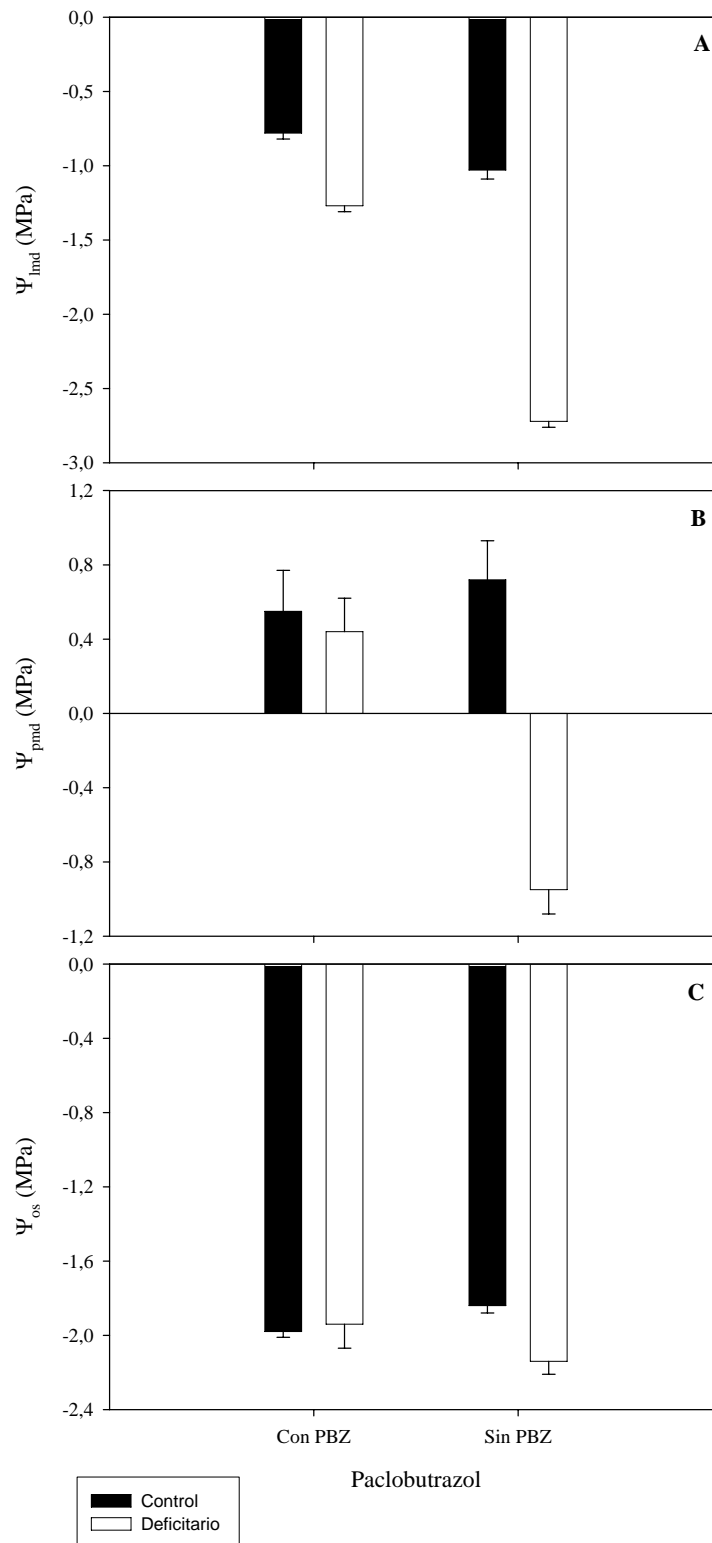
\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial

A los 2 meses el potencial hídrico foliar se vio afectado muy significativamente por el riego deficitario, por la aplicación de PBZ y por la interacción entre ambos tratamientos. Ello es debido a una disminución del potencial de presión, pues el potencial osmótico no sufría alteraciones significativas, al igual que ocurría con la fotosíntesis neta (Tabla 2). Para el potencial hídrico, el efecto del PBZ fue aumentar su valor, lo cual se aprecia mucho más combinado con riego deficitario (Figura 13), pues en este caso el potencial disminuyó mucho más al no aplicar dicho fitorregulador. En el potencial de presión, con riego control no se aprecia efecto del PBZ; pero sí el riego deficitario, en el que la aplicación de PBZ aumentó el potencial de presión hasta igualarlo con el que tenían las plantas bien regadas (Figura 13). También se observa que el potencial osmótico a saturación, sólo varió con la combinación de riego deficitario y PBZ (Tabla 2). Sobre el contenido relativo de agua actuaron ambos tratamientos, disminuyendo, en el caso del riego deficitario y aumentando en el caso de la aplicación de PBZ, pero sin mostrar interacción entre ambos tratamientos. La conductancia estomática se vio reducida con riego deficitario.

**Tabla 2.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros hídricos medidos a los dos meses de iniciarse los tratamientos en plantas de madreSelva

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
$\Psi_{\text{hmd}}$ (MPa)	-0.91	-2.00	-1.03	-1.87	***	***	***
$\Psi_{\text{omd}}$ (MPa)	-1.54	-1.74	-1.52	-1.76	ns	ns	ns
$\Psi_{\text{pmd}}$ (MPa)	0.6	-0.25	0.49	-0.12	**	*	**
$\Psi_{\text{osat}}$ (MPa)	-1.91	-2.04	-1.96	-1.99	ns	ns	*
CRA (%)	88.75	79.80	87.54	81.00	**	*	ns
$P_n$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	4.39	2.71	4.00	3.10	ns	ns	ns
$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	151.31	31.69	117.21	65.79	*	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial



**Figura 13.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el potencial hídrico a mediodía ( $\Psi_{hmd}$ ; A), potencial de turgencia a mediodía ( $\Psi_{pmd}$ ; B) y potencial osmótico a máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ; C) a los dos meses de iniciarse los

tratamientos en plantas de madreSelva. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test.

Las relaciones hídricas de las plantas se vieron afectadas por ambos tratamientos, siendo el PBZ el que más parámetros afectó (Tabla 3). El riego deficitario disminuyó el potencial hídrico foliar a consecuencia de la disminución significativa del potencial osmótico, no viéndose compensada por un aumento significativo del potencial de turgencia (Tabla 3). Como resultado, el contenido relativo de agua disminuyó significativamente en las plantas sometidas a estrés hídrico. El estado hídrico de las plantas que recibieron PBZ mejoró con respecto a aquellas que no fueron tratadas, obteniéndose valores más altos en el potencial hídrico foliar y en el potencial de presión en las plantas tratadas respecto a aquellas que no lo fueron (Tabla 3). Este hecho se explica por un aumento de la concentración de solutos en las plantas tratadas, como refleja el potencial osmótico a saturación (Tabla 3).

El estudio de la interacción de ambos factores indica que únicamente el potencial hídrico y el osmótico se vieron significativamente afectados (Tabla 3). La interacción mostró que en las plantas tratadas con paclobutrazol, el riego deficitario no redujo el estado hídrico de las plantas, mientras que en las no tratadas el riego deficitario disminuyó significativamente el potencial hídrico y el osmótico (Figura 14).

Esto confirma lo mencionado por otros autores (Atkinson and Chauhan, 1987; Abod and Webster 1991a) en relación al papel de este retardante del crecimiento como reductor del consumo hídrico en las plantas.

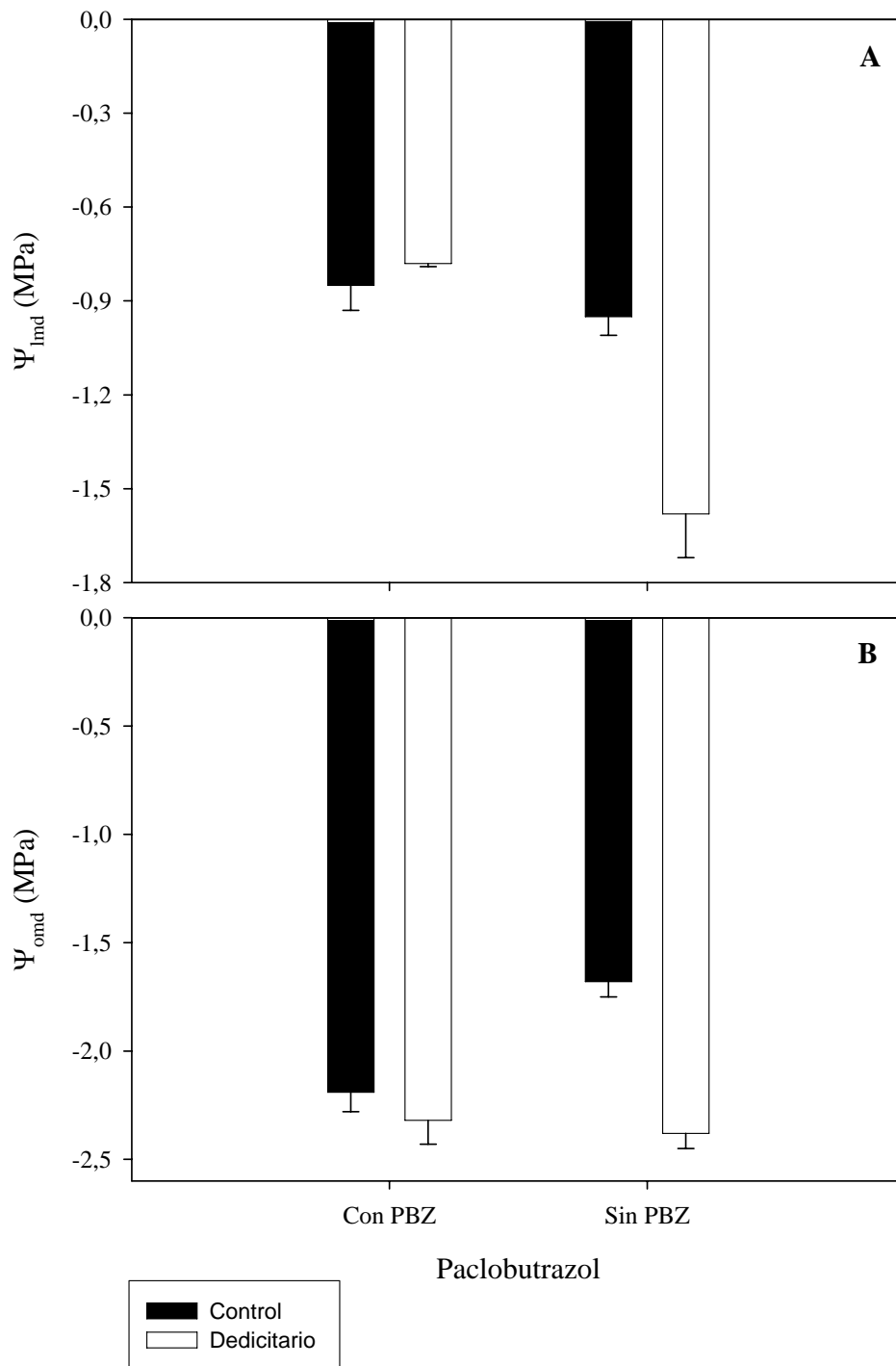
En el estudio de los parámetros de intercambio gaseoso se observó que la conductancia estomática se vio significativamente afectada por el riego (Tabla 3), reduciéndose de forma significativa en el riego deficitario respecto a las plantas control. La reducción del  $g_s$  es un mecanismo desarrollado por las plantas en condiciones de estrés para optimizar el uso del agua (Munns, 1988). Ninguno de los factores estudiados modificó la fotosíntesis.

**Tabla 3.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros hídricos medidos a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de madreSelva.

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
$\Psi_{hmd}$ (MPa)	-0.89	-1.18	-0.81	-1.27	*	**	**
$\Psi_{omd}$ (MPa)	-1.93	-2.35	-2.25	-2.03	**	*	*
$\Psi_{pmd}$ (MPa)	1.04	1.17	1.44	0.77	ns	**	ns
$\Psi_{osat}$ (MPa)	-1.81	-1.83	-1.91	-1.73	ns	*	ns
CRA (%)	90.26	85.61	89.18	86.69	*	ns	ns
$P_n$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	7.57	6.82	7.26	7.12	ns	ns	ns
$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	46.62	29.40	41.08	34.93	*	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial.

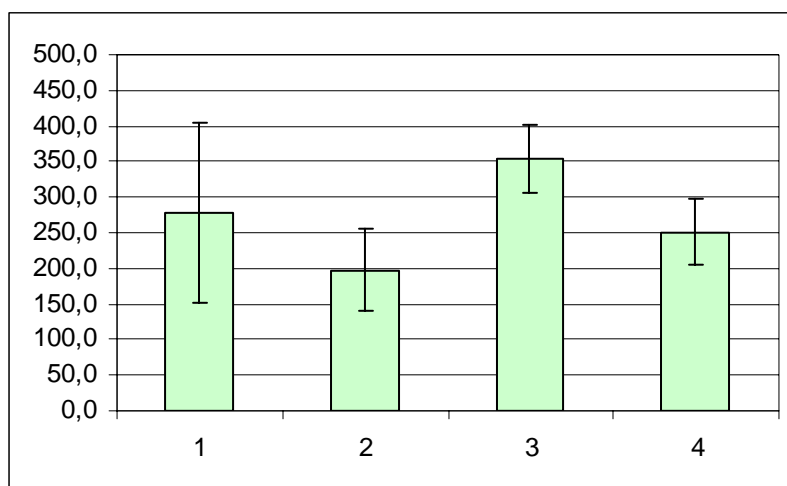




**Figura 14.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el potencial hídrico a mediodía ( $\Psi_{hmd}$ ; A) y en el potencial osmótico a mediodía ( $\Psi_{omd}$ ; B) a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de madre selva. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test.

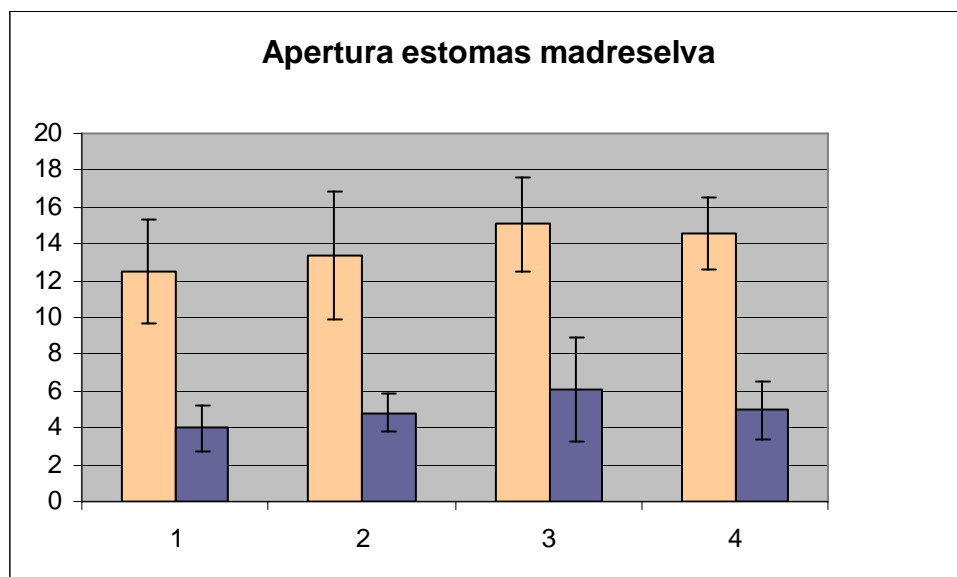
### Densidad y apertura estomática

En cuanto a la densidad estomática, sólo se observaron diferencias significativas entre los tratamientos 2 (riego deficitario sin PBZ) y 3 (riego control con PBZ), mostrando este último un número mayor de estomas por  $\text{mm}^2$  (Figura 15).



**Figura 15.** Densidad estomática (estomas/ $\text{mm}^2$ ) en cada tratamiento de madreSelva. El tratamiento 1 es riego deficitario con PBZ, el 2 es riego deficitario, el 3 es riego normal con PBZ y el 4 es riego normal

En cuanto a la apertura estomática, no se observaron diferencias entre los distintos tratamientos (Fig 16).



**Figura 16.** Apertura longitudinal (naranja) y transversal (azul) de los estomas en cada tratamiento de madreSelva, en mm. El tratamiento 1 es riego deficitario con PBZ, el 2 es riego deficitario, el 3 es riego normal con PBZ y el 4 es riego normal

#### 4.3.1.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE DESARROLLO AÉREO

Al finalizar la etapa de endurecimiento, tanto el riego deficitario como la aplicación de paclobutrazol redujeron todos los parámetros de desarrollo aéreo (Figura 17), excepto el número de tallos y la relación PS aéreo/PS radical. El peso seco de la raíz se vio reducido por el riego deficitario, pero no por el paclobutrazol (Tabla 4). La disminución del desarrollo aéreo es un mecanismo de la planta para mantener la absorción de agua y reducir su pérdida por evaporación.

El contenido de las hojas en clorofila aumentó de forma significativa tanto con riego deficitario como con la aplicación de paclobutrazol.

Ambos tratamientos sólo interaccionaron en la altura y el diámetro del tallo. Para la altura, sus valores eran más altos en el caso de plantas con riego control y sin aplicación de PBZ; en el resto de tratamientos no hubo diferencias entre ellos (Figura 18) mientras que para el diámetro del tallo, sus valores fueron menores cuando se regó deficitariamente, disminuyendo aún más si se aplica PBZ (Figura 19).

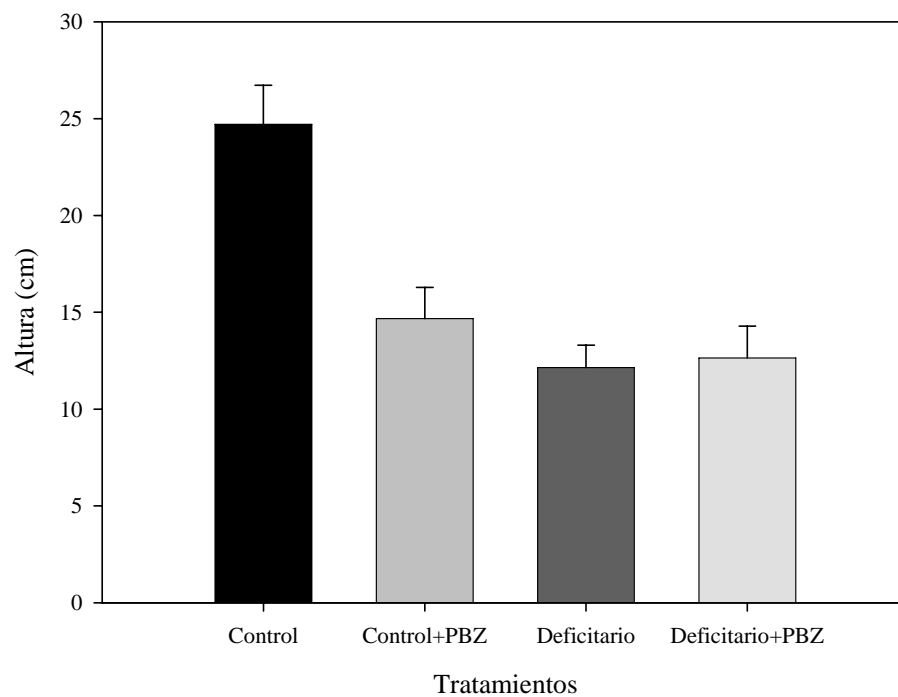
**Tabla 4.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros de crecimiento y la clorofila medidos al finalizar la etapa de endurecimiento en plántulas de madreelva

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
Altura (cm)	19.68	12.39	13.65	18.42	***	**	**
Número de tallos	5.14	4.47	4.47	5.13	ns	ns	ns
Diámetro tallo (mm)	2.35	1.84	1.95	2.24	***	***	***
Longitud entrenudos(cm)	2.09	1.45	1.58	1.96	***	**	ns
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	127.34	65.55	77.90	114.99	**	*	ns
P.S. aéreo (g planta <sup>-1</sup> )	4.36	2.42	2.71	4.07	**	*	ns
P.S. raíz (g planta <sup>-1</sup> )	3.12	2.27	2.62	2.77	**	ns	ns
P.S. aéreo/P.S. raíz	1.36	1.11	1.04	1.42	ns	ns	ns
Clorofila	32.91	35.60	35.62	32.89	*	*	ns

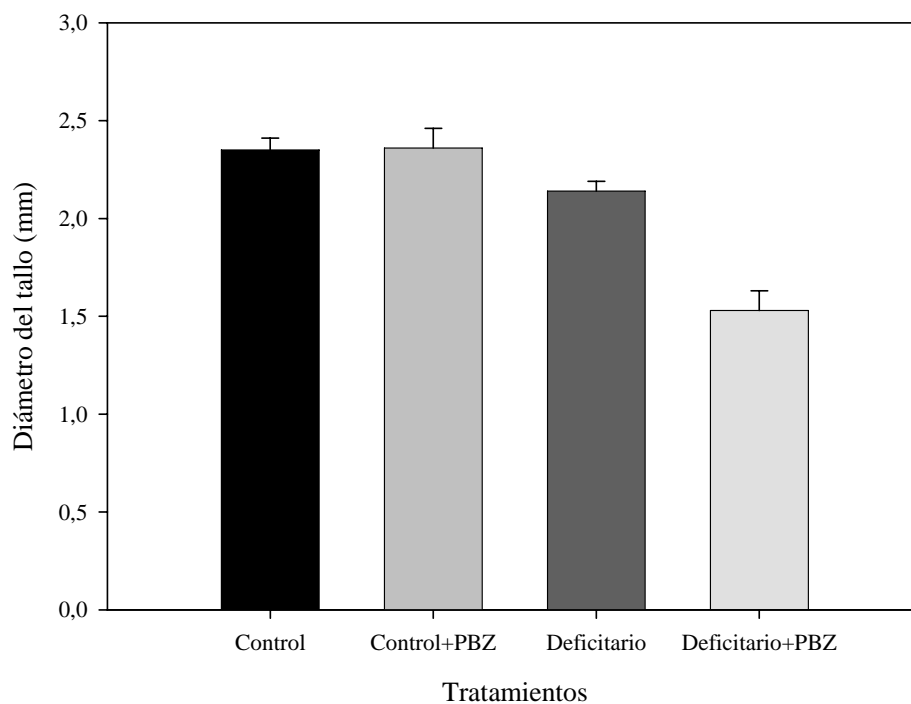
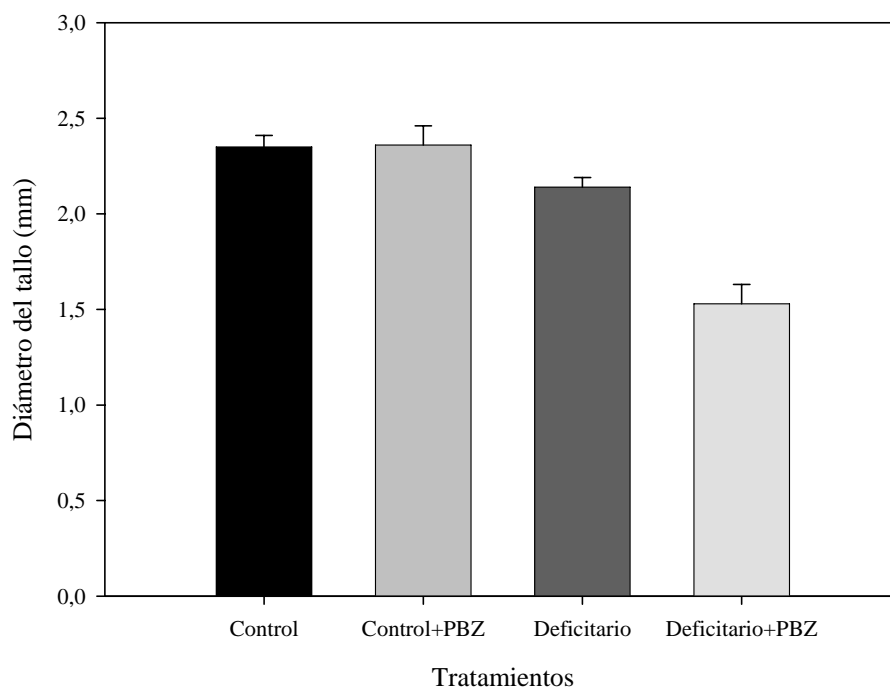
\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial



**Figura 17.** Cuatro ejemplares de madreelva sometidas cada una a un tratamiento (riego control, riego control con PBZ, riego deficitario y riego deficitario con PBZ)



**Figura 18.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en la altura a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de madreelva. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test.



**Figura 19.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el diámetro del tallo a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de madreSelva. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test.

### 4.3.1.3 PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE DESARROLLO RADICAL

Las mediciones de los parámetros radicales se tomaron tras finalizar la etapa de vivero y éstos no se vieron afectados por los tratamientos recibidos, excepto en el caso del peso seco radical y el porcentaje de raíces con longitud 0,5-1 mm, que disminuyeron con riego deficitario (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros de desarrollo radical medidos al finalizar la etapa de endurecimiento en plántulas de madre selva

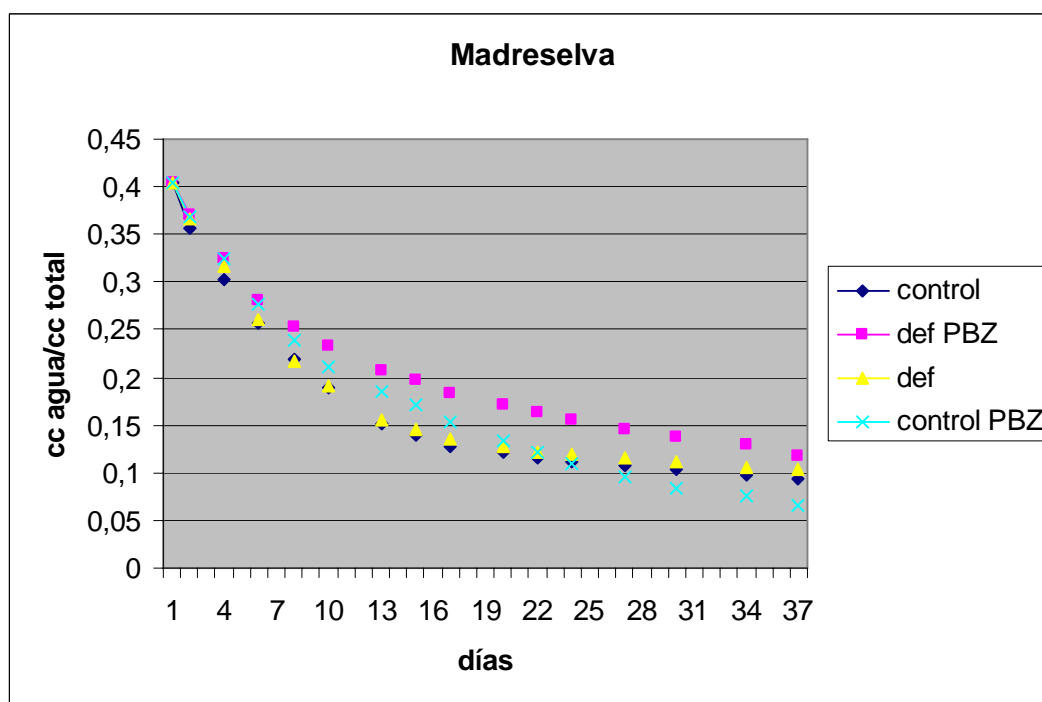
PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
P.S. Raíz (g planta <sup>-1</sup> )	3.12	2.27	2.62	2.77	**	ns	ns
Volumen radical (cm <sup>3</sup> )	12.48	10.56	11.85	11.20	ns	ns	ns
Densidad de raíces (g/cm <sup>3</sup> )	0.25	0.22	0.22	0.25	ns	ns	ns
φ medio raíces (mm)	0.82	0.81	0.84	0.79	ns	ns	ns
Nº de puntas	2642	2452	2767	2327	ns	ns	ns
L. Total Raíces (cm)	2509	2028	2263	2274	ns	ns	ns
L <sub>&lt;0.5 mm</sub> φ (%)	33.97	40.11	35.65	38.43	ns	ns	ns
L <sub>0.5-1.0 mm</sub> φ (%)	45.74	39.24	42.04	42.94	**	ns	ns
L <sub>1.0-2.0 mm</sub> φ (%)	15.49	14.61	16.49	13.61	ns	ns	ns
L <sub>&gt;2.0 mm</sub> φ (%)	4.79	6.05	5.82	5.02	ns	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial

### 4.3.2. FASE DE ESTABLECIMIENTO EN CAMPO

#### 4.3.2.1. MEDIDA DE LA PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPOTRANSPIRACIÓN DESPUÉS DEL ÚLTIMO RIEGO

La pérdida de agua fue variable según los distintos tratamientos a los que fueron sometidas las plantas (anexo 2). Las que en la fase de vivero no habían recibido PBZ fueron las que más agua perdieron durante los 15 primeros días, sin embargo a partir de ese momento, pasaron a ser las que menos pérdidas registraron. De las plantas que se les había aplicado PBZ, tuvieron un comportamiento bien distinto según el riego. Las del riego control mostraron valores intermedios de evapotranspiración los 12-13 primeros días, para a partir de entonces ser las que más agua perdieron, además con una clara diferencia con las demás. En cuanto a las que habían recibido un riego deficitario, comenzaron siendo las que menos pérdida reflejaban, y fueron las que mantuvieron un nivel de evapotranspiración más uniforme, pese a que ésta fue, en todos los casos, en descenso, al hacerse más difícil con menores contenidos de agua en el sustrato (Figura 20).



**Figura 20.** Contenido de agua del sustrato en las plantas de madreelva tras el último riego



#### **4.3.2.2. MEDIDA DE LA MORTALIDAD DE PLANTAS Y RELACIÓN CON LOS TRATAMIENTOS DE ENDURECIMIENTO EN LA FASE DE VIVERO**

En el caso de la madreSelva, las plantas no tratadas con paclobutrazol resistieron peor ya que el 17 de julio habían muerto todas, mientras que de las tratadas con fitorregulador todavía sobrevivían en esa fecha 5 plantas del tratamiento control y 7 del tratamiento con riego deficitario (Tabla 6). No obstante, más de la mitad de las plantas no tratadas aguantaron hasta los últimos días, mostrando un poco más de resistencia las que habían sido regadas con riego control. De las tratadas con PBZ, todas sobrevivieron hasta 5-6 días antes de finalizar el trabajo de campo.

Estos resultados demuestran que para esta especie el método más eficaz de endurecimiento es la aplicación de paclobutrazol, mientras que el riego deficitario durante la fase de vivero no sólo no favorece el endurecimiento, sino que provoca que las plantas lleguen incluso a sobrevivir menos.

Los efectos producidos en las plantas por el paclobutrazol que favorecieron su endurecimiento fueron tanto fisiológicos como morfológicos que afectaron al desarrollo aéreo. Las modificaciones fisiológicas fueron: mejoría del estado hídrico, con aumento del potencial hídrico en las hojas y del potencial de presión y disminución del potencial osmótico a saturación, lo que refleja un aumento en la concentración de solutos, siendo éste un mecanismo de adaptación de las plantas a la falta de agua. Las modificaciones morfológicas aéreas comprendieron una reducción de todos los parámetros de desarrollo aéreo, excepto el número de tallos, reduciendo así pérdidas por evaporación, así como un aumento del contenido en clorofila. La aplicación de PBZ no varió los parámetros de desarrollo radical.

El riego deficitario también alteró los valores de diversos parámetros de endurecimiento de las plantas, aunque el resultado, una vez transplantadas a campo, no fue el esperado. Las modificaciones fisiológicas fueron: disminución del potencial osmótico, y por consiguiente disminución del potencial hídrico foliar, provocando una reducción del contenido relativo de agua; disminución significativa de la conductancia estomática, lo cual permite a las plantas optimizar el uso del agua. No modificó el potencial osmótico a saturación, lo que refleja que la planta no acumuló solutos en respuesta a la falta de agua. En cuanto a las modificaciones morfológicas aéreas, al igual

que el paclobutrazol, disminuyó todos los parámetros de crecimiento aéreo, a excepción del número de tallos, y provocó un aumento en el contenido de clorofila.

El riego deficitario sí provocó modificaciones morfológicas a nivel del desarrollo radical como la disminución del peso seco radical, lo que indica que se encontraban en situación extrema de falta de agua. El riego deficitario, sin embargo, no varió la relación peso seco aéreo/peso seco radical, un parámetro de gran importancia para que las plantas sobrevivan tras el trasplante. El hecho de que no disminuyera refleja que las plantas no estaban bien endurecidas, como se pudo comprobar al medir su tasa de mortalidad.

**Tabla 6.** Número de plantas de madreSelva de cada tratamiento muertas cada día tras el último riego, de un total de 17 por tratamiento.

	29/6	3/7	6/7	10/7	13/7	17/7
<b>RC</b>	0	0	2	6	6	17
<b>RC+PAC</b>	0	0	0	0	2	12
<b>RD</b>	1	1	4	7	7	17
<b>RD+PAC</b>	0	0	0	0	1	10

#### **4.3.2.3. RELACIÓN ENTRE LA PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPOTRANSPIRACIÓN Y MORTALIDAD DE PLANTAS**

Los primeros días, las plantas que no habían sido tratadas con PBZ fueron las que más agua perdieron, lo cual refleja que eran las peor adaptadas para la sequía. Una vez transcurridas unas dos semanas, las plantas de riego control y tratadas con PBZ empezaron a ser las que más evapotranspiran (Figura 20), seguidas de las de riego deficitario, también tratadas con PBZ.

A las tres semanas, éstas últimas mantenían un contenido de agua claramente superior al resto; hasta el final fueron las que más agua conservaron, por lo que fueron

las que más tardaron en morir (Tabla 6). En este momento todas las plantas seguían vivas excepto una del tratamiento riego deficitario sin PBZ. Una semana más tarde, las plantas que habían recibido PBZ seguían siendo las que más agua perdían, sin embargo las que empezaron a morir, fueron las que no lo habían recibido; esto siguió ocurriendo durante 6-7 días, hasta que empezaron a morir también las plantas tratadas con el fitorregulador.

Al final de la fase experimental habían muerto todas las plantas a las que no se les había aplicado PBZ, mientras que sobrevivían algunas a las que sí se les había aplicado. De estas últimas, las regadas deficitariamente acabaron con un mayor contenido de agua gracias a toda la que habían ahorrado durante los primeros días de establecimiento; esto puede explicar su mayor supervivencia. Sin embargo, las plantas tratadas con PBZ y que habían sido bien regadas durante la fase de vivero fueron las que más agua perdieron durante su establecimiento, debido a su mayor desarrollo morfológico, tanto aéreo como radical lo cual influía en la transpiración y en la absorción de agua por las raíces.

## **4.4. MIRTO**

### **4.4.1. FASE DE VIVERO**

#### **4.4.1.1. PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE ENDURECIMIENTO**

Al igual que para la madreSelva, se hicieron 3 medidas de los parámetros hídricos: al mes de iniciarse los tratamientos, a los dos meses y tras finalizar la fase de endurecimiento.

Al mes de iniciarse los tratamientos, el riego deficitario disminuyó de forma significativa todos los parámetros hídricos excepto el potencial osmótico a saturación. Por el contrario, la aplicación de paclobutrazol sólo redujo el potencial hídrico foliar de las plantas tratadas (Tabla 7).

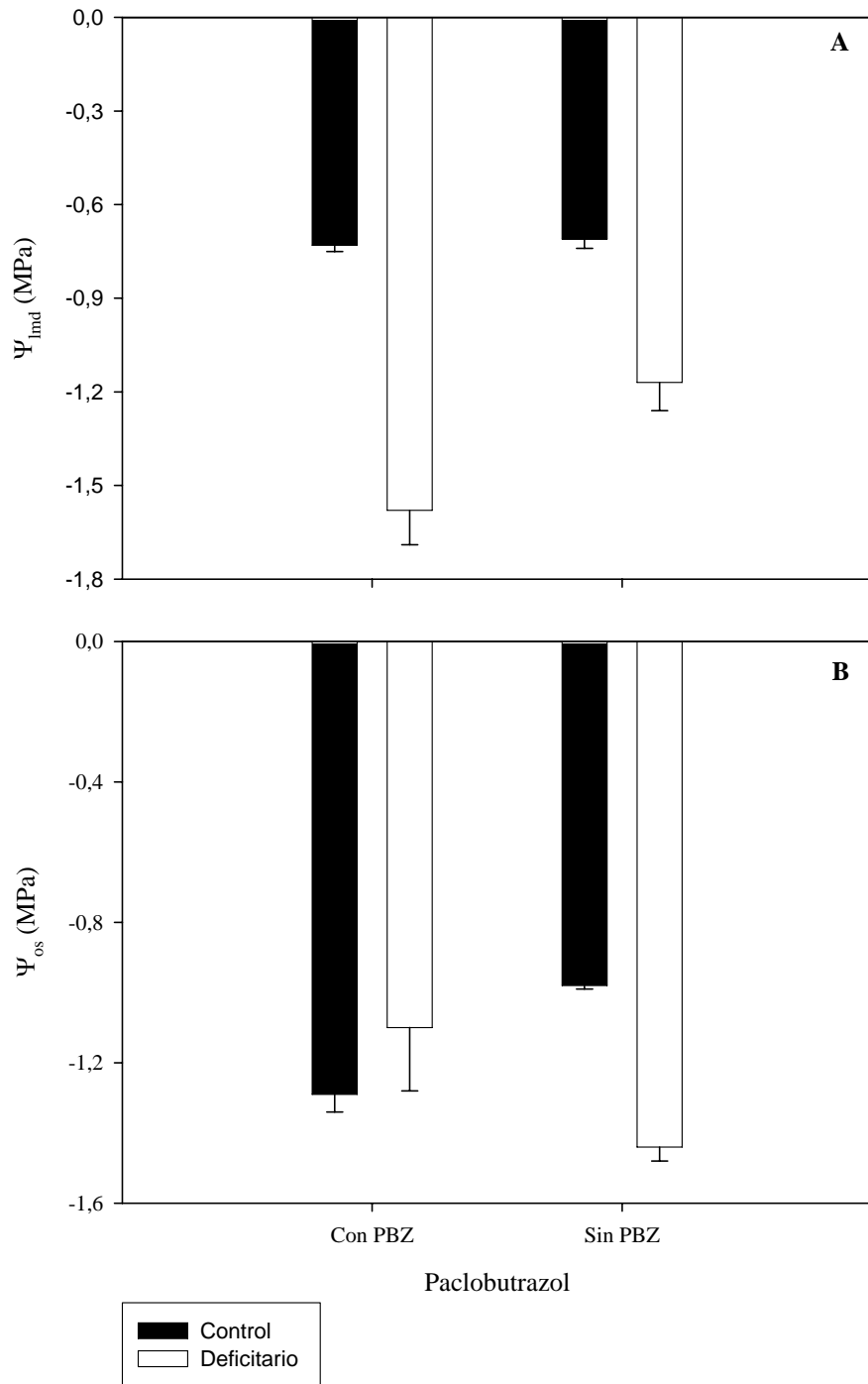
Tanto en el potencial hídrico como en el potencial osmótico a saturación hubo interacción entre ambos tratamientos.

En el potencial hídrico se observa efecto del PBZ cuando hay riego deficitario, incrementando la disminución que éste produce (Figura 21). Para el potencial osmótico a saturación, el riego deficitario produce una disminución en ausencia de PBZ, sin embargo, con la aplicación del fitorregulador, tanto las macetas de riego normal como las de riego deficitario muestran valores intermedios, sin diferencias significativas entre ellos.

**Tabla 7.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros hídricos medidos al mes de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
$\Psi_{\text{hmd}}$ (MPa)	-0.72	-1.38	-1.16	-0.94	***	*	*
$\Psi_{\text{omd}}$ (MPa)	-1.18	-1.59	-1.41	-1.36	**	ns	ns
$\Psi_{\text{pmd}}$ (MPa)	0.46	0.21	0.25	0.42	*	ns	ns
$\Psi_{\text{osat}}$ (MPa)	-1.13	-1.27	-1.19	-1.21	ns	ns	**
CRA (%)	89.37	84.16	87.75	85.79	*	ns	ns
$P_n$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	1.87	0.54	1.06	1.35	*	ns	ns
$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	51.2	13.08	31.61	32.67	***	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial



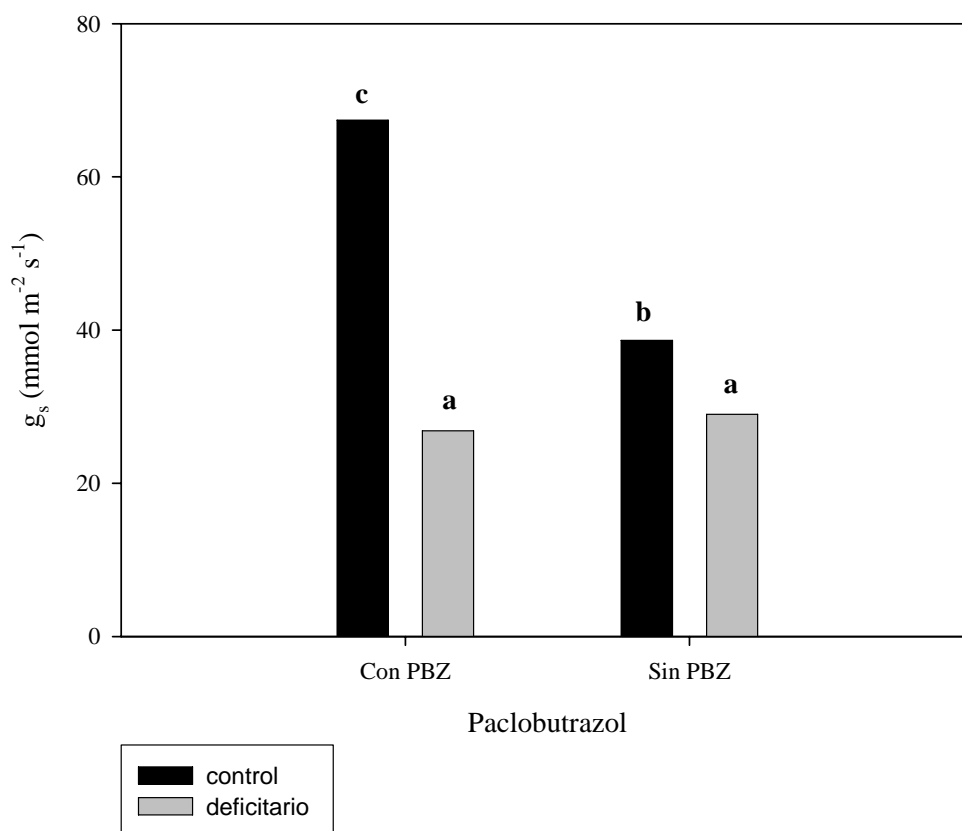
**Figura 21.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el potencial hídrico a mediodía ( $\Psi_{hmd}$ ; A) y el potencial osmótico a máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ; B) al mes de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test

A los dos meses, tanto el riego deficitario como la aplicación de paclobutrazol, disminuyeron el potencial hídrico, el potencial de presión, el CRA y la  $g_s$ ; el riego deficitario además incrementó el potencial osmótico a saturación, lo que refleja una disminución en la cantidad de solutos con ausencia de ajuste osmótico. Sólo hubo interacción entre ambos tratamientos para los valores de  $g_s$  (Tabla 8). Para este parámetro, se observa que con riego deficitario los valores no varían con la aplicación de PBZ; mientras que aumentan con su aplicación en las macetas con riego control (Figura 22).

**Tabla 8.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros hídricos medidos a los dos meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
$\Psi_{hmd}$ (MPa)	-0.67	-1.32	-0.81	-1.18	***	*	ns
$\Psi_{omd}$ (MPa)	-1.12	-1.27	-1.21	-1.18	ns	ns	ns
$\Psi_{pmd}$ (MPa)	0.44	-0.05	0.40	0.01	*	*	ns
$\Psi_{osat}$ (MPa)	-1.52	-1.33	-1.44	-1.41	*	ns	ns
CRA (%)	91.23	84.05	89.21	86.06	**	*	ns
$P_n$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	2.25	2.21	1.98	2.48	ns	ns	ns
$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	53.04	27.93	47.14	33.83	**	*	*

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial



**Figura 22.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en la conductancia estomática a los dos meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Los valores son una media de  $n = 4$  y letras diferentes indican diferencias significativas según Duncan<sub>0,05</sub> test

Las relaciones hídricas de las plantas se vieron afectadas por ambos tratamientos, aunque de manera diferente. El riego deficitario disminuyó el potencial hídrico foliar (Tabla 9) con un efecto negativo en el estado hídrico de la planta. El ajuste osmótico fue muy pequeño y por tanto insuficiente para evitar un menor potencial de turgencia (Tabla 9). El estado hídrico de las plantas que recibieron PBZ mejoró con respecto a aquellas que no fueron tratadas, obteniéndose valores más altos en el potencial hídrico foliar y el potencial de presión en las plantas tratadas respecto a aquellas que no lo fueron (Tabla 9), ya que generalmente este retardante del crecimiento reduce el consumo hídrico en las plantas (Atkinson y Chauhan, 1987; Abod y Webster 1991a).

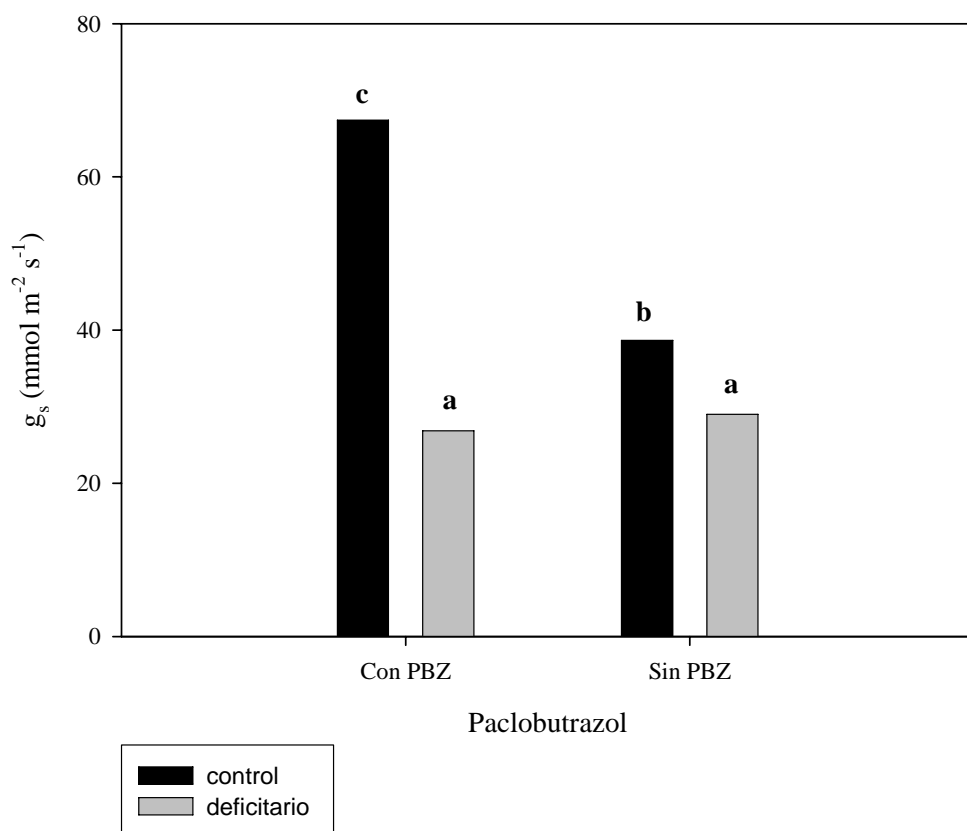
En el estudio de la interacción de ambos factores, se observó como la conductancia estomática se vio significativamente afectada por el PBZ y por el riego (Tabla 9). La interacción mostró que en las plantas tratadas con paclobutrazol, el déficit hídrico redujo un 60% la conductancia estomática, mientras que en aquellas tratadas pero bajo condiciones control se obtuvieron los valores más altos de este parámetro (Figura 23). La reducción del  $g_s$  es un mecanismo desarrollado por las plantas en condiciones de estrés para optimizar el uso del agua (Munns, 1988). Ninguno de los factores estudiados modificó la fotosíntesis, pero en cambio incrementaron el contenido relativo de clorofila (Tabla 9).

**Tabla 9.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros hídricos medidos a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
$\Psi_{hmd}$ (MPa)	-0.71	-0.95	-0.70	-0.96	**	**	ns
$\Psi_{omd}$ (MPa)	-1.76	-1.82	-1.82	-1.77	ns	ns	ns
$\Psi_{pmd}$ (MPa)	1.06	0.87	1.12	0.81	**	***	ns
$\Psi_{osat}$ (MPa)	-1.24	-1.24	-1.26	-1.22	ns	ns	ns
CRA (%)	91.90	85.70	87.04	90.55	**	*	ns
$P_n$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	2.25	2.21	1.98	2.48	ns	ns	ns
$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	53.04	27.93	47.14	33.83	**	*	*

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial

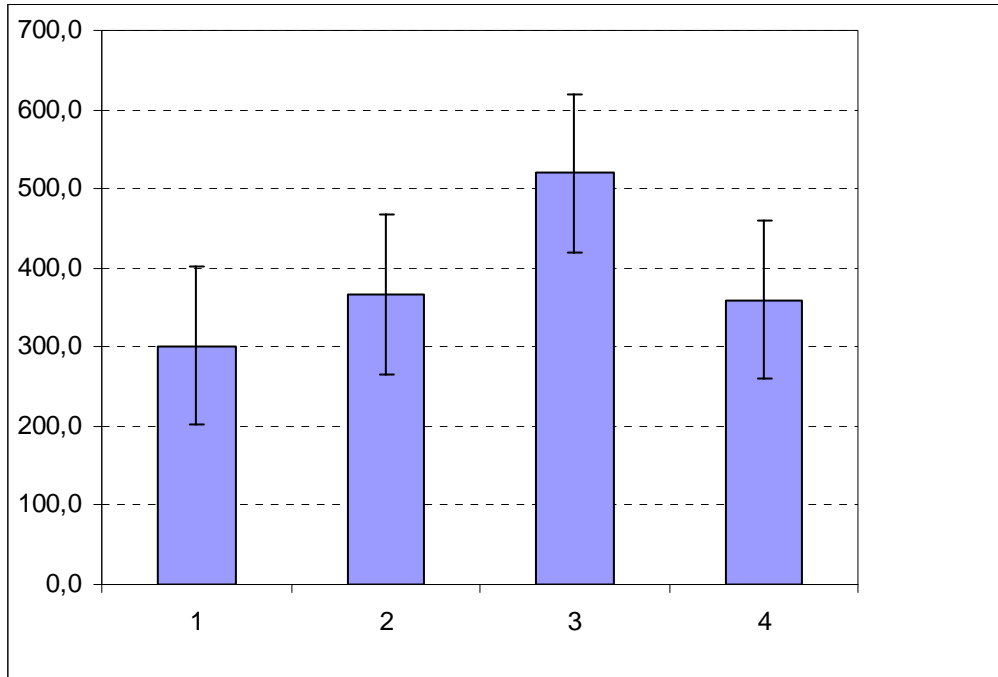




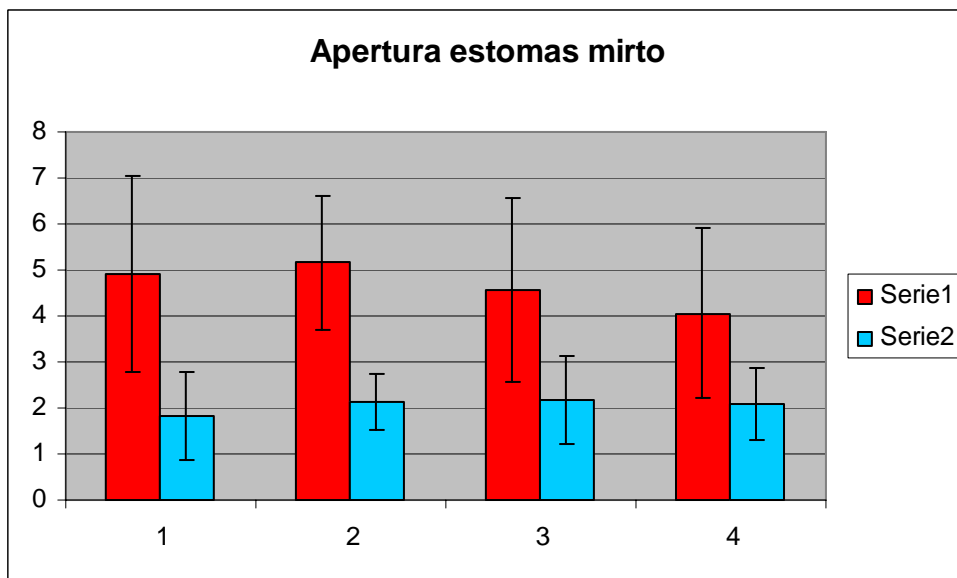
**Figura 23.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en la conductancia estomática a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Los valores son una media de  $n = 4$  y letras diferentes indican diferencias significativas según Duncan<sub>0,05</sub> test

### Densidad y apertura estomática

En ninguno de los parámetros se observaron diferencias entre los distintos tratamientos (Figuras 24 y 25 ).



**Figura 24.** Densidad estomática (estomas/mm<sup>2</sup>) en cada tratamiento de mirto. El tratamiento 1 es riego deficitario con PBZ, el 2 es riego deficitario, el 3 es riego normal con PBZ y el 4 es riego normal



**Figura 25.** Apertura longitudinal (rojo) y transversal (azul) de los estomas en cada tratamiento de mirto. El tratamiento 1 es riego deficitario con PBZ, el 2 es riego deficitario, el 3 es riego normal con PBZ y el 4 es riego normal

**4.4.1.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE DESARROLLO AÉREO**

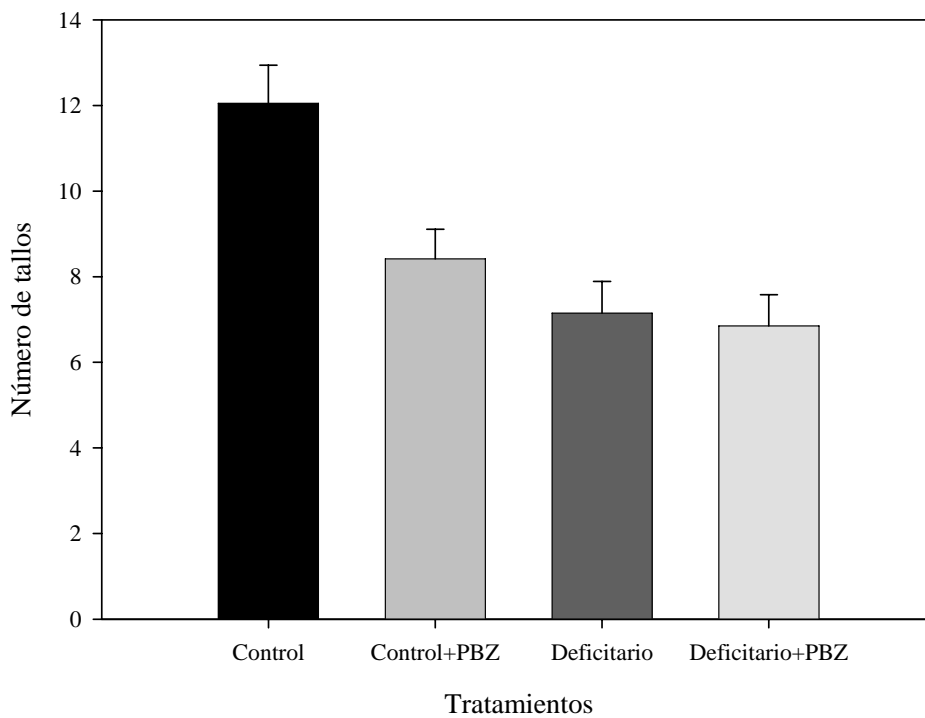
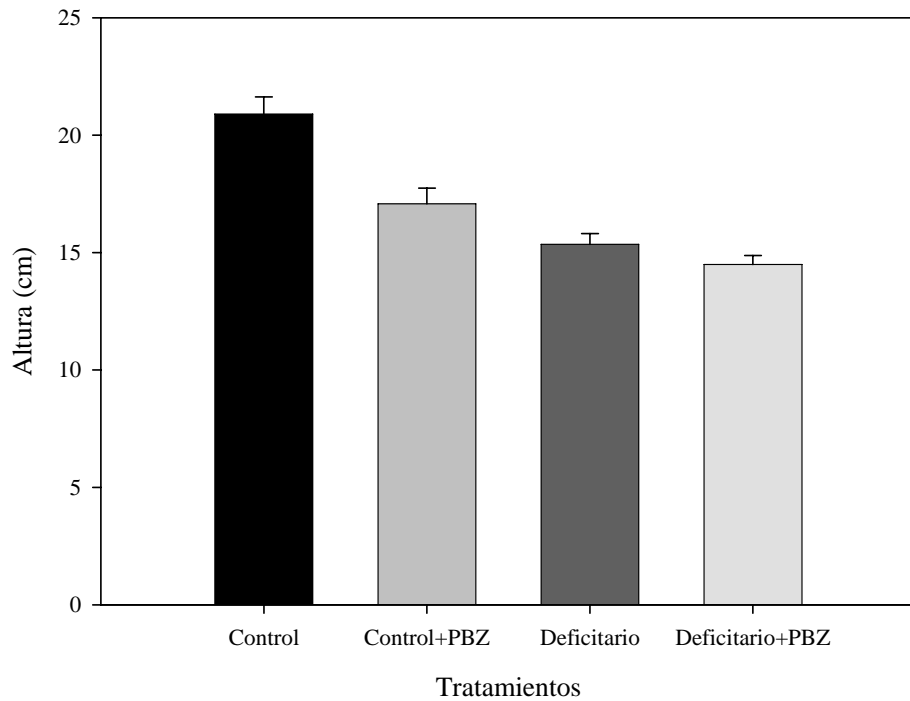
Al finalizar la fase de vivero, ambos tratamientos disminuyeron todos los parámetros del desarrollo aéreo, excepto el área foliar y la longitud de los entrenudos que sólo se vieron afectada por el riego deficitario (Tabla 10). Estos cambios morfológicos son similares a los observados en otras especies como *Phillyrea angustifolia* o *Arbutus unedo*.

Estudiando la interacción entre tratamientos se observa que tanto para la altura de planta, como el número de tallos, el área foliar y el peso seco disminuyen con el riego deficitario, independientemente de la aplicación o no de PBZ; El efecto del fitorregulador se observa con riego control (Figuras 26, 27, 28 y 29).

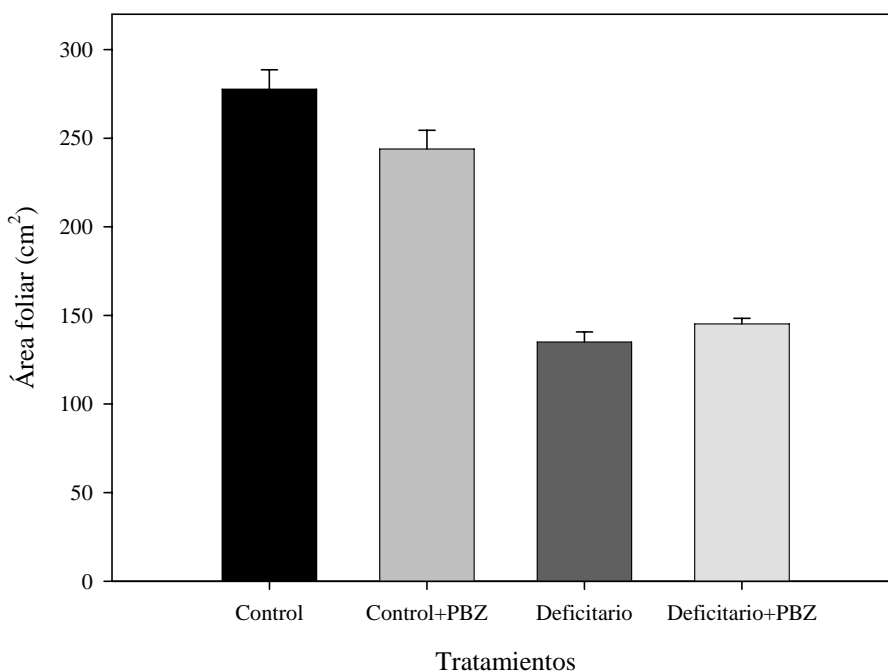
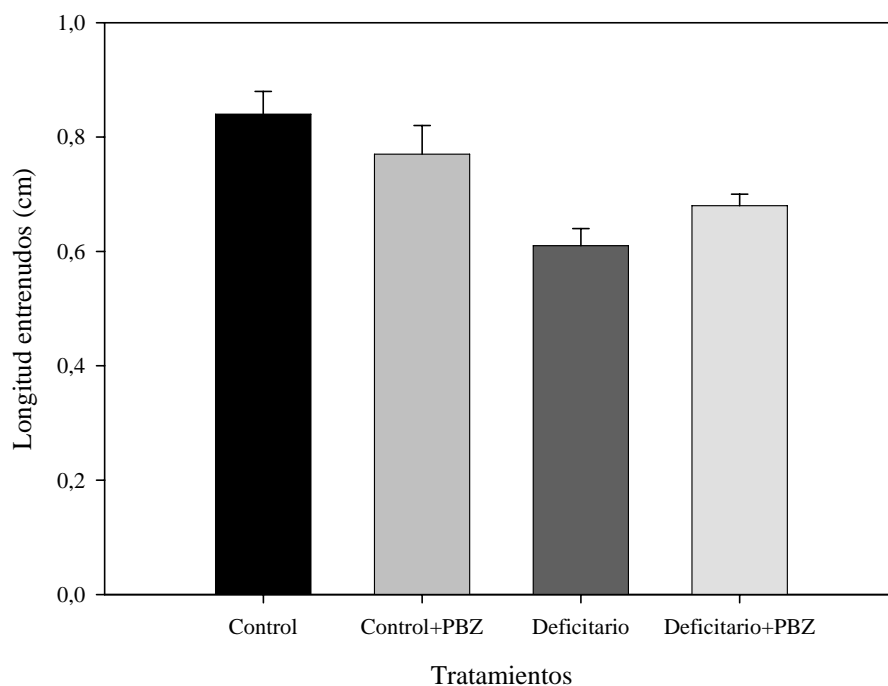
**Tabla 10.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros de crecimiento aéreo y la clorofila medidos al finalizar la etapa de endurecimiento en plántulas de mirto

PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
Altura (cm)	18.99	14.92	15.78	18.13	***	***	*
Número de tallos	10.24	7.0	7.64	9.60	***	*	*
Diámetro tallo (mm)	3.32	2.86	2.91	3.28	*	*	ns
Longitud entrenudos(cm)	0.81	0.64	0.73	0.72	***	ns	*
Área foliar	260.80	140.09	194.54	206.35	***	ns	**
P.S. aéreo (g planta <sup>-1</sup> )	4.72	3.06	3.58	4.20	***	**	**
Clorofila	37.72	45.24	43.47	39.49	***	**	ns

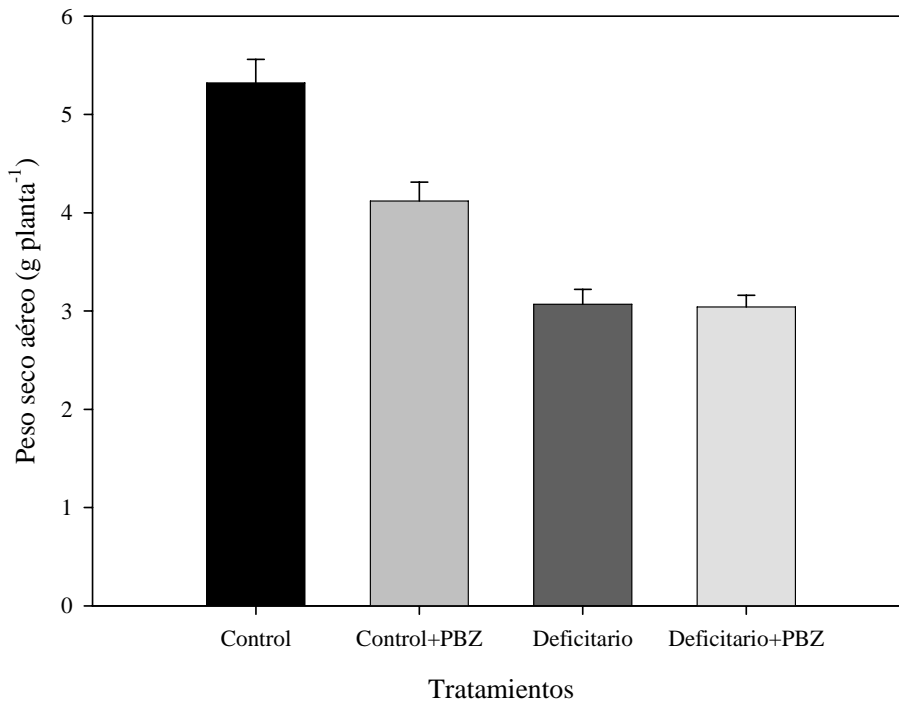
\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial



**Figura 26.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el número de tallos y la altura a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0.05</sub> test



**Figura 27.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el área foliar y la longitud de los entrenudos a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test



**Figura 28.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el peso seco aéreo a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test



**Figura 29.** Cuatro ejemplares de mirto sometidas cada una a un tratamiento (riego control, riego control con PBZ, riego deficitario y riego deficitario con PBZ)

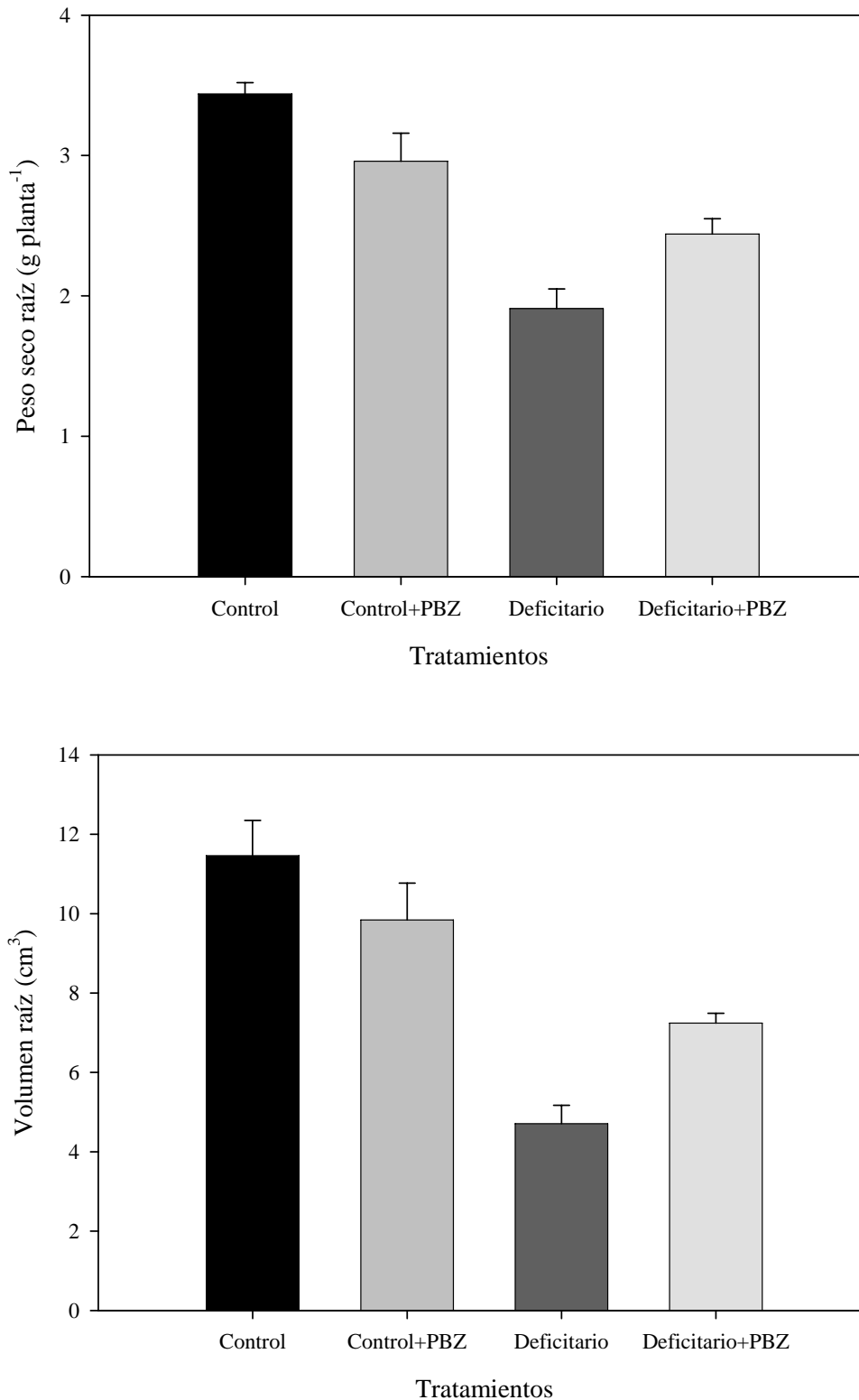
4.4.1.3. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE DESARROLLO RADICAL

Los parámetros de desarrollo radical no se vieron afectados por el PBZ, pero sí por el riego deficitario que los disminuyó significativamente todos excepto el diámetro de las raíces (Tabla 11). Estas disminuciones en las plantas regadas deficitariamente reflejan que el sustrato se encontraba extremadamente seco. Entre los dos tratamientos hubo interacciones para los valores del peso seco radical, del volumen radical, del número de puntas y de la longitud total de la raíz. En estos casos, el riego deficitario era lo que producía valores más bajos, mientras que el PBZ los reducía con riego control, y producía el efecto contrario con riego deficitario (Tabla 11 y Figuras 30, 31 y 32).

**Tabla 11.** Estudio de la significación de los efectos del riego (R), el paclobutrazol (P) y su interacción (RxP) sobre los principales parámetros de desarrollo radical medidos al finalizar la etapa de endurecimiento en plántulas de mirto

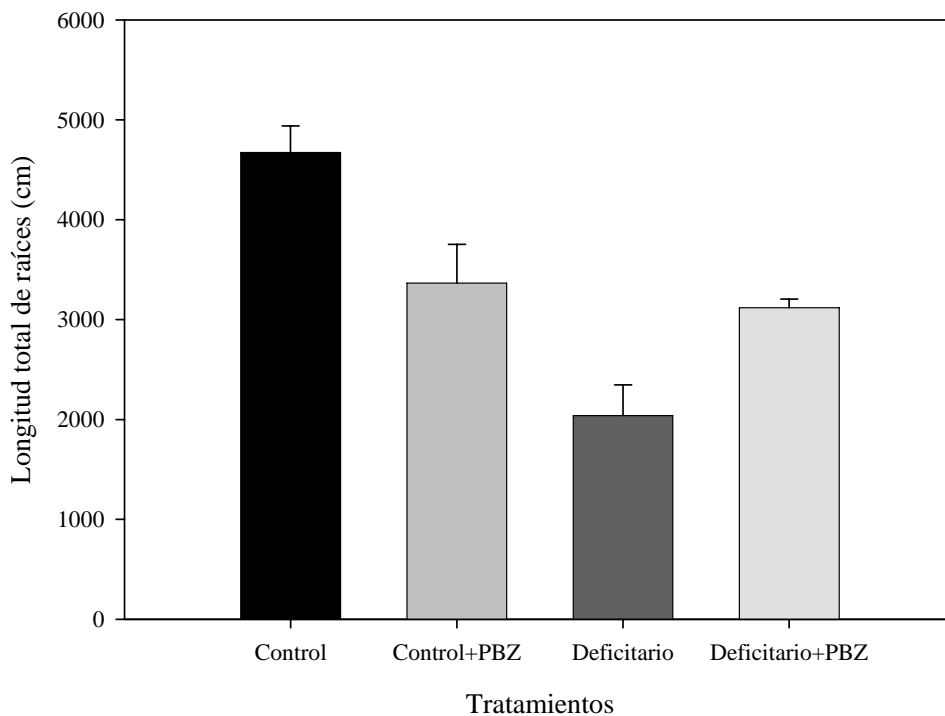
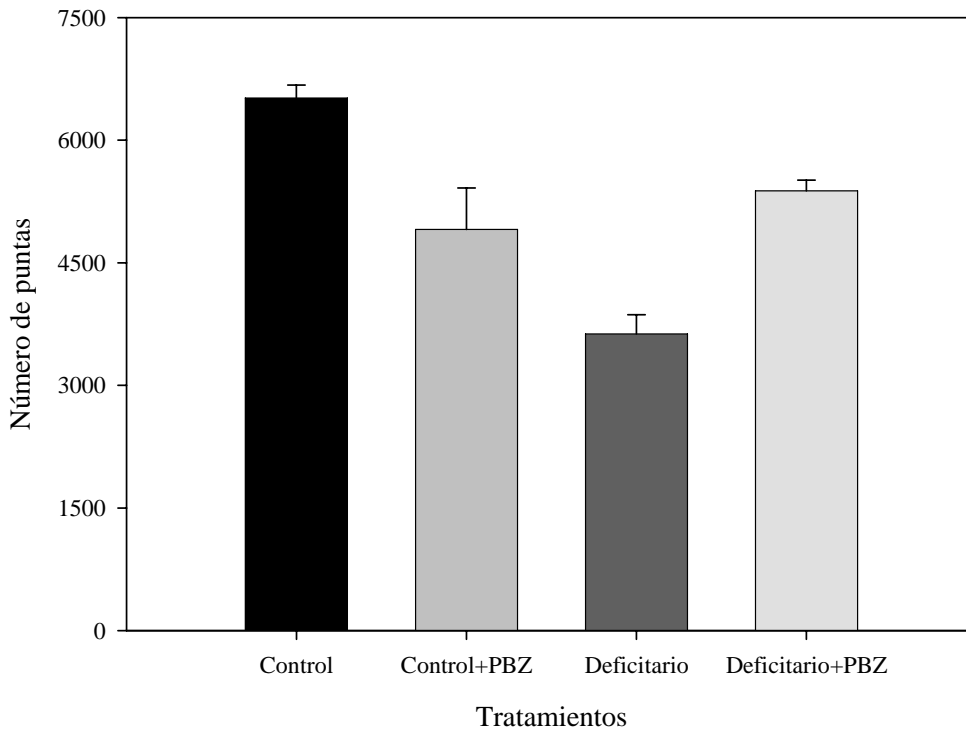
PARÁMETROS MEDIDOS	Riego		PBZ (mg)		Significación		
	Control	Deficitario	Con	Sin	R	P	RxP
P.S. Raíz (g planta <sup>-1</sup> )	3.20	2.18	2.70	2.67	***	ns	**
P.S. aéreo/P.S. raíz	1.53	1.25	1.34	1.44	**	ns	ns
Volumen radical (cm <sup>3</sup> )	10.65	5.98	8.54	8.08	***	ns	*
Densidad de raíces (g/cm <sup>3</sup> )	0.29	0.38	0.31	0.35	*	ns	ns
φ medio raíces (mm)	0.58	0.54	0.57	0.55	ns	ns	ns
Nº de puntas	5711.75	4504.88	5144.25	5072.38	**	ns	***
L. Total Raíces (cm)	4019.45	2578.84	3242.10	3356.19	**	ns	**
L <sub>&lt;0.5 mm</sub> φ (%)	60.27	63.61	61.21	62.67	ns	ns	ns
L <sub>0.5-1.0 mm</sub> φ (%)	28.07	25.05	27.13	25.99	*	ns	ns
L <sub>1.0-2.0 mm</sub> φ (%)	8.42	7.92	8.36	7.98	ns	ns	ns
L <sub>&gt;2.0 mm</sub> φ (%)	3.24	3.43	3.30	3.37	ns	ns	*

\*, \*\*, \*\*\* y ns indican el nivel de significación al 0.05, 0.01, 0.0001 y ausencia de significación, respectivamente, según un ANOVA bifactorial

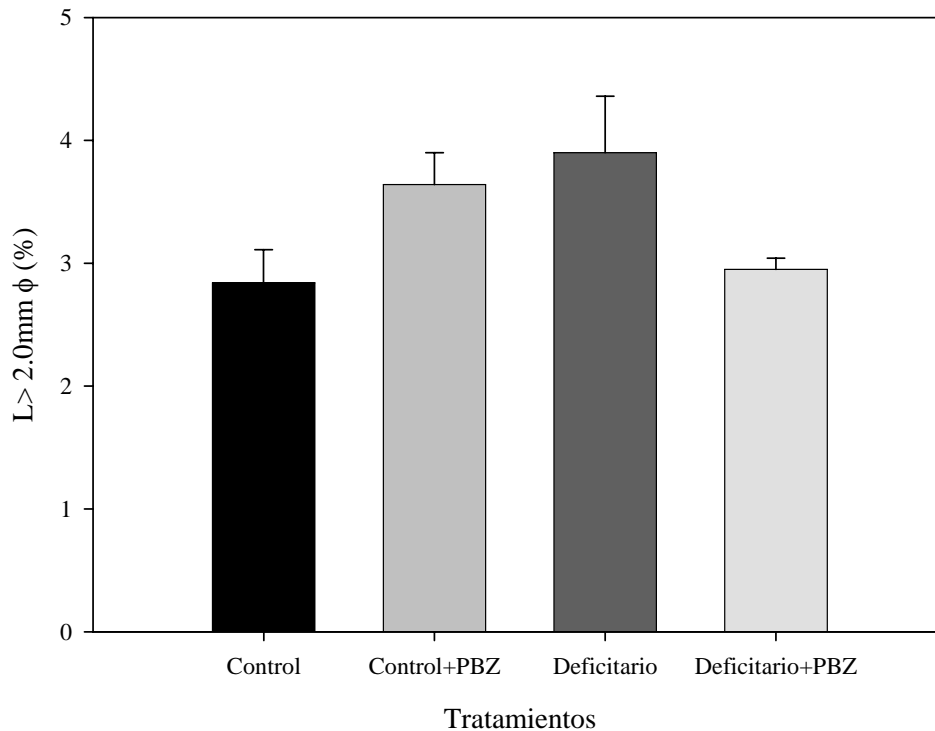


**Figura 30.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el volumen radical y peso seco radical a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0.05</sub> test





**Figura 31.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el número de puntas y longitud total de la raíz a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test

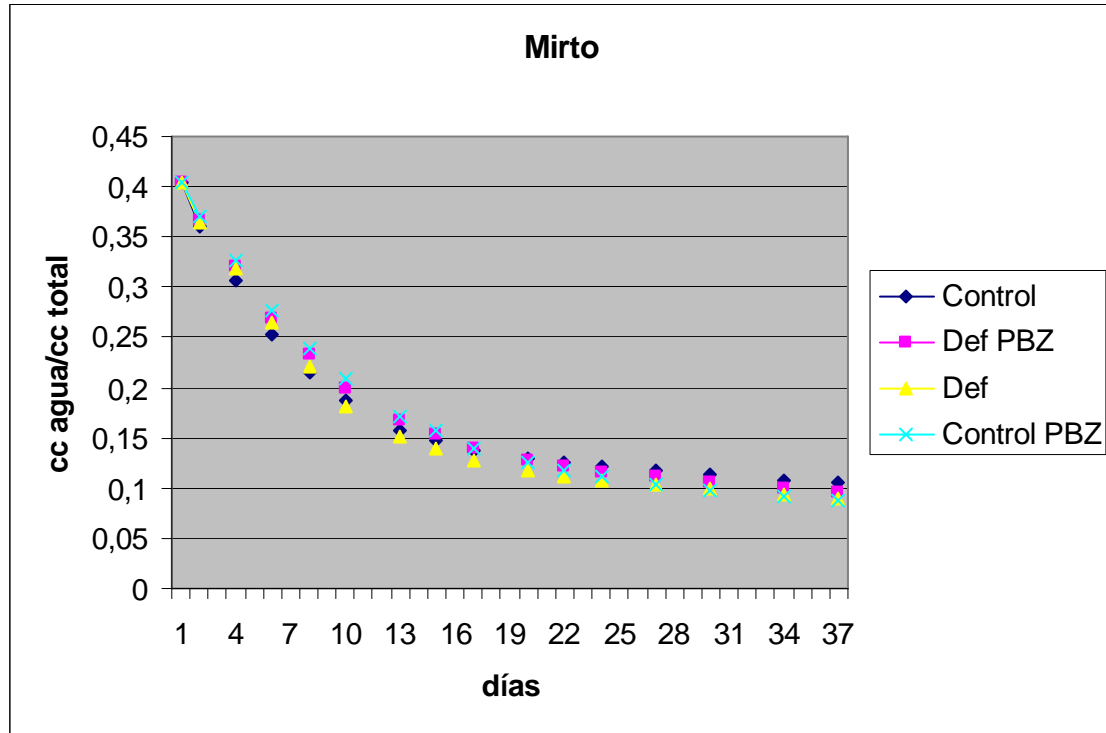


**Figura 32.-** Estudio de la interacción del régimen de riego por el paclobutrazol en el porcentaje de raíces de más de 2 mm de diámetro a los tres meses de iniciarse los tratamientos en plantas de mirto. Las barras verticales sobre cada histograma representan el error estándar de una media de 4 valores según Duncan<sub>0,05</sub> test

#### 4.4.2. FASE DE ESTABLECIMIENTO EN CAMPO

##### 4.4.2.1. MEDIDA DE LA PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPOTRANSPIRACIÓN DESPUÉS DEL ÚLTIMO RIEGO

Todas las plantas, independientemente de los tratamientos recibidos, mostraron un comportamiento similar, sin diferencias significativas (Figura 33). Sólo se observó en las plantas control que fueron las que más agua perdieron los primeros días, para posteriormente pasar a ser las que menos evapotranspiraban y terminar siendo las que más agua conservaron.



**Figura 33.** Contenido de agua del sustrato en las plantas de mirto tras el último riego

#### 4.4.2.2. MEDIDA DE LA MORTALIDAD DE PLANTAS Y RELACIÓN CON LOS TRATAMIENTOS DE ENDURECIMIENTO EN LA FASE DE VIVERO

En el caso de las plantas de mirto, las del tratamiento control fueron las que menos resistieron, con clara diferencia, pues en el primer recuento ya habían muerto más de la mitad y antes de terminar el ensayo ya no quedaba ninguna viva (Tabla 12). De las plantas que habían sido regadas deficitariamente y no habían recibido la aplicación de paclobutrazol, la mitad de ellas sobrevivieron hasta el final, muriendo la otra mitad durante los días intermedios. Prácticamente todas las plantas tratadas con paclobutrazol resistieron hasta el día 13 de julio, fecha en la que habían transcurrido 37 días después del último riego.

Estos resultados demuestran que la aplicación de paclobutrazol es el método de endurecimiento más eficaz de los dos utilizados, pues todas las plantas tratadas con esta hormona sobreviven al máximo, tanto si habían sido regadas con dosis normales o de forma deficitaria. Las causas de esta resistencia creada en las plantas son debidas a los cambios morfológicos y fisiológicos que el paclobutrazol indujo en ellas.

Las modificaciones fisiológicas provocaron una mejora en el estado hídrico de las plantas, con una reducción del consumo de agua que les permitió sobrevivir mejor en condiciones de sequía. La reducción del  $g_s$  permitió a las plantas optimizar el uso del agua en condiciones de estrés (Munns, 1988).

Las modificaciones morfológicas aéreas que se produjeron fueron, entre otras, disminuciones de la altura, del número de tallos, del diámetro del tallo, del peso seco aéreo, las cuales permitieron reducir las pérdidas de agua, así como un aumento del contenido de clorofila.

En cuanto a las modificaciones morfológicas radicales, se produjo una amortiguación del efecto de un riego normal o deficitario para los valores del peso seco radical, del volumen radical, del número de puntas y de la longitud total de la raíz. Especialmente en las plantas de riego control, estos efectos permitieron que el sistema radical tuviera una morfología más adecuada para poder aprovechar al máximo el escaso contenido de agua del sustrato.

El riego deficitario también fue muy efectivo en el endurecimiento de las plantas, aunque un poco menos, pues cuando no se aplicó paclobutrazol la mitad de las plantas murieron unos días antes. Las adaptaciones que el riego deficitario indujo en las plantas de mirto y que les permitieron resistir mejor a condiciones de sequía fueron modificaciones fisiológicas y morfológicas que afectaron tanto al desarrollo aéreo como radicular.

Las modificaciones fisiológicas fueron: disminución del potencial hídrico foliar y reducción de la conductancia estomática, debida a una disminución en la turgencia de las hojas como consecuencia del bajo potencial hídrico, que evita así un exceso de pérdida de agua. Las modificaciones morfológicas aéreas provocaron una disminución de todos los parámetros de crecimiento aéreo y el aumento del contenido de clorofila. En cuanto a las modificaciones morfológicas radicales, éstas consistieron en una disminución del peso seco radical, del volumen radical, de la densidad de raíces, del número de puntas y de la longitud total de raíces, disminuciones que ocurren cuando el sustrato está extremadamente seco. También disminuyó la relación peso seco aéreo/peso seco radical, siendo éste uno de los parámetros que más afecta a las plantas tras el trasplante, lo que permitió a las plantas una mayor capacidad de supervivencia una vez transplantadas.

Si comparamos la mortalidad en ambas especies, se observa claramente que la madreSelva es una especie de por sí mucho más resistente, a situaciones de alta temperatura y falta de agua, pues las plantas no tratadas ni con riego deficitario ni con paclobutrazol tardaron un mes en empezar a morir, mientras que en ese momento ya habían muerto más de la mitad de los ejemplares de mirto control. Quizás por ello, el efecto de ambos tratamientos es más evidente en el mirto, aunque los ejemplares más resistentes de cada especie y cada tratamiento murieron al mismo tiempo, probablemente condicionados también por las condiciones de extremo calor y sequía a las que estaban sometidas en el interior del invernadero.

También se puede comprobar que el parámetro que con más certeza refleja el endurecimiento de las plantas es la relación PS aéreo/PS radical. Su disminución determina un aumento en la supervivencia en condiciones de estrés, pues ello es debido a una disminución en los parámetros de crecimiento aéreo, reduciendo las pérdidas de agua de la planta; y/o un incremento en los parámetros de crecimiento radical, lo que permite obtener mayor cantidad de agua del sustrato en condiciones de sequía.

**Tabla 12.** Número de plantas de mirto de cada tratamiento muertas cada día tras el último riego, de un total de 17 por tratamiento.

	29/6	3/7	6/7	10/7	13/7	17/7
<b>RC</b>	10	10	12	17	17	17
<b>RC+PAC</b>	0	0	0	0	0	13
<b>RD</b>	1	1	1	8	8	16
<b>RD+PAC</b>	0	0	0	1	1	15