

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE
BRASINOESTEROIDES Y GIBERELINAS SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE ALCACHOFA “BLANCA DE
TUDELA”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio - 2014

Autor: Juan Mercader Soto

Tutores: M^a Asunción Amorós Marco

M^a Soledad Almansa Pascual de Riquelme

Efectos de la aplicación de brasinoesteroides y giberelinas sobre la producción de alcachofa “Blanca de Tudela”

Brassinosteroid and gibberellin effects on the yield of "Blanca de Tudela" artichoke

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado una serie de ensayos para intentar incrementar la producción de alcachofas, variedad Blanca de Tudela plantadas a partir de esquejes en campo, cuando son tratadas con el brasinoesteroide de síntesis DI-31 y con el ácido giberélico GA3. Los tratamientos se han realizado con diferentes concentraciones: 10 y 20 ppm de GA3 y 20 y 32 ppm de DI-31, así como con una mezcla de ambas fitohormonas a 10 ppm de GA3 y 32 ppm de DI-31. Los resultados han mostrado que ninguno de los tratamientos realizados ha logrado incrementar la producción de alcachofas, el peso de las mismas ni su número por planta.

ABSTRACT

In this work we has conducted a test series to attempt increase the production of artichokes Blanca de Tudela variety planted from cuttings in the field when they are treated with DI-31, a brassinosteroid analogue, and GA3. Treatments were carried out with different concentrations: 10 or 20 ppm of GA3 or 20 or 32 ppm of DI-31, as well as a mixture of the two phytohormones: 10 ppm GA3 and 32 ppm of DI-31. The results showed that neither of the treatments done was able to increase the production of artichokes or artichokes weight neither the number of artichokes per plant.

Palabras clave: alcachofa, brasinoesteroide, GA3, producción, calidad.

Keywords: artichoke, brassinosteroid, GA3, yield, quality.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar quiero dar las gracias a Dña. Asunción Amorós y Dña M^a Soledad Almansa las cuales me han dirigido este trabajo fin de grado y sin su ayuda no habría sido posible hacerlo.

También quiero dar las gracias a toda mi familia y en especial a mis padres, Andrés y M^a Dolores y a mi hermana por todo su apoyo.

Y por último y no menos importante quiero agradecer a mi novia Amanda López todo este tiempo por aguantarme como nadie y por apoyarme en todo momento.



Índice.

1. INTRODUCCION.....	4
1.1. EL CULTIVO DE LA ALCACHOFA.....	4
1.1.1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL CULTIVO.....	4
1.1.2. ENCUADRAMIENTO TAXONÓMICO.....	4
1.1.3. MORFOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	5
1.1.4. PROPAGACION.....	10
1.1.5. CONSIDERACIONES AGRONOMICAS.....	12
1.1.5.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO.....	12
1.1.5.2. SIEMBRA Y PLANTACIÓN.....	12
1.1.5.3. OTRAS LABORES.....	13
1.1.6. DESCRIPCIÓN DE VARIEDADES.....	13
1.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA ALCACHOFA.....	16
1.2.1. LA PRODUCCIÓN DE ALCACHOFA EN ESPAÑA.....	16
1.3. BRASINOESTEROIDES.....	22
1.3.1. ORIGEN DE LOS BRASINOESTEROIDES.....	22
1.3.2. ESTRUCTURA QUIMICA.....	23
1.3.3. DISTRIBUCION DE LOS BRASINOESTEROIDES EN LAS PLANTAS.....	24
1.3.4. EFECTOSFISIOLOGICOS.....	25
1.3.5. APLICACIONES PRACTICAS EN LA AGRICULTURA.....	28
1.3.6. BRASINOESTEROIDE EMPLEADOS EN ESTE TRABAJO..	29
1.4. GIBERELINAS.....	31
1.4.1. ESTRUCTURA QUÍMICA.....	31
1.4.2. ACTIVIDAD BIOLÓGICA.....	32
1.4.3. BIOSÍNTESIS DE Gas.....	33
1.4.4. EFECTOS FISIOLÓFICOS DE LAS Gas.....	33
1.4.5. APLICACIONES COMERCIALES DE LAS Gas.....	34

1.4.6. APLICACIONES COMERCIALES DE LAS GAS EN ALCACHOFA.....	35
2. OBJETIVOS.....	37
3. MATERIAL Y METODOS.....	39
3.1. MATERIAL VEGETAL.....	39
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	39
3.3. PLAN DE TRABAJO.....	49
3.4. DETERMINACIONES DE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO....	51
3.5. DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS ALCACHOFAS.....	54
3.5.1. DETERMINACIONES DE PESO.....	54
3.5.2. DETERMINACIONES DE DIÁMETROS.....	56
3.5.3. DETERMINACIONES DEL COLOR POR REFLEXIÓN.....	56
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	58
4. RESULTADOS.....	61
4.1. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PLANTA....	61
4.2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN.....	63
4.3. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA CALIDAD VISUAL DE LAS ALCACHOFAS.....	68
5. DISCUSIÓN.....	79
5.1. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PLANTA.....	79
5.2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN	81
5.3. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA CALIDAD VISUAL DE LAS ALCACHOFAS.....	85
6. CONCLUSIONES.....	88
7. BIBLIOGRAFÍA.....	90



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. EL CULTIVO DE LA ALCACHOFA

1.1.1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL CULTIVO

La alcachofa (*Cynara scolymus* L.) es una planta vivaz oriunda de las regiones mediterráneas de la familia de las compuestas y de la que comercialmente se aprovecha su capítulo o inflorescencia en estado inmaduro, llamada alcachofa.

La parte comestible de esta hortaliza es el capítulo floral, que se recolecta antes de que alcance todo su desarrollo, cuando aún tiene las brácteas tiernas y todavía no se ha desarrollado la flor. El cultivo de la alcachofa está muy difundido en la zona del Mediterráneo occidental, especialmente en España, Francia e Italia.

Se sabe que en la antigüedad los griegos y los romanos ya la consumían, aunque, sin duda, se trataba de la alcachofa silvestre, que es muy similar al cardo, y parece ser que la importaban de África y España.

Sin embargo, la obtención de variedades de alcachofa destinadas al cultivo es relativamente reciente. Los horticultores italianos y de la España árabe empezaron a seleccionar plantas a partir de los ejemplares silvestres, y no fue hasta el siglo XV cuando su cultivo se difundió por Italia, Francia, España y luego Inglaterra (Del Valle, 1987).

1.1.2. ENCUADRAMIENTO TAXONÓMICO.

El encuadramiento taxonómico de la alcachofa se encuentra especificado en la Tabla I.

Tabla I: Encuadramiento taxonómico de la alcachofa.

ENCUADRAMIENTO TAXONÓMICO	
REINO	Vegetal (Eukaryota)
DIVISION	Espermatofita
SUBDIVISION	Angiosperma
CLASE	Dicotiledonea
SUBCLASE	Simpétala
ORDEN	Tubiflora
FAMILIA	Compuesta
GENERO	<i>Cynara</i>
ESPECIE	<i>scolymus</i>

1.1.3. MORFOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.

Es una planta que surge de forma espontánea en las regiones Mediterráneas, comportándose como vivaz en nuestro clima y pudiendo permanecer varios años en el mismo terreno, siendo de dos a tres años su explotación comercial, aunque en el Campo de Cartagena se han llegado a dar plantaciones de cuatro años a la vez en el terreno, si bien hay que decir que esto actualmente no es rentable debido a la progresiva degeneración de la calidad de la alcachofa y a la disminución progresiva de la producción con el tiempo de cultivo de la planta.

Las partes que podemos distinguir en la planta de alcachofa son (Del Valle, 1987):

1. Raíces.

El aparato radicular es grueso y poderoso y se inserta en un rizoma (el rizoma es un tallo hipógeo horizontal, radiforme con yemas y raíces) muy desarrollado en el que se acumulan las reservas alimenticias que elabora la

planta. Estos rizomas permiten el rebrote vegetativo, por lo que son utilizados en la multiplicación de la planta (Fotografía 1).



Fotografía 1: Raíces de alcachofa.

2. Tallos.

Los tallos son gruesos, erguidos, no lignificados, presentan ramificaciones, y son acanalados longitudinalmente. Pueden llegar a alcanzar hasta 1,5 m. En los extremos de los tallos se producen las inflorescencias (Fotografía 2).



Fotografía 2: Tallos de alcachofa.

3. Hojas.

Las hojas son oblongas y largas, pueden alcanzar hasta 1 metro de longitud; el limbo presenta los bordes aserrados y numerosos lóbulos laterales, a veces muy profundos (Fotografía 3). Parece existir una correlación entre la forma del borde de la hoja y la degeneración de la planta. Cuanto más dentado es el borde del limbo, la producción de la planta es menor.

Presentan un nervio central grueso y nervaduras marcadas. El haz de la hoja, es de color verde grisáceo claro y el envés presenta pubescencia, es decir, una pelos de color blanquecino.



Fotografía 3: Hojas de alcachofa.

4. Flores.

La característica fundamental de la familia de las compuestas, a la que pertenece la alcachofa, es la de presentar las flores agrupadas en inflorescencias terminales denominadas capítulos o cabezuelas.

La inflorescencia es una ramificación que termina en flores. En este caso las flores son sésiles y se insertan en el ápice dilatado del eje principal, denominado receptáculo. Éste puede presentar una forma más o menos

convexa, es carnoso y el número de flores que en él se insertan es variable, pudiendo llegar a tener cientos de ellas. El receptáculo está rodeado por una serie de brácteas carnosas. La inflorescencia se produce siempre en los extremos de los tallos, tanto principales como secundarios.

La parte comestible de la alcachofera es el capítulo floral o receptáculo, que se consume cuando es tierno, antes de que se desarrolle totalmente y aparezcan las flores (Fotografía 4), pues entonces el receptáculo se endurece y se vuelve espinoso.



Fotografía 4: Receptáculo floral de la alcachofa.

Cuando aparecen las flores, que son de color azulado o violáceo, el receptáculo se abre (Fotografía 5). Las flores son hermafroditas y están formadas por cinco pétalos soldados que forman una corola tubulosa; presentan también cinco estambres soldados por sus anteras. Las flores que se encuentran bordeando el capítulo están provistas de lígula. Estas son autofecundadas.



Fotografía 5: Inflorescencia de la alcachofa.

5. Frutos.

Cada flor de la inflorescencia forma un aquenio provisto de vilano plumoso. Este vilano es una transformación del cáliz, y su función es la de favorecer la diseminación. El aquenio es un fruto seco indehisciente que tiene forma oblonga y es de color grisáceo con manchas pardas o negruzcas.

6. Semillas.

Se encuentran en el interior de los aquenios y son de color grisáceo con rayas más oscuras. Se trasladan a grandes distancias por el viento junto con el aquenio y permanecen viables de seis a siete años. Tardan en germinar unos 22 días aproximadamente. El número de semillas en un gramo es de 25 a 27, es decir, que 100 semillas pesan 4 gramos.

1.1.4 PROPAGACION.

Reproducción por semillas

Es un procedimiento poco utilizado tradicionalmente para el cultivo comercial, pero en los últimos años han aparecido variedades de alcachofa cultivadas a partir de semilla. Hasta hace poco tiempo se creía que las alcachofas producidas a partir de cultivos de semilla eran de inferior calidad. Sin embargo, tras las mejoras obtenidas, las alcachofas de semilla pueden ser de una calidad excelente, tanto en aspecto externo como culinario, además de las ventajas que aporta su utilización (Infoagro, 2014).

Con el cultivo mediante semilla la cosecha es anual, lo que hace que este cultivo sea más atractivo a los agricultores. La rotación de cultivos permite renovar la tierra cada año, eliminando plagas y enfermedades que eran residentes en el suelo en los cultivos perennes. El empleo de semillas permite el incremento de la densidad de plantación y por tanto incrementos en la producción del 60-80% con respecto al cultivo tradicional. Las cabezuelas no tienen espinas y son más resistentes al abrirse, cuando alcanzan la madurez reproductiva.

El futuro de la alcachofa depende en gran medida de la mejora genética, aunque las nuevas variedades de semillas pueden contribuir a un importante cambio tecnológico.

Multiplicación por hijuelos

Los hijuelos suelen tomarse entre febrero y marzo de las plantas madres, seleccionando los más vigorosos. Se recortan sus hojas y raíces y se plantan en viveros especiales, en líneas separadas entre sí de 8 a 10 cm. Para el trasplante se seleccionarán aquellos hijuelos que han fructificado en el vivero. Este procedimiento proporciona plantaciones muy homogéneas y con pocas marras pero es muy costoso.

Multiplicación por esquejes

Es el sistema más empleado en el litoral mediterráneo. Consiste en tomar de los pies madres sus rizomas, pudiéndose obtener de cada pie madre 4-6 esquejes, que son plantados directamente (Fotografía 6).



Fotografía 6: Esquejes de alcachofa.

Cultivo de meristemos

Las alcachofas reproducidas vegetativamente poseen graves problemas de degeneración que pueden ser eliminados mediante las modernas técnicas de cultivo de meristemos *in vitro*. Entre los problemas destacan la aparición de bacterias endógenas, vitrificación y muerte de la planta, etc. Pero la multiplicación *in vitro* permite obtener variedades tardías más sanas, vigorosas y productivas, sin marras de plantación lo que compensan el mayor coste de la planta.

1.1.5 CONSIDERACIONES AGRONOMICAS.

1.1.5.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Al tratarse de un cultivo bianual o trianual, la preparación del suelo debe ser lo más perfecta posible. El suelo se prepara mediante labores profundas, que aseguren una buena permeabilidad y aireación del suelo en profundidad. Posteriormente, se efectúan diferentes pases con rotavator para desmenuzar el terreno superficialmente.

1.1.5.2 SIEMBRA Y PLANTACIÓN

El cultivo de alcachofas mediante semilla permite tanto el trasplante como la siembra directa, siendo este último el método más extendido en las zonas productoras americanas. Los agricultores utilizan sembradoras de precisión que dejan caer de 2 a 3 semillas cada dos centímetros, con espacios de 60-90 cm entre línea. El ancho del marco de plantación varía entre 1,5-2 m. Utilizando marcos de anchura de 1,8 m y dejando 3 semillas cada dos centímetros en una línea con espacios de 60 cm, se necesitan aproximadamente 27.000 semillas/ha (1 kg). Las temperaturas elevadas en el suelo pueden ocasionar que el porcentaje de germinación decaiga notablemente.

Para plantas propagadas vegetativamente la plantación suele hacerse en los meses de julio y agosto, trazando surcos separados entre sí 0,8-1,2 m y entre plantas 0,8 m. Se colocan dos hijuelos en cada golpe, con la intención de suprimir más tarde el más débil de ellos dejando sólo uno. Los plantones no deben enterrarse mucho al hacer la plantación, pues con ello se corre el riesgo de que se pudran. Se pueden alcanzar densidades de 9.000 plantas/ha. Se evitará trasplantar si la temperatura de la superficie del terreno es fría, ya que el punto de crecimiento de la planta está localizado cerca de la superficie y el frío puede afectar considerablemente.

1.1.5.3 OTRAS LABORES

En el cultivo de la alcachofa destaca la realización de estas otras labores (Infoagro, 2014):

Reposición de marras. Suele efectuarse con el tempero proporcionado por el segundo riego. Con ello eliminamos aquellas plántulas que no han arraigado bien en el terreno tras el riego de plantación.

Recalzados y cavas.

Escarda química. Para el control de malas hierbas es común el empleo de los siguientes herbicidas en preplantación: trifluralina, metobromurón, metribuzina, metaben-zotiazurón, etc. En posplantación se puede emplear prometrina, linurón, nitrofené, simazina, etc., a las dosis recomendadas por el fabricante.

Podas. Al realizarse la recolección del primer año, es común realizar una poda severa a la planta cuando ésta ha empezado a secarse, para favorecer el desarrollo de los hijuelos que garantizan la producción del año siguiente.

1.1.6 DESCRIPCIÓN DE VARIEDADES

Los cultivares blancos, es decir, aquellos cuyas cabezuelas son de color verde claro, son los más cultivados en nuestro país. Se caracterizan por el gran desarrollo y productividad de las plantas, dando cabezuelas tiernas y precoces.

Dentro de las variedades blancas podemos distinguir varias, pero fundamentalmente la Blanca de Tudela, que además es sobre la que se han hecho los ensayos en este trabajo.

Las distintas variedades existentes son (Del Valle, 1987):

Blanca de Tudela: Es una planta grande, mide aproximadamente un metro (Fotografía 7). Alcachofa de tamaño mediano y más bien alargada. Las brácteas están muy apretadas, es muy productiva y bastante precoz. Procede de Navarra y de ahí se extendió a toda España. Los esquejes son importados del lugar de origen.

En la actualidad es la variedad predominante en nuestro país, por lo que podemos decir que tiene gran importancia, sobre todo en la zona mediterránea, como es el caso del Campo de Cartagena, donde casi la totalidad de las plantaciones de alcachofa son de esta variedad.

Blanca de Aranjuez: Es una variedad más tardía que la Blanca de Tudela y menos productiva. La alcachofa más achatada que la anterior, con brácteas cortas y muy apretadas.

Gruesa verde de Laon o de Paris: Es una planta vigorosa, algo rústica, bastante resistente al frío. Alcachofas anchas y de gran tamaño. Las brácteas que rodean la inflorescencia son tiernas y carnosas y están un poco separadas. Es una variedad tardía pero muy productiva y sus cabezuelas son de buena calidad. Se cultiva bastante en el norte de España.



Fotografía 7: Alcachofas variedad Blanca de Tudela.

Gruesa de Bretaña: Es una planta robusta de 1 metro de altura, con tallos gruesos. Alcachofas grandes, algo achatadas con brácteas apretadas de color verde oscuro en los bordes. Es una variedad muy precoz.

Gruesa romana: Es una planta con hojas de tamaño mediano y poco dentadas. Alcachofa de tamaño medio; las brácteas no están muy apretadas y son de color verde oscuro, a veces las más externas son algo espinosas. Tienen un sabor algo amargo y es una variedad muy productiva.

Getafe: Variedad más estimada que la de Tudela por ser más sabrosa. Alcachofa mediana, muy tierna y sabrosa, de buena calidad. Muy cultivada en el centro de la península.

Violeta Provenza: Alcachofa alargada y truncada, de tamaño mediano, parecida a la Tudela. El color de las brácteas es violeta, más oscuro en la base (Fotografía 8). Es una variedad reflorecente, sensible a las bajas temperaturas y adecuada para climas meridionales y cálidos. Es una variedad francesa que se cultiva mucho en el sur de Francia.



Fotografía 8: Alcachofa violeta de Provenza

Empoli: Planta vigorosa de 1,5 metros de alto, con hojas largas y delgadas de color verde claro. Alcachofa gruesa, redonda y de color violáceo. Es una variedad italiana temprana.

Venecia: Plantas con hojas grandes. La alcachofa es gruesa con brácteas redondas y divididas, de color violeta. Variedad italiana muy productiva y temprana.

1.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA ALCACHOFA

España es el tercer productor mundial de alcachofa, con una producción de 199.100 toneladas en 2012, siendo el mayor productor Egipto el cual aventaja a Italia por muy pocas toneladas. El principal competidor de España en Europa es Italia que casi le dobla la producción (Fig.1 y Tabla II).



Figura 1: Producción mundial de alcachofa en 2012 (FAO, 2012).

1.2.1. LA PRODUCCIÓN DE ALCACHOFA EN ESPAÑA

La superficie total destinada al cultivo de alcachofa en 2011 fue de 15.144 ha, de las cuales 134 eran de secano y 15.009 ha de regadío, todas ellas cultivadas al aire libre (Tabla III). La producción total a nivel nacional representaba para este año 182.120 toneladas. Las comunidades de mayor producción son la Región de Murcia con 78.320 t y la Comunidad Valenciana con 44.428 t.

Tabla II: Producción mundial de alcachofas en 2012 (FAO, 2012).

Posición	País	Producción (t)
1	Egipto	387000
2	Italia	364871
3	España	199100
4	Perú	141000
5	Argentina	106000
6	China	77000
7	Marruecos	63889
8	Argelia	53657
9	Estados Unidos	51300
10	Francia	42465
11	Turquía	32173
12	Grecia	31600
13	Chile	22500
14	Irán	18000
15	Túnez	18000
16	República Árabe Siria	6800

En la Tabla IV se puede observar la evolución, entre 2001 y 2011, de la superficie, rendimiento, producción y precio de la alcachofa en España. Entre 2001 y 2004 hubo un ligero aumento anual tanto de la superficie como del rendimiento y la producción de alcachofas pero, posteriormente y hasta 2010, se ha producido un descenso en la superficie cultivada, en el rendimiento y en la producción de alcachofas en España.

Tabla III: Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción de la alcachofa en España (Magrama, 2011).

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie (hectáreas)				Rendimiento (kg/ha)			Producción (toneladas)
	Secano	Regadío		Total	Secano	Regadío		
		Aire libre	Protegido			Aire libre	Protegido	
CANTABRIA	2	–	–	2	13.000	–	–	26
Álava	–	1	–	1	–	11.000	–	11
PAÍS VASCO	–	1	–	1	–	11.000	–	11
NAVARRA	–	911	–	911	–	12.132	–	11.053
LA RIOJA	–	236	–	236	–	12.500	–	2.950
Teruel	–	2	–	2	–	12.000	–	24
Zaragoza	–	25	–	25	–	25.000	–	624
ARAGÓN	–	27	–	27	–	24.037	–	648
Barcelona	1	219	–	220	7.040	8.347	–	1.835
Girona	–	26	–	26	–	11.455	–	298
Lleida	–	14	–	14	–	12.471	–	175
Tarragona	–	680	–	680	–	12.000	–	8.160
CATALUÑA	1	939	–	940	7.040	11.140	–	10.468
BALEARES	24	80	–	104	2.000	20.000	–	1.648
León	–	3	–	3	–	11.300	–	34
Segovia	–	4	–	4	–	10.000	–	40
Soria	–	2	–	2	–	5.000	–	10
Zamora	–	2	–	2	–	8.000	–	16
CASTILLA Y LEÓN	–	11	–	11	–	9.082	–	100

INTRODUCCIÓN

MADRID	–	20	–	20	–	15.000	–	300
Albacete	–	160	–	160	–	12.000	–	1.920
Ciudad Real	–	15	–	15	–	10.000	–	150
Toledo	–	32	–	32	–	11.150	–	357
CASTILLA-LA MANCHA	–	207	–	207	–	11.724	–	2.427
Alicante	–	1.709	–	1.709	–	9.800	–	16.748
Castellón	–	1.376	–	1.376	–	15.500	–	21.328
Valencia	–	698	–	698	–	9.100	–	6.352
C. VALENCIANA	–	3.783	–	3.783	–	11.744	–	44.428
R. DE MURCIA	–	6.694	–	6.694	–	11.700	–	78.320
Almería	–	200	–	200	–	13.450	–	2.690
Cádiz	–	231	–	231	–	19.970	–	4.613
Córdoba	7	84	–	91	7.000	13.500	–	1.183
Granada	52	647	–	699	7.500	8.342	–	5.787
Huelva	3	17	–	20	4.300	11.000	–	200
Jaén	2	72	–	74	3.100	10.330	–	750
Málaga	11	550	–	561	2.100	19.320	–	10.649
Sevilla	23	298	–	321	4.150	12.500	–	3.820
ANDALUCÍA	98	2.099	–	2.197	5.884	13.871	–	29.692
Las Palmas	–	1	–	1	–	25.000	–	25
S.C. de Tenerife	9	1	–	10	1.500	10.000	–	24
CANARIAS	9	2	–	11	1.500	17.500	–	49
ESPAÑA	134	15.010	–	15.144	5.009	12.088	–	182.120

Tabla IV: Evolución de la superficie, rendimiento, producción y precio de alcachofa en España (Magrama, 2011).

Años	Superficie (miles de hectáreas)	Rendimiento (qm/ha)	Producción (miles de toneladas)	Precio medio percibido por los agricultores (euros/100kg)	Valor (miles de euros)
2001	18,7	148	277,4	33,95	94.169
2002	19,3	150	289,4	54,65	158.166
2003	19,1	161	306,5	57,48	176.167
2004	19,1	157	300,2	56,43	169.412
2005	18,8	107	200,1	62,48	125.044
2006	18,1	126	228,2	57,75	131.796
2007	17,3	131	226,3	59,00	133.506
2008	16,0	127	203,3	47,13	95.816
2009	15,2	128	194,1	51,04	99.068
2010	14,7	113	166,7	85,73	142.879
2011	15,1	120	182,1	66,12	120.418

Como podemos observar en las figuras siguientes la superficie de la alcachofa en España ha disminuido considerablemente desde 2004 (Fig. 2), al igual que la producción (Fig. 3) y el valor de ésta (Fig. 4).

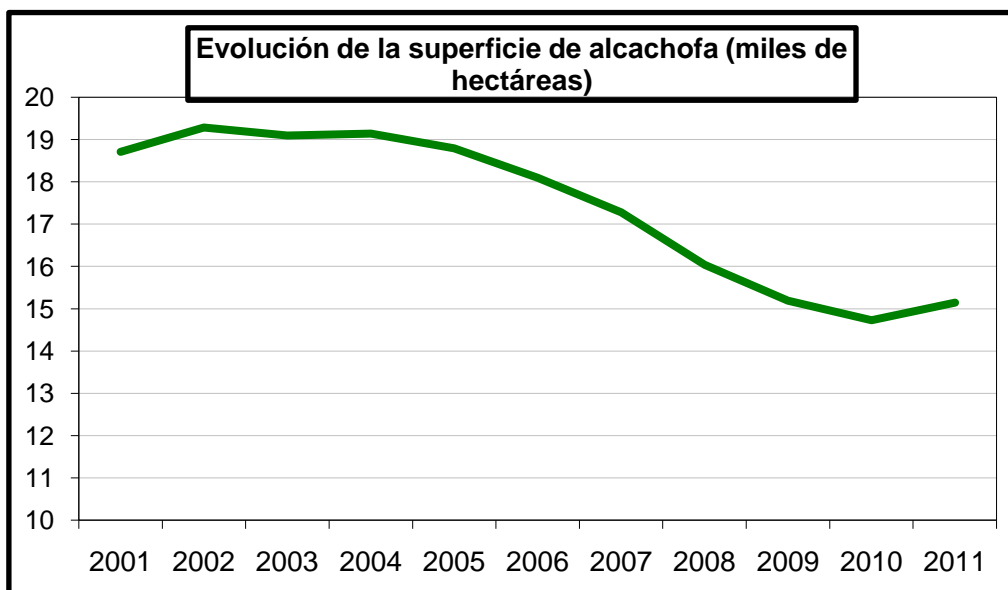


Figura 2: Evolución de la superficie cultivada en España de alcachofa (Magrama, 2011).

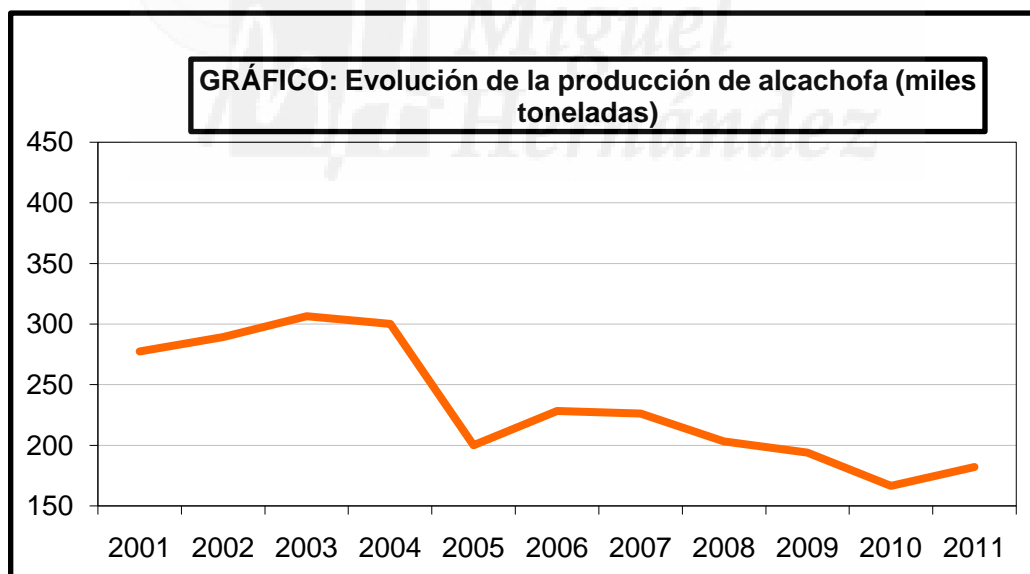


Figura 3: Evolución de la producción total en España de alcachofa (Magrama, 2011).

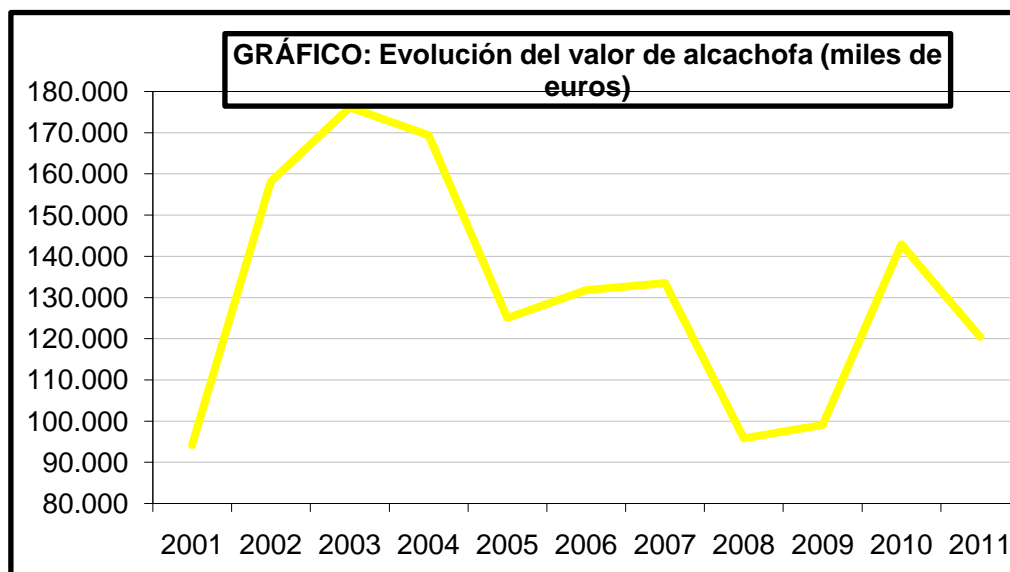


Figura 4: Evolución del valor de la producción total en España de alcachofa (Magrama, 2011).

1.3. BRASINOESTEROIDES

Los brasinoesteroides son compuestos de estructura esteroideal que se caracterizan por producir la estimulación del crecimiento vegetal, el aumento de los rendimientos y la producción de biomasa en diferentes cultivos y el aceleramiento de la maduración de los frutos, además de aumentar la resistencia de las plantas a plagas y a diferentes factores de estrés como alta salinidad, sequía, bajas temperaturas y agentes químicos agresivos como plaguicidas y herbicidas. Estos compuestos, que han sido encontrados en todos los órganos de un gran número de representantes de diferentes familias del reino vegetal, marino y terrestre, ejercen sus efectos al ser aplicados en concentraciones que oscilan entre 10^{-2} y 10^{-4} mg/ml.

1.3.1. ORIGEN DE LOS BRASINOESTEROIDES

En las décadas del treinta y del cuarenta, diversos investigadores habían reconocido la existencia de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal en extractos de polen, semillas inmaduras, etc. Sin embargo, no fue hasta 1970 cuando Mitchell et al. publicaron que el polen de *Brassica napus* L. producía

una respuesta inusual que combinaba el alargamiento celular (respuesta típica de las giberelinas) con el engrosamiento y la curvatura. Estos autores propusieron que este polen contenía un nuevo grupo de hormonas de origen lipídico denominado brasinas.

Posteriormente, Mitchell y Gregory (1972) demostraron que las brasinas podían estimular el rendimiento y la eficiencia de los cultivos, y el vigor de las semillas. Más adelante, se pudo extraer por cromatografía de columna y HPLC, el compuesto activo, al cual se le denominó **Brasinólido (BL)**. El brasinólido y/o sus compuestos íntimamente relacionados, son conocidos colectivamente en la actualidad como **BRASINOESTEROIDES (BR)**.

1.3.2. ESTRUCTURA QUÍMICA

La elucidación de la estructura del brasinólido (Figura 5) se determinó por espectroscopía y cristalografía de rayos X, y resultó ser la (2 α , 3 α , 22R, 23R)-tetrahidroxi-24 α -metil-B-homo-7-oxa-5 α -colestano-6-ona. Esta estructura era única en poseer un metilo en el C₂₄ con estereoquímica α , una función 7-oxalactona en el anillo β e hidroxilos vecinales en el anillo A (C2 α y C3 α) y en la cadena lateral (C22R y C23R) (Kim, 1991).

Según Adam y Marquardt (1986), los requerimientos estructurales de los brasinoesteroides para tener una alta actividad biológica son los siguientes: un grupo diol vecinal (22R, 23R), un grupo metilo o etilo (24S), la función 7-oxalactona o 6-oxo en el anillo B, un grupo 3 α hidroxilo, un grupo diol vecinal 2 α , 3 α ó 3 α , 4 α y una unión *trans* de los anillos A y B.

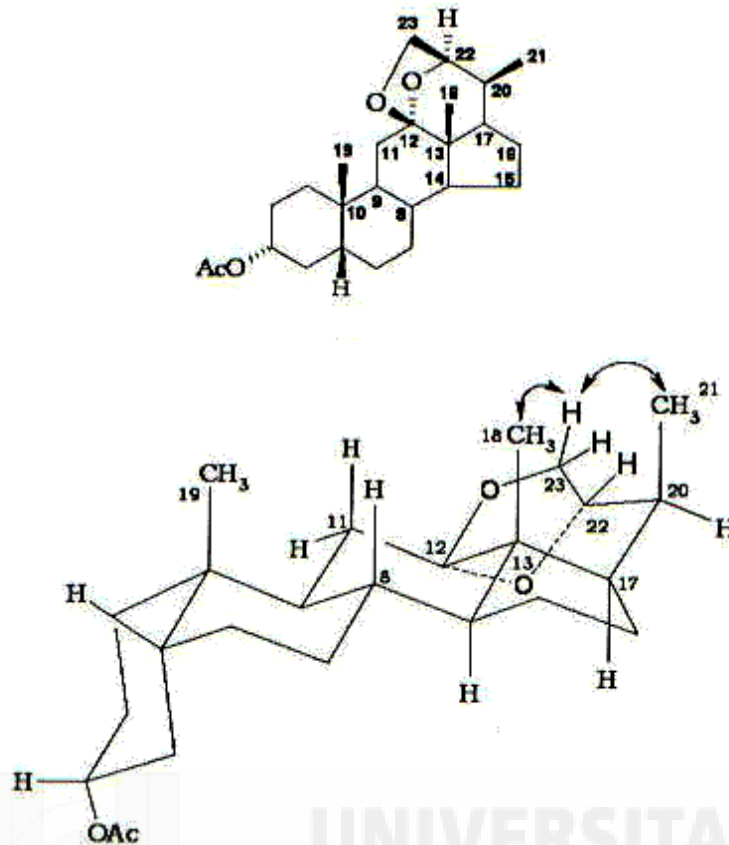


Figura 5. Estructura del brasinólido (Yokota, 1997).

1.3.3. DISTRIBUCIÓN DE LOS BRASINOESTEROIDES EN LAS PLANTAS

Las investigaciones realizadas sobre los brasinoesteroides evidencian la presencia de compuestos de esta familia en el reino vegetal, tanto en plantas superiores como en plantas no vasculares. Se han encontrado, según Fujioka y Sakurai (1997), en 32 angiospermas, incluyendo 9 monocotiledóneas y 23 dicotiledóneas, 4 gimnospermas, y también en algas verdes, pteridófitos y briófitos (Bajguz y Piotrowska-Niczyporuk, 2014). Todos estos resultados sugieren que este compuesto está ampliamente distribuido en el reino vegetal, al igual que las otras hormonas vegetales conocidas y que ejercen algunas funciones fisiológicas en el crecimiento y el desarrollo.

El brasinólido es el brasinoesteroide más abundante encontrado hasta el momento. En cuanto a la distribución de los brasinoesteroides en la planta,

Adam y Marquardt (1986) destacaron que el polen es la fuente más rica de estos compuestos, con cantidades que oscilan entre 10-100 mg/Kg.; las semillas inmaduras también tienen altos contenidos (1-100 mg/kg). Recientemente, también se han encontrado en anteras, hojas, tallos, raíces, flores y granos en cantidades menores (Bajguz y Piotrowska-Niczyporuk, 2014). Los tejidos vegetales jóvenes en crecimiento poseen contenidos superiores que los viejos (Bajguz y Piotrowska-Niczyporuk, 2014). Por otra parte, se conoce que en el polen de *Thea sinensis* y *Lillium longiflorum*, la actividad biológica incrementó a medida que el polen maduraba y alcanzó un valor máximo, inmediatamente antes de la antesis, para disminuir después de ésta. Esto sugiere la posibilidad de que estos compuestos ejerzan un papel importante en la regulación del crecimiento regenerativo.

En cuanto a la localización intracelular de los brasinoesteroides, se ha indicado que los plastidios son orgánulos importantes. El estroma puede ser el lugar de síntesis, mientras que los gránulos de almidón se asumen como centros de almacenaje de estos potentes reguladores del crecimiento (Gross y Parthier, 1994).

1.3.4. EFECTOS FISIOLÓGICOS.

Son numerosos los procesos fisiológicos controlados por los BRs en las plantas (Choe, 2007). La existencia de fenotipos de mutantes que son defectuosos en la biosíntesis o ruta de transducción de la señal de BRs sugiere que estos compuestos están implicados principalmente en el crecimiento direccional de células que conduce a la fotomorfogénesis, escotomorfogénesis, diferenciación del sistema vascular, elongación celular y morfogénesis total de las hojas y tallos (Choe, 2007). Así, según Müssig y Altmann (2003), los BRs promueven el crecimiento vegetativo porque aumentan la elongación celular por expansión de la pared celular a través de la estimulación de genes de expansinas que incrementan la relajación de la pared celular, promueven la expresión de genes de la β -tubulina e inducen la orientación de microtúbulos, lo que provoca la deposición direccional de las microfibrillas de celulosa, lo que

determina la dirección de la expansión celular. Además también incrementan las frecuencias de división celular regenerando proplastos del mesofilo.

El efecto estimulador de los BRs es también, en parte, debido al impacto positivo sobre el metabolismo primario del carbono, ya que los tratamientos con BRs producen una acumulación de fotoasimilados e incrementan la fijación del CO₂, regulando el movimiento fuente-sumidero por incremento de la actividad invertasa extracelular inducible por BR. Este efecto de los BRs se encuentra en mayor medida en los meristemos apicales donde provocan un mayor crecimiento en tejidos jóvenes, así como en los meristemos de las hojas.

Los BRs también presentan un papel esencial en la diferenciación del xilema (Müssing y Altmann, 2003). Los brasinoesteroides desarrollan un papel importante en la fertilización de las plantas (Sasse, 1992). En relación con el efecto general de los brasinoesteroides en la diferenciación del sexo en las plantas, se encontró que la aplicación directa de brasinólida a la inflorescencia estaminada de *Luffa cilíndrica*, indujo flores bisexuales y pistiladas. Los BRs también influyen en otros procesos del desarrollo como la germinación de semillas, rizogénesis, floración, senescencia, abscisión y maduración (Müssing, 2005; Sasse, 2003)

Además, análisis fisiológicos han revelado que los BRs confieren tolerancia a varios tipos de estrés tanto bióticos como abióticos (Divi y Krishna, 2009; Kagale et al., 2007). Estudios realizados en el campo de la entomología indican que varios integrantes de esta familia presentan actividad antiecdisteroide y neurodepresora en diferentes insectos (Yokota, 1990).

En resumen, los efectos fisiológicos más destacados de los brasinoesteroides sobre las plantas son:

- Promueven la elongación celular.
- Promueven la elongación de tejidos vegetales.
- En cultivos de tejidos, en presencia de auxinas y citoquininas, estimulan el crecimiento de callos induciendo el alargamiento y la división celular.
- Aceleran la regeneración de la pared celular.

- Estimulan la elongación del tubo polínico.
- Hiperpolarizan el potencial eléctrico transmembrana.
- Regulan la diferenciación del sistema vascular.
- Estimulan la translocación de asimilados.
- Influyen o dirigen procesos de movilización dentro de las plantas.
- Estimulan la actividad fotosintética acelerando la fijación de CO₂.
- Incrementan la biosíntesis de proteínas y el contenido de azúcares reductores.
- Influyen en el gravitropismo.
- Aceleran la fotomorfogénesis.
- Aceleran la escotomorfogénesis.
- Retrasan la abscisión de hojas en cítricos.
- Incrementan la tolerancia a estrés de tipo biótico y abiótico.

Los brasinosteroides, además, también tienen aplicaciones médicas (Bajguz y Hayat, 2009). En la actualidad, nuestro conocimiento de los efectos de los brasinosteroides en animales o humanos es todavía un poco fragmentario. Sin embargo, se sabe que tienen una acción anabólica, anticáncer y antiproliferativa. Los brasinosteroides también tienen actividades antivirales contra los herpes simples de tipo I y II, contra los arenavirus, el virus del sarampión y el virus de la estomatitis vesicular (Bajguz y Piotrowska-Niczyporuk, 2014), por lo que se están estudiando para el desarrollo de una nueva generación de medicamentos, especialmente contra el cáncer e infecciones virales (Bajguz et al., 2013).

1.3.5. APLICACIONES PRÁCTICAS EN LA AGRICULTURA

El potencial económico de los BRs en agricultura fue reconocido desde el principio de la década de los 80, debido a los considerables efectos de los BRs sobre el crecimiento y desarrollo vegetal. La síntesis de análogos de BR confirmó las relaciones entre la estructura y actividad de los BRs y proporcionó un método para la preparación de cantidades suficientes de BRs activos para evaluaciones en campo y en invernaderos. Los ensayos extensivos de un BR sintético, el 24-epibrasinólido, en China, Japón y Rusia mostraron que los BRs exógenos tienen capacidad para incrementar la producción de una gran variedad de especies vegetales, tales como trigo, soja, arroz, maíz, tabaco, sandía, vid, tomate y pimiento, (Ikekawa y Zhao, 1991), entre otros. Sin embargo, los resultados pueden ser variables dependiendo del modo de aplicación, estado de crecimiento en el momento de la aplicación y condiciones ambientales (Khripach et al., 2000; Ikekawa y Zhao, 1991). Otro grupo de investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), también ha dedicado numerosos recursos a la síntesis de estas lactonas esteroidales y a la evaluación de sus actividades biológicas (Adam y Marquardt, 1986), quienes también obtuvieron evidencias firmes que demostraron la utilidad de los BRs para incrementar los rendimientos de los cultivos, la biomasa en los vegetales y los granos en los cereales.

En Cuba, el Laboratorio de Productos Naturales de la Facultad de Química de la Universidad de la Habana, ha estado trabajando en la síntesis de análogos de brasinoesteroides. Este laboratorio ha dedicado un gran esfuerzo en obtener compuestos hemisintéticos con actividad brasinoesteroide. Entre ellos cabe destacar el Biobrás-6 y Biobrás-16, compuestos que han sido patentados y que son comerciales. Aplicaciones de estos compuestos han producido también incrementos de las cosechas en diversas especies. De esta forma, a partir de 1993 se comenzó la validación del DAA-6 o Biobrás-6 (BB-6) en condiciones de campo a nivel experimental, por diferentes colectivos de investigaciones del país. Así, Franco (1994) demostró que el DAA-6 (BB-6) estimuló el rendimiento en plantas de arroz. En hortalizas, Nuñez et al. (1995 a y b), estudiando el efecto de la aplicación de BB-6 en cultivos de tomate, demostraron que cuando este producto es pulverizado al inicio de la floración

en una concentración de 1 mg.L^{-1} , se produce un incremento en el rendimiento. La utilización de DI-31 o Biobrás -16 (BB-16) a nivel experimental en condiciones de campo también ha demostrado su efectividad en hortalizas, como en lechuga, tomate, cebolla (Nuñez, 1998 ; Nuñez et al. 1998 y 2014), lechugas, pimientos (Serna et al., 2012 a y b) y escarolas (Serna et al., 2013).

Más recientemente, la modulación de la actividad de BRs endógenos por manipulación genética de genes implicados en la biosíntesis de BR, o en la transducción de la señal, han llevado a mejorar la producción de las cosechas y, además, de una forma más uniforme y predecible que los tratamientos con análogos de BRs (Divi y Krishna, 2009). El impacto de la manipulación de la expresión de genes de la biosíntesis de BRs en plantas transgénicas ha llevado a incrementar las ramas y silicuas de semillas en *Arabidopsis* (Choe et al., 2001), incrementos de la producción de arroz transgénico, incrementos de la longitud de fibra de algodón (Shi et al., 2006), así como en la adaptación de plantas a diferentes tipos de estrés como altas y bajas temperaturas, salinidad o sequía en arroz (Koh et al., 2007).

1.3.6. BRASINOESTEROIDE EMPLEADO EN ESTE TRABAJO

El brasinoesteroide empleado en este trabajo es el DI-31, de semisíntesis química a partir de otros esteroides naturales más abundantes en la naturaleza. En este caso se obtiene a partir de la diosgenina, que es un esteroide que se puede obtener comercialmente y que presenta grupos funcionales en su núcleo esteroidal por lo que se pueden preparar sus correspondientes análogos (Nuñez et al., 2014). Este brasinoesteroide semisintético es análogo espirostánico de otro brasinoesteroide natural.

Mazorra et al. (2004), comprobaron que otros dos brasinoesteroides semisintéticos espirostánicos obtenidos por este mismo método, el Biobras-6 y el MH-5, tenían efecto brasinoesteroide, pues revertían el efecto enanizante provocado por el inhibidor de la síntesis de brasinoesteroides, Brz 2001, cuando eran aplicados a plántulas de soja, al igual que cuando aplicaban el

brasinoesteroide natural, 24-epibrasinólido, aunque los BRs sintéticos tenían menor actividad.

El DI-31 es un análogo espirostánico polihidroxiado de brasinoesteroide, pero también se encuentra en pequeñísimas concentraciones en la planta *Rhaponticum carthamoides* (Coll, comunicación personal). La fórmula global es $C_{27}H_{42}O_5$. Tiene un color blanco ligeramente amarillento, con un punto de fusión a 172,4 °C.

Este regulador del crecimiento vegetal está registrado en Colombia, Chile, México, Costa Rica, Venezuela y Cuba (Biobras-16: Reg. 111/98). En estos países se vienen comercializando diferentes formulaciones de este principio activo que también están registradas.

El brasinoesteroide empleado en este trabajo, DI-31, ha sido formulado por el Laboratorio de Productos Naturales de la Universidad de La Habana.

El metabolismo de los brasinoesteroides en mamíferos no ha sido bien estudiado, pero se ha especulado que el catabolismo normal del esqueleto carbonado tiene lugar de forma normal, ya que los brasinoesteroides son constituyentes naturales de prácticamente todas las plantas (Khripach et al., 1999). Sin embargo la confirmación de su sanidad puede ser obtenida de estudios toxicológicos. Vitvitskaya et al. (1997) han publicado estudios toxicológicos muy completos de la aplicación del 24-epibrasinólido realizados en el Instituto Higiénico-Sanitario de Belarus.

Díaz y Fonseca (1999) publicaron un estudio citotóxico y genotóxico del DI-31 mediante el sistema de ensayo de micronúcleos de médula ósea de ratón. El estudio concluyó que no había manifestación de citotoxicidad a nivel de médula ósea dada por la relación entre eritrocitos policromáticos y normocromáticos, ni tampoco efectos genotóxicos dados por la frecuencia de eritrocitos inmaduros micronucleados entre los diferentes tratamientos con el DI-31 en relación al control. Finalmente, los efectos tóxicos observados por la vía intraperitoneal no contradicen los resultados anteriores.

1.4. GIBERELINAS

Las giberelinas (GAs) son compuestos naturales que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y desarrollo de las plantas superiores. Este grupo de hormonas fue descubierto por azar por fitopatólogos japoneses que estudiaban en el arroz una enfermedad conocida como *bakanae* (planta loca), causada por el hongo *Gibberella fujikuroi*. El ataque del hongo produce en esta especie un crecimiento excesivo de los tallos y brotes. En 1955 se aisló a partir del filtrado segregado por el hongo el compuesto inductor del crecimiento del tallo, que se denominó ácido giberélico, hoy conocido como giberelina A₃ o GA₃. Desde entonces se han aislado y caracterizado hasta 136 GAs, la mayoría de ellas a partir de plantas superiores. Los estudios de aplicaciones exógenas a plantas y las investigaciones con plantas mutantes deficientes en GAs y con plantas transgénicas indican que las giberelinas son fitohormonas que afectan, regulan o modulan múltiples y variadas respuestas del crecimiento.

1.4.1. ESTRUCTURA QUÍMICA

Las GAs constituyen una familia de diterpenos tetracíclicos ácidos, cuya estructura básica está constituida por un anillo de *ent*-giberelano (Fig. 6).

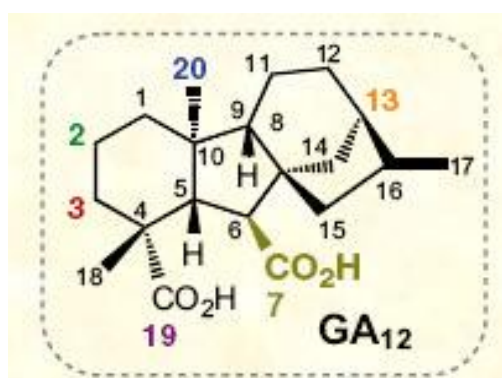


Figura 6: Estructura química de GA₁₂ en la cual se representa el anillo de *ent*-giberelano, estructura básica de todas las GAs.

La estructura química de las giberelinas con capacidad para influir en el crecimiento de las plantas (GAs activas) se resume en cuatro aspectos básicos:

- 1.- El esqueleto de *ent*-giberelano puede ser de 20 átomos de carbono (GAs C₂₀) o de 19 (GAs C₁₉).
- 2.- Las GAs C₂₀ se metabolizan mediante oxidaciones continuas del C-20 que inicialmente existe como grupo metilo (CH₃) y que se transforma sucesivamente hasta hidroximetilo (CH₂OH), aldehído (CHO) y, finalmente, carboxílico (COOH).
- 3.- Las GAs C₂₀ con grupo aldehído en el C-20, son precursoras de las GAs C₁₉ al perder ese carbono.
- 4.- La inserción de grupos hidroxilos en posición C-3 y C-2 determina la actividad biológica de las GAs. El número con el que se describe cada GA suele indicar el orden cronológico de su descubrimiento y no la relación metabólica entre ellas.

1.4.2. ACTIVIDAD BIOLÓGICA

De las 136 giberelinas descritas actualmente, solo algunas pocas poseen actividad biológica intrínseca o *per se* en la regulación del desarrollo de las plantas, principalmente GA₁, GA₄ y GA₃, las restantes son compuestos precursores o de degradación de las GAs activas. La presencia o ausencia de un grupo β-hidroxilo en las posiciones C-2 y C-3 del *ent*-giberelano de las GAs C₁₉ determina la existencia o no de actividad biológica. Siendo la GA₁ y la GA₄ las giberelinas activas que se encuentran en la mayoría de las especies. Las GAs C₁₉ pueden inactivarse de forma irreversible mediante la incorporación de un grupo hidroxilo en posición 2β mientras que las GAs C₂₀ se inactivan por la presencia de un grupo ácido en posición C₂₀.

1.4.3. BIOSÍNTESIS DE GAs

La biosíntesis de las GAs en plantas superiores se divide en tres etapas: síntesis de *ent*-kaureno a partir de geranylgeranidifosfato, conversión de *ent*-kaureno a GA₁₂ y síntesis de GAs C-19 y C-20 desde GA₁₂ mediante reacciones sucesivas de oxidación (Yamaguchi, 2007). Los genes que codifican los enzimas de biosíntesis pertenecen a pequeñas familias multigénicas, cuyos miembros se expresan de forma diferencial. Los enzimas de la etapa 1 son ciclasas localizadas en los proplastidios de los tejidos meristemáticos. Los de la etapa 2 son proteínas ligadas a la membrana externa del retículo endoplasmático y dependientes del citocromo P-450. Los de la tercera etapa son dioxigenasas solubles localizadas en el citoplasma.

La síntesis de GAs está profundamente influenciada por factores ambientales como la temperatura y las condiciones luminosas en las que se desarrollan las plantas. Al parecer, son los fitocromos los que provocan cambios en la biosíntesis, en la degradación de intermediarios proteicos o en ambos procesos. En los últimos años se ha comprobado que la síntesis de GAs se reduce o atenúa como respuesta a diversos tipos de estrés, tanto bióticos como abióticos, lo que conduce a una detención del desarrollo como primera medida de defensa frente a las condiciones adversas.

La síntesis de GAs también está afectada por otras hormonas, principalmente por auxinas y brasinosteroides. Las auxinas estimulan la elongación del tallo mediante la regulación de la biosíntesis de las GAs.

1.4.4. EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS GAs

Durante el crecimiento de las plantas, las GAs regulan un amplio y variado conjunto de procesos fisiológicos. Estas respuestas afectan prácticamente a todas las fases del desarrollo, tanto al crecimiento vegetativo como al reproductivo. Las GAs son los factores hormonales determinantes de la elongación del tallo (mutantes con bajos niveles de GAs activas presentan fenotipos enanos), y en algunas especies puede causar reversión desde la fase adulta a la juvenil. Participan en la inducción de la floración, en el crecimiento y

la producción de flores, en la germinación de las semillas, en el cuajado, desarrollo y la maduración de los frutos. Suplen los requerimientos de luz o frío que precisan muchas semillas para germinar o muchas plantas para florecer. En las especies que necesitan frío para florecer (vernalización) la floración se estimula con la aplicación de GAs (Roldan y Martínez, 2008). Por otro lado, la inducción de la germinación por tratamiento con bajas temperaturas (estratificación) esta también mediada por GAs.

1.4.5. APLICACIONES COMERCIALES DE LAS GAs

Las GAs son ampliamente utilizadas a nivel mundial. La giberelina disponible comercialmente es el ácido giberélico que se obtiene por fermentación de los extractos del hongo *Gibberella*. Las GAs se emplean en la producción de uva sin semillas, y para aumentar el tamaño de manzanas y su calidad. En cítricos autoincompatibles incrementan el cuajado del fruto. En general, son capaces de estimular el cuajado de especies que contienen un número reducido de óvulos, como el melocotón, el albaricoque o la cereza. En cítricos, retrasan la desverdización y previenen alteraciones de la corteza.

Las GAs se utilizan para estimular el desarrollo del tallo en la caña de azúcar y en la alcachofa, y del peciolo de las hojas de apio. También se utiliza para inducir la floración en plantas que requieren frío en condiciones no inductivas (Roldan y Martínez, 2008). El aumento y el adelanto en la producción de malta a partir de los granos de cebada también es una aplicación comercial. Por otro lado, se usan para romper el letargo de tubérculos de patata o como inductores de la germinación del arroz y de variedades enanas. Su aplicación, aumenta la proporción de flores masculinas en calabaza.

1.4.6. APLICACIONES COMERCIALES DE LAS GAS EN ALCACHOFA

En varios estudios se ha comprobado que la aplicación de ácido giberélico a plantas de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) genera algunos beneficios, aumenta el tamaño y número de cabezuelas comerciales, adelanta la fecha de recolección y amplía el periodo de cosecha mediante aplicaciones sucesivas (CORFO, 1982; Mena, 1971; Miguel et al., 1997; Snyder, et al., 1971 y Oyarzún, 1988). Maroto et al. (1997) señalan que aplicaciones reiteradas de ácido giberélico sobre cultivares de alcachofas multiplicados por semillas pueden adelantar las producciones, reemplazando la acumulación de frío natural requerida para florecer. Estas aplicaciones se utilizan para estimular el desarrollo del tallo en alcachofa (Roldan y Martínez, 2008).





OBJETIVOS:

2. OBJETIVOS

En este trabajo fin de grado se pretende hacer una serie de ensayos para intentar incrementar el rendimiento de alcachofas (*Cynara scolymus* L.) variedad Blanca de Tudela, plantadas a partir de esquejes en campo, cuando son tratadas con el brasinosteroide de síntesis DI-31 y con el ácido giberélico GA3. Los tratamientos se harán con diferentes concentraciones de ambas fitohormonas, por separado y conjuntamente, con el fin de estudiar su efecto sobre la producción y la precocidad del cultivo de alcachofa. Para ello, se realizará un seguimiento del desarrollo vegetativo de las plantas tratadas y sin tratar, y un estudio posterior de producción de la cosecha. A su vez, se llevará a cabo un estudio de la calidad visual de las alcachofas producidas, analizando parámetros tales como el color externo de la alcachofa y su peso, y la altura y el diámetro tanto de la alcachofa completa como del receptáculo floral (parte comestible)

MATERIAL Y MÉTODOS:



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL

El estudio se ha realizado en alcachofa (*Cynara scolymus* L.) de la variedad Blanca de Tudela plantada a partir de esquejes. La alcachofa Blanca de Tudela es la variedad más cultivada en España y se caracteriza por tener un color verde no brillante, forma oval y tener un orificio circular en la parte superior. La alcachofa es tierna y se caracteriza por la ausencia de pelos.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se ha llevado a cabo en una finca situada en Cueva de Marín término municipal de Murcia, polígono nº 46, parcela nº 10, entre los meses de septiembre de 2013 y abril de 2014.

La preparación del terreno se realizó con desfonde y roturación del terreno.

La plantación se realizó el 15 de septiembre de 2013 en líneas con un marco de plantación de 1.5 x 0.6 m² lo que equivale a 11.111 plantas de alcachofa/ha. En el ensayo se realizó un estudio exhaustivo de 210 plantas.

El sistema de riego consistió en una línea portagoteros por cada hilera de plantas, con un caudal de 2,2 L/ha.

Para una mejor comprensión se representa a continuación un croquis con la disposición de todas las plantas en la parcela distribuidas en 90 filas de 28 plantas cada una (Fig. 7).

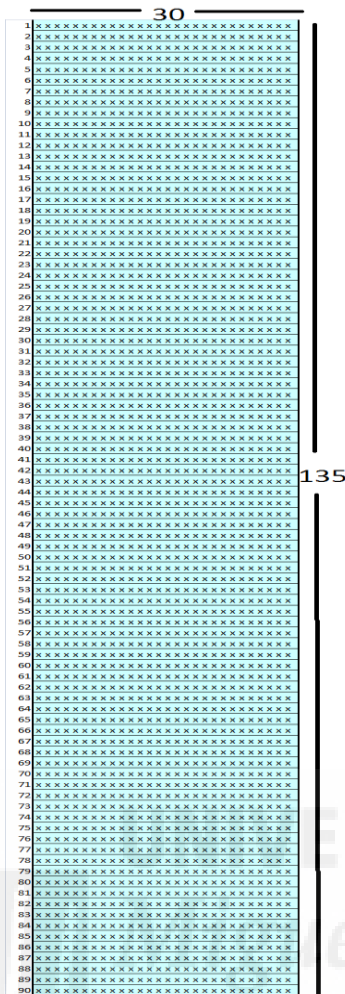


Figura 7: Croquis de la parcela donde se realiza el ensayo.

El experimento duró aproximadamente 7 meses, desde el 15 de septiembre de 2013 cuando se realizó la plantación en campo, hasta el 5 de abril de 2014 cuando se realizó la última recolección. En la fotografía 9 se muestra una vista general de la parcela del ensayo.

La fertilización total utilizada en todo el cultivo fue la siguiente (cantidades de abono por ha):

- Nitrógeno amoniacal 33,5 % : 250 kg/ha.
- Fosfato monoamónico: 175 kg/ha.
- Nitrato potásico: 150 kg/ha.
- Nitrato cálcico: 175 kg/ha.

En cuanto a los tratamientos sanitarios, se llevaron a cabo dos aplicaciones durante todo el cultivo:

- El 10 de octubre del 2013 se realizó una aplicación de Dursban 48 (Clorpirifos 48%) y Cekumetrin (Cipermetrin 10%) a dosis comerciales para eliminar orugas tales como *Spodoptera exigua* y *Spodoptera littoralis*.
- El 28 de enero del 2014 se realizó una aplicación con Dursban 48 (Clorpirifos 48%) y Cekumetrin (Cipermetrin 10%) a dosis comerciales para eliminar *Cortyna Xanthenes*.



Fotografía 9: Vista general de la parcela del ensayo.

Los tratamientos realizados en esta experiencia han sido de fitohormonas, con el fin de intentar incrementar la precocidad y producción de las alcachofas. Las fitohormonas utilizadas han sido dos: un análogo del brasinosteroide llamado DI-31 y la giberelina GA3. El producto comercial aplicado de GA3 ha sido Laikuaj de la empresa Lainco a una concentración del 3.6%. En cuanto al DI-31 ha sido sintetizado por el Laboratorio de Productos

Naturales de la Universidad de La Habana. Para un mejor aprovechamiento de estas fitohormonas por parte de la planta se han utilizado ambas junto con una mezcla extra de nutrientes en forma de extractos de algas enriquecidos en boro y calcio (Calibor-System).

Los tratamientos realizados han sido los siguientes: T01 y T02 para las plantas control sin nada y con nutrientes, respectivamente. Los nutrientes aplicados a T02 los llevan todos los demás tratamientos, que se denominan: T1 y T2 para los ensayos con la hormona GA3 a 10 y 20 ppm, respectivamente; T3 y T4 para los ensayos con el análogo de brasinosteroide DI-31 a 20 y 32 ppm, respectivamente; y, por último, T5 al tratamiento que lleva una mezcla de las hormonas GA3-DI-31 a 10-32 ppm, respectivamente. Los tratamientos se aplicaron 5 veces en las fechas que se recogen en la Tabla V.

Tabla V: Fechas en las que se realizó cada aplicación de los tratamientos.

Nº APLICACIÓN	FECHA	TRATAMIENTO APLICADO						
		T01	T02	T1	T2	T3	T4	T5
1º	21 / 11 / 2013	T01	T02	T1	T2	T3	T4	T5
2º	6 / 12 / 2013	T01	T02	--	--	T3	T4	T5
3º	22 / 12 / 2013	T01	T02	T1 (1/2)*	T2 (1/2)*	T3	T4	T5 (1/2)*
4º	3 / 1 / 2014	T01	T02	--	--	T3	T4	T5
5º	17 / 1 / 2014	T01	T02	T1 (1/2)*	T2 (1/2)*	T3	T4	T5 (1/2)*

(1/2)*: Se aplica la mitad de la concentración de GA que lleva el tratamiento correspondiente.

La composición de cada uno de los tratamientos aplicados es la siguiente:

- **T01: Control** (sin aplicación de hormonas ni nutrientes).

- **T02: Control + B+ Ca+ Algas:**

- Boro + Calcio (dosis 2 L/ha o 24 ppm/ha)
- Algas (dosis 2,5 L/ha o 50 ppm/ha)

- **T1: GA 10 ppm + B + Ca + Algas:**

- Boro + Calcio (dosis 2 L/ha o 24 ppm/ha)
- Algas (dosis 2,5 L/ha o 50 ppm/ha)
- GA3 (dosis 10 mg/L)

- **T2: GA 20 ppm + B + Ca + Algas:**

- Boro + Calcio (dosis 2 L/ha o 24 ppm/ha)
- Algas (dosis 2,5 L/ha o 50 ppm/ha)
- GA3 (dosis 20 mg/L)

- **T3: DI-31 20 ppm + B + Ca + Algas:**

- DI-31 (dosis 20 mg/L) + Algas (dosis 2,5 L/ha o 50 ppm/ha)
- B + Ca (dosis 2 L/ha o 24 ppm/ha)

- **T4: DI-31 32 ppm + B + Ca + Algas:**

- DI-31 (dosis 32 mg/L) + Algas (dosis 2,5 L/ha o 50 ppm/ha)
- B + Ca (dosis 2 L/ha o 24 ppm/ha)

- **T5: DI-31 32 ppm + GA 10 ppm + B + Ca+ Algas:**

- DI-31 (dosis 32 mg/L) + Algas (dosis 2,5 L/ha o 50 ppm/ha)
- GA (dosis 10 mg/L)
- B + Ca (dosis 2 L/ha o 24 ppm/ha)

Las aplicaciones se realizaron utilizando un pulverizador de mano (Fotografía 10) para cada tratamiento, con el fin de que no quedaran restos del tratamiento realizado previamente.



Fotografía 10: Detalle de los pulverizadores de mano empleados.

Para medir las dosis empleadas, se utilizaron pipetas de 5 ml, una para cada uno de los productos utilizados (Fotografía 11).



Fotografía 11: Detalle de las pipetas utilizadas.

Las diferentes aplicaciones se realizaron de la siguiente manera:

Se escogieron 7 filas de plantas para aplicar un tratamiento diferente a cada una de ellas. Entre cada tratamiento se dejaba una fila sin tratar para estar seguro de que no se producían derivaciones. Los tratamientos se repitieron en tres filas distintas, es decir, había un total de 21 filas tratadas, como se observa en la distribución de la figura 7. Cada una de estas filas constaba de 50 plantas que eran tratadas con su respectivo tratamiento, aunque a la hora de realizar las mediciones y pesar las alcachofas, sólo se tuvieron en cuenta 10 plantas de cada fila. Cada una de las plantas utilizadas para este estudio se identificó con una tablilla con un determinado número y su tratamiento correspondiente, como se observa en la fotografía 12.



Fotografía 12: Vistas de las tablillas utilizadas para la identificación de cada tratamiento.

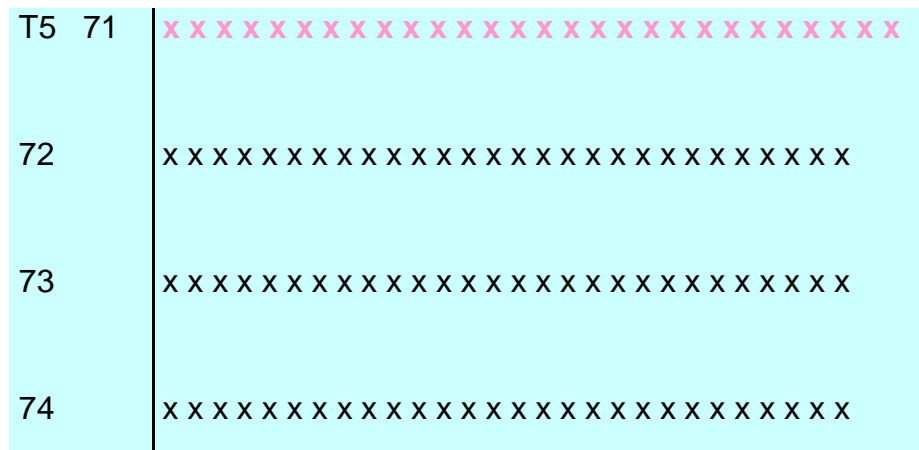
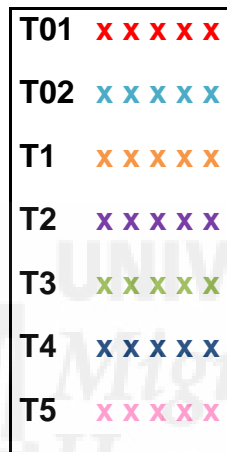


Figura 8: Detalle de la distribución de las plantas de alcachofas tratadas.



3.3. PLAN DE TRABAJO

La metodología que se ha seguido para este trabajo ha sido la siguiente:

- Se han realizado 5 tratamientos a las plantas de alcachofa como se ha explicado en el punto anterior.
- Cuando se realizaba cada tratamiento se medía la altura y el diámetro de 10 plantas de cada fila para estudiar la evolución de su crecimiento.

- Cuando las alcachofas estaban en madurez comercial se procedió a su recolección. Se realizaron un total de 6 recolecciones en las siguientes fechas: el 11 y 25 de febrero, el 5, 11 y 23 de marzo y el 5 de abril de 2014.

- De cada recolección se obtuvo la siguiente información:

- Número de alcachofas por planta.
- Peso total de las alcachofas por planta.

Con estos datos se puede estudiar la producción y la precocidad de la cosecha para cada tratamiento, así como el número de alcachofas por planta y el peso total de alcachofas por planta según tratamiento, así como la evolución de los dos últimos parámetros y el peso medio de las alcachofas por planta.

- De la recolección correspondiente al 11 de marzo se llevaron al laboratorio de Fisiología Vegetal de la EPSO 10 alcachofas por planta, en las cuales se determinaron el 12 de marzo los siguientes parámetros:

- En cada alcachofa entera:

- Peso
- Longitud
- Diámetros
- Color

- En el receptáculo de cada alcachofa pelada:

- Peso

- Altura
- Diámetros

3.4. DETERMINACIONES DE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO

Para llevar a cabo la determinación de la producción se recogieron las alcachofas en su debido momento, anotando en el mismo instante las medidas de su peso y número de alcachofas por planta. Posteriormente, se analizaron detenidamente e interpretaron los datos recogidos en cuanto a la producción, que se han expresado como nº de alcachofas/planta, nº de alcachofas acumuladas/planta, kg de alcachofa/planta, kg de alcachofas acumuladas/planta y peso de alcachofa.

A continuación, podemos observar fotografías detalladas de las alcachofas de los diferentes tratamientos (Fotografías 13-19) realizadas cuando se llevaron al laboratorio (12/3/2014):



Fotografía 13: Detalle de alcachofas de T01.



Fotografía 14: Detalle de alcachofas de T02.



Fotografía 15: Detalle de alcachofas tratadas con GA3 10 ppm.



Fotografía 16: Detalle de alcachofas tratadas con GA3 20 ppm.



Fotografía 17: Detalle de alcachofas tratadas con DI-31 20 ppm.



Fotografía 18: Detalle de alcachofas tratadas con DI-31 32 ppm.



Fotografía 19: Detalle de alcachofas tratadas con DI-31 32 ppm-GA3 10 ppm.

3.5. DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS ALCACHOFAS.

3.5.1. DETERMINACIONES DE PESO

En cada una de las recolecciones se utilizó un peso de campo (Fotografía 20) para pesar los kilogramos que producía cada una de las 210 plantas. Este peso tiene una capacidad de hasta 15 kg y un error de 20 gramos. Los resultados se expresaron en kg.



Fotografía 20: Peso de campo.

Cuando las alcachofas se llevaron al laboratorio, se pesaron cada una de ellas en una balanza Kern serie 440-49N (Fotografía 21), con capacidad de hasta 4.000 g y un error de 0.1 g. Los resultados se expresaron en gramos.



Fotografía 21: Balanza Kern serie 440-49N.

3.5.2. DETERMINACIONES DE DIÁMETROS

El día de la recepción de las alcachofas en el laboratorio, se procedió a medir el diámetro y la longitud de las mismas. Para ello se utilizó un calibre-pie de rey electrónico digital Tesa Digit-Cal de 150 mm (Fotografía 22). Las mediciones se expresaron en mm.



Fotografía 22.: Pie de rey Tesa Digit-Cal.

3.5.3. DETERMINACIONES DEL COLOR POR REFLEXIÓN

Se determinó el color en tres puntos diferentes de cada alcachofa mediante un colorímetro Minolta CR-300 (Fotografía 23), usando el Sistema Hunter Lab (L^* , a^* y b^*). Este sistema de medida es el más ampliamente conocido, ya que pretende acercarse más a la percepción humana del color. Aporta una tripleta de coordenadas que permite situarse colorimétricamente en un lugar del espacio. Estas coordenadas están correlacionadas con tres conceptos (índices) básicos que se pueden distinguir en toda apreciación del color, los denominados: luminosidad y cromaticidad (tono y croma).



Fotografía 23: Colorímetro Minolta CR-300 utilizado para la determinación del color.

La luminosidad viene dada por el parámetro L^* ($L=100$: blanco; $L=0$: negro). La cromaticidad (tono y croma) es indicada por los parámetros a^* y b^* conjuntamente; a^* representa el eje que va desde colores verdes ($-a$) hasta colores rojos ($+a$) y b^* representa el eje que evoluciona desde azul ($-b$) hasta colores amarillos ($+b$). Cada color queda representado por un valor de cada una de estas tres coordenadas, que representan un punto en el espacio tridimensional (Minolta, 1994) (Fig. 9). El color se midió en 10 alcachofas por cada tratamiento.

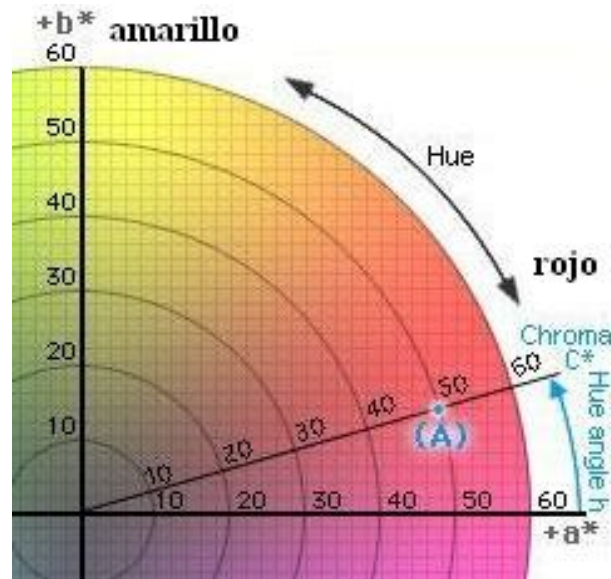


Figura 9: Sistema Hunter Lab.

Fuente: www.agronomy.com/hunter-lab-system/.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se ha utilizado el programa estadístico "Statgraphics Plus 3.0" (Fig. 10), realizando un análisis de varianza simple de un solo factor (ANOVA) y un test de rango múltiple en aquellas comparaciones en que aparecían diferencias estadísticamente significativas, con el fin de establecer una significación en los datos recogidos en el estudio de los diferentes parámetros.

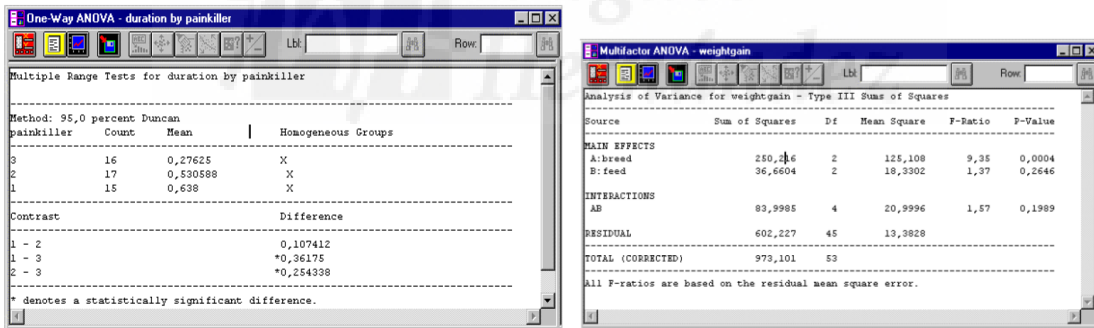
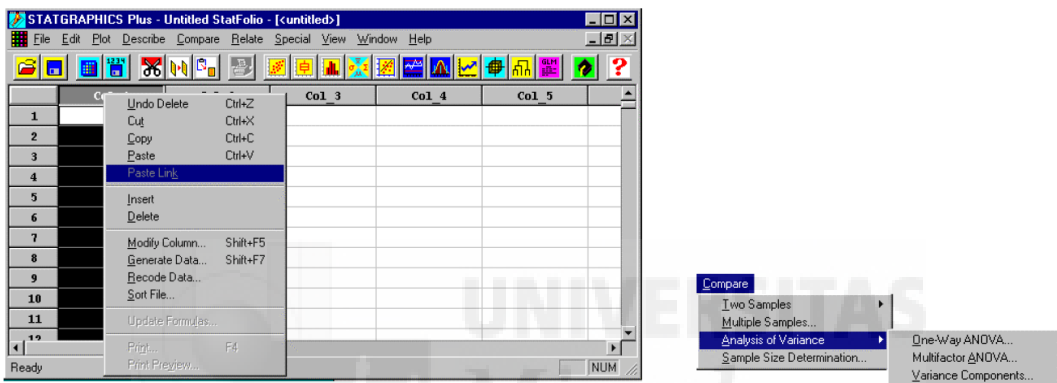
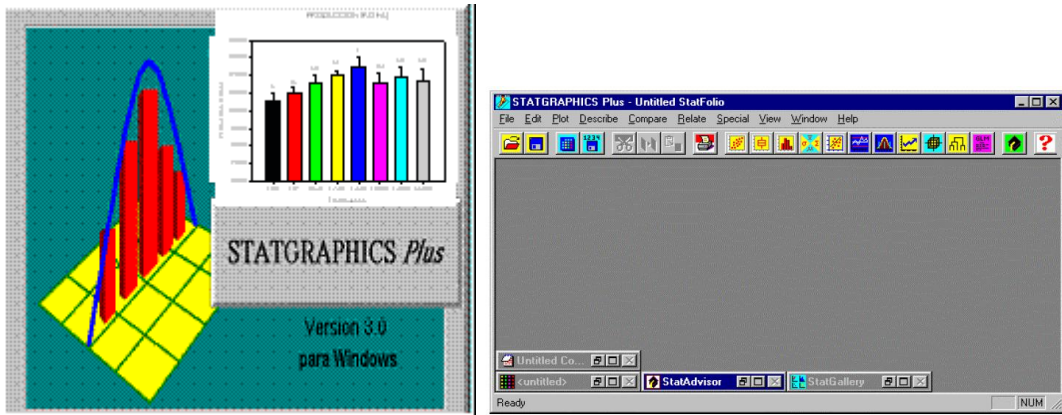


Figura 10: Programa Statgraphics Plus 3.0.



4. RESULTADOS

4.1. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PLANTA

Como se puede observar en la figura 11, ninguno de los tratamientos presenta diferencias significativas respecto al control T01 en cuanto al diámetro de la planta. El tratamiento con la mezcla de DI-31 32 ppm y GA 10 ppm (T5) es el que ha presentado un mayor diámetro de planta con respecto al resto de tratamientos ($146,56 \pm 2,30$ cm), siendo el único tratamiento que ha presentado diferencias significativas respecto a T02, que contiene B + Ca + Algas, y respecto a los tratamientos con DI-31, tanto a 20 ppm (T3) como a 32 ppm (T4). Los tratamientos con GA3, tanto a 10 (T1) como a 20 ppm (T2), no han mostrado diferencias significativas entre sí, ni con respecto al control T01.

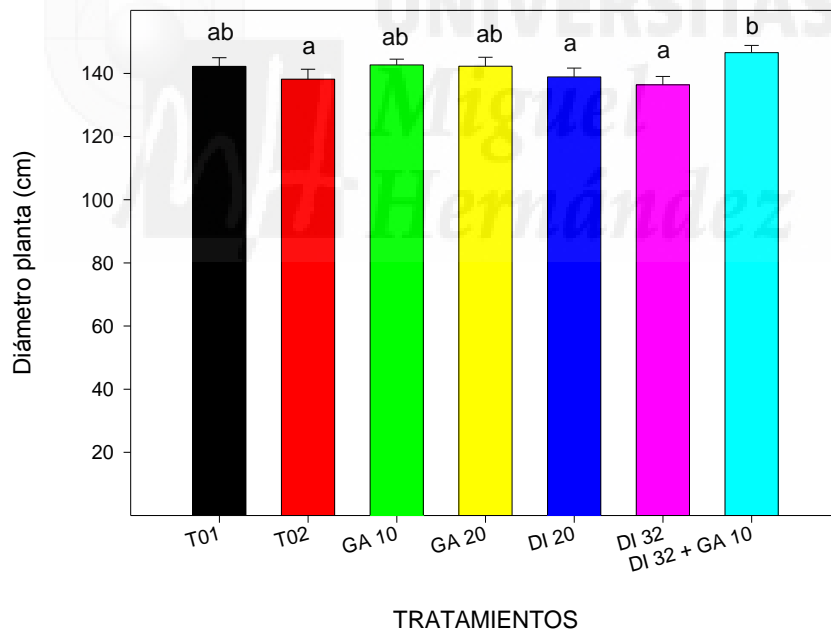


Fig. 11: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el diámetro de la planta. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

En la figura 12, se observa que las plantas tratadas con ácido giberélico, tanto a una concentración de 10 ppm (T1) como a 20 ppm (T2), como las tratadas con la mezcla de DI-31 32 ppm + GA10 ppm (T5), han conseguido una mayor altura de planta con respecto las plantas tratadas con el resto de tratamientos que no contienen ácido giberélico (T3, T4). En los tratamientos que contienen ácido giberélico las plantas alcanzan en torno a los 60 cm de altura, sin embargo, en los que no llevan esta hormona apenas sobrepasan los 40 cm.

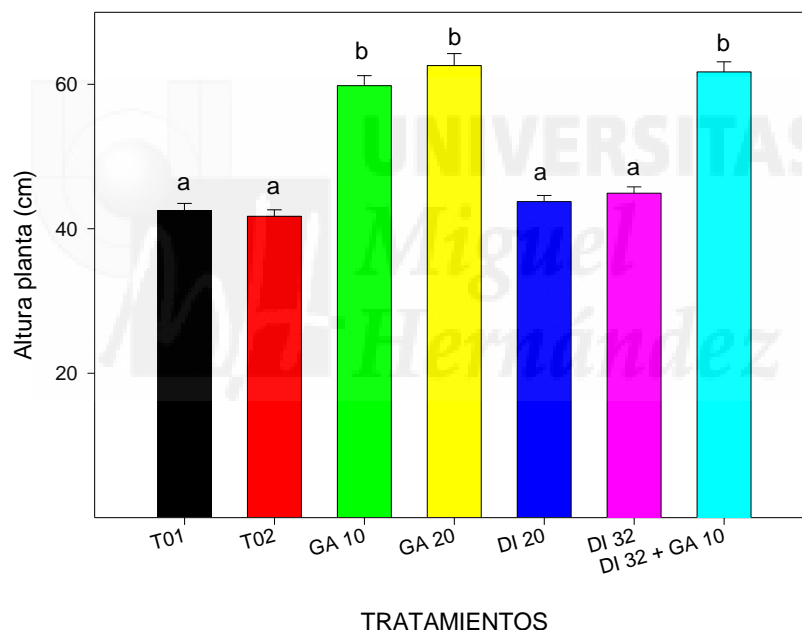


Fig. 12: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la altura de la planta. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

4.2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN

Respecto al número de alcachofas/planta, el análisis de la varianza muestra que hay diferencias significativas entre T01, con una media de 13,7 alcachofas por planta, y T02, DI-31 20 ppm (T3) y la mezcla DI-31 32 ppm + GA 10 ppm (T5), que producen menos de 12 alcachofas por planta. El resto de tratamientos no presentan diferencias significativas respecto al control T01, aunque todos ellos presentan también un número de alcachofas por planta menor que él.

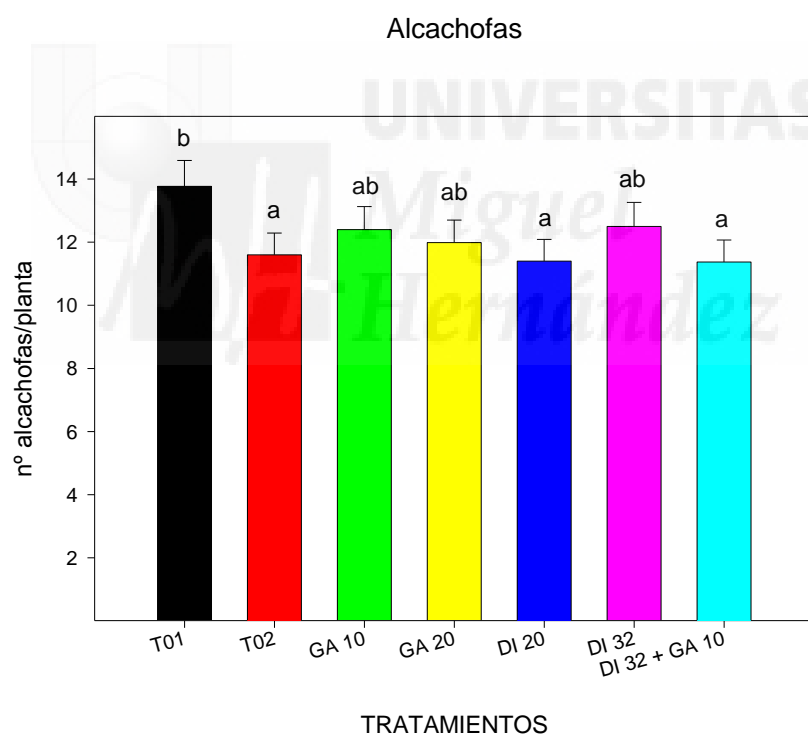


Fig. 13: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la producción de la planta expresada en nº de alcachofas/planta. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

RESULTADOS

En la figura 14 se puede observar la evolución del número de cabezuelas por planta obtenidas en cada recolección. En este caso, también se comprueba que las plantas control han producido un mayor número de alcachofas por planta en todas las recolecciones, ya que en todos los ensayos los tratamientos han producido un menor número de alcachofas que T01, desde el inicio del cultivo hasta el final de la recolección, aunque las diferencias han sido más evidentes a partir de la cuarta recolección. Las plantas tratadas con la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm han sido las que menor número de alcachofas por planta han producido. Los resultados obtenidos indican que ningún tratamiento ha conseguido adelantar la recolección de alcachofas, objetivo que también era perseguido con los tratamientos hormonales realizados.

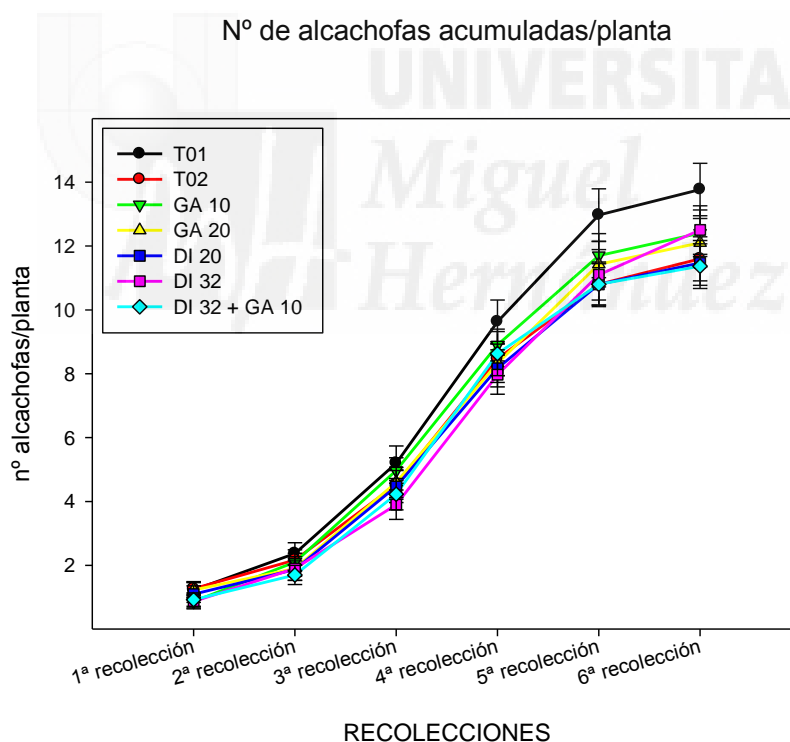


Fig. 14: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la evolución del nº de alcachofas/planta. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

En lo que se refiere a la producción total (kg de alcachofas/planta) del cultivo, el análisis de la varianza indica que, en conjunto, no existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos y las plantas control. En este caso, la figura 15 muestra que la máxima producción se obtiene en las plantas del control T01 que consigue la mayor producción, con $3,44 \pm 0,31$ kg/planta, mientras que en los demás tratamientos se encuentra entorno a los 3 kg/planta.

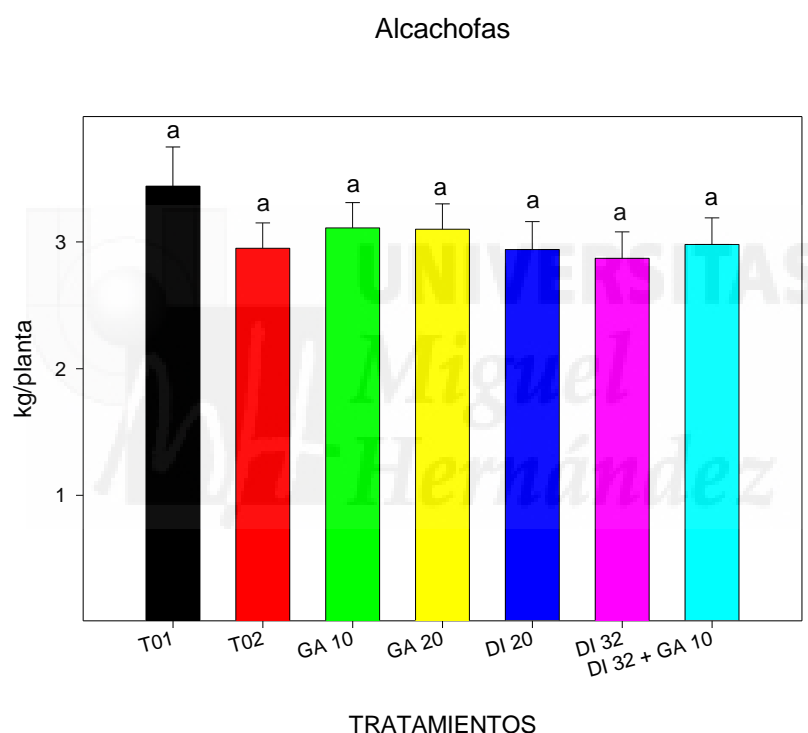


Fig. 15: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la producción expresada como kg de alcachofa/planta. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

En la figura 16 se puede observar la evolución de la producción en kg/planta según las distintas recolecciones y tratamientos. Como en el resto de parámetros estudiados, las plantas del control T01 producen un mayor número de kg de alcachofas por planta con respecto a las plantas tratadas. También se puede observar como a partir de la tercera recolección hay mayor diferencia entre la producción de las plantas control y las tratadas con cualquier tratamiento, siendo las plantas tratadas con el análogo de BR DI-31 a 32 ppm las que han presentado una menor producción en kg de alcachofas/planta.

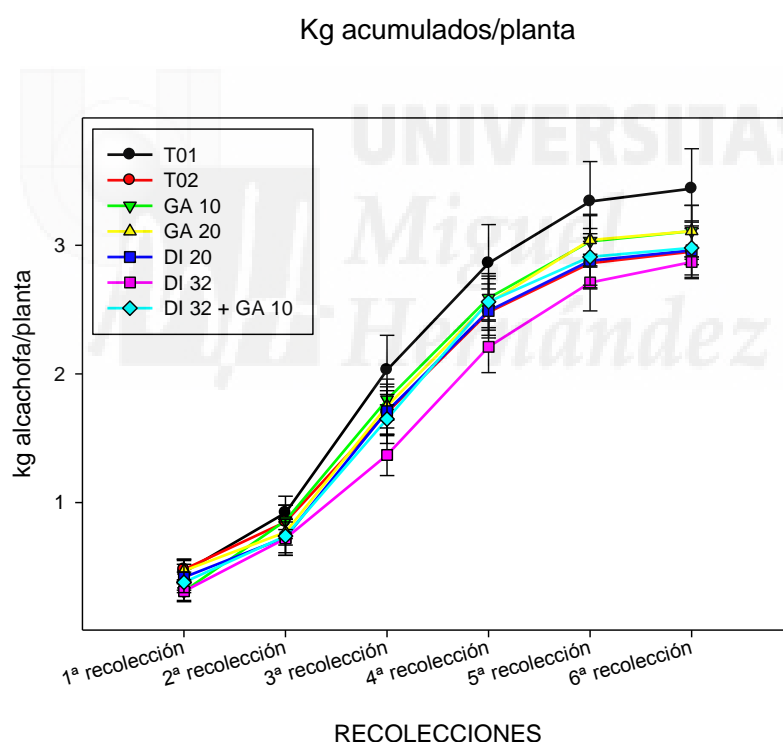


Fig. 16: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la evolución de los kg de alcachofas/planta. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

El peso medio de las alcachofas por planta se ha obtenido realizando la media del peso de todas las alcachofas producidas por cada planta de cada tratamiento y el número del total de alcachofas producidas por cada planta y tratamiento. El análisis de la varianza realizado para el peso de la alcachofa determina que no existen diferencias al 95 % de significación entre ningún tratamiento y el control. Sin embargo, sí hay diferencias entre el peso medio de las cabezuelas de las plantas tratadas con DI-31 32 ppm, con un valor de $0,23 \pm 0,31$ kg/cabezuela, con respecto al peso de las alcachofas de las plantas tratadas con GA 20 ppm, con una valor máximo de $0,284 \pm 0,03$ kg/cabezuela, y con T02 con un valor de $0,273 \pm 0,03$ kg/cabezuela.

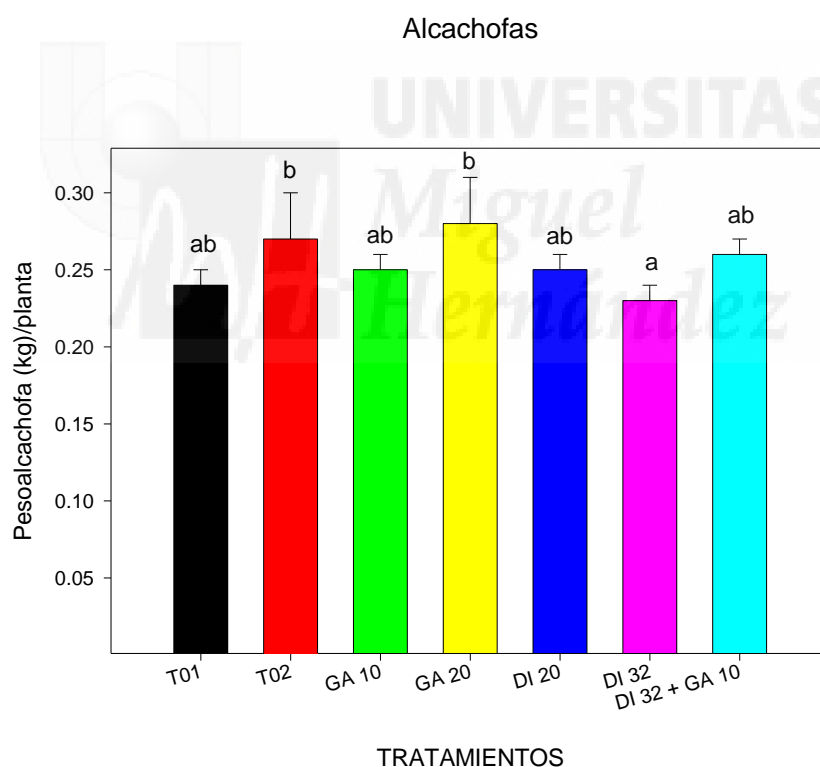


Fig. 17: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el peso medio de las alcachofa/planta de toda la producción en campo. Cada dato es la media \pm ES de 30 plantas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

4.3. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA CALIDAD VISUAL DE LAS ALCACHOFAS

Para estudiar los efectos de los tratamientos sobre la calidad visual de las alcachofas, se analizaron 10 alcachofas por tratamiento correspondientes a la cuarta recolección (11/3/14). Determinándose el peso individual de cada alcachofa, su longitud, su diámetro y su color, así como el peso, el diámetro y la altura del receptáculo floral (parte comestible).



En la figura 18 se puede observar que en las muestras analizadas fueron las alcachofas pertenecientes al tratamiento T02, con un valor de $270,51 \pm 17,02$ g, las que presentaron un peso medio máximo. Este valor muestra diferencias significativas respecto al peso de las alcachofas de las plantas control (T01), con un peso medio de $227,48 \pm 9,76$ g, y respecto al peso de las alcachofas de las plantas tratadas con GA 10 ppm (T1) que presentaron el peso medio menor, con un valor de $213,38 \pm 11,86$ g.

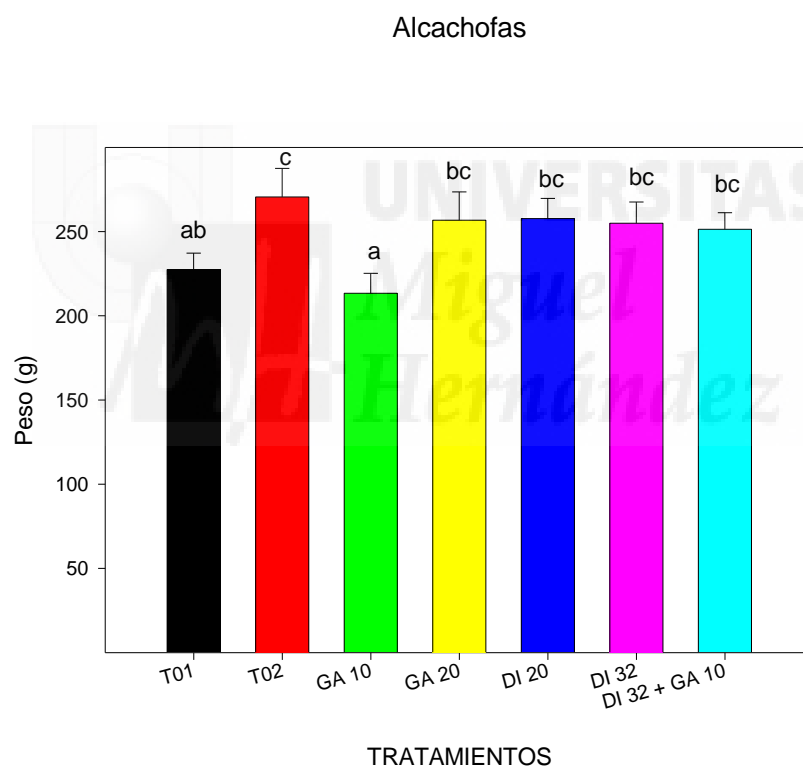


Fig. 18: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el peso medio individual de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

En la figura 19 se pueden observar los resultados obtenidos para la longitud (mm) de las alcachofas de todos los tratamientos en el laboratorio. Como podemos ver, los valores de longitud varían entre un mínimo de $95,97 \pm 1,77$ mm de las cabezuelas obtenidas en las plantas control (T01) y el máximo valor de $103,29 \pm 2,13$ mm obtenido en las alcachofas de las plantas control tratadas con B, Ca y algas (T02), seguido por el de las alcachofas de las plantas tratadas con DI-31 32 ppm (T4), con un valor de $103,16 \pm 2,07$ mm, por lo que encontramos diferencias significativas entre T01, T02 y T4 para este parámetro.

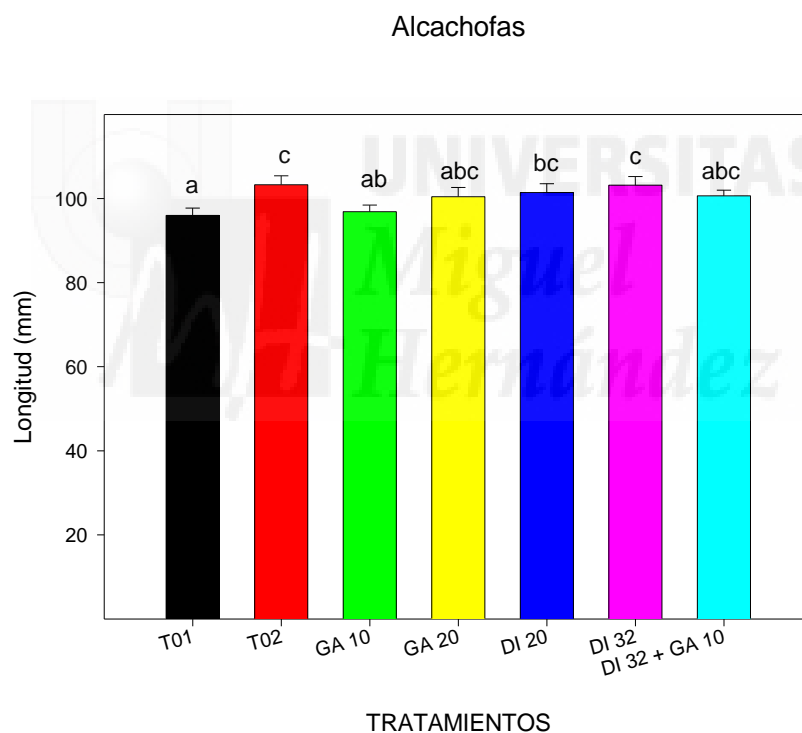


Fig. 19: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la longitud media de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

En la figura 20 se pueden observar los resultados obtenidos para el diámetro de las alcachofas de las plantas control tratadas con y sin B + Ca + algas y para las de los diferentes tratamientos hormonales. En esta figura se aprecian unas diferencias al 95 % de significación entre el diámetro de las cabezuelas de las plantas control T01, con un valor máximo de $77,13 \pm 1,53$ mm, y el de las obtenidas en las plantas tratadas con GA 10 ppm (T1), que presentan el menor diámetro, con un valor de $68,55 \pm 1,23$ mm. También se observan diferencias significativas respecto al diámetro de las alcachofas de las plantas tratadas con el análogo de BR DI-31 tanto a 20 (T3) como a 32 ppm (T4).

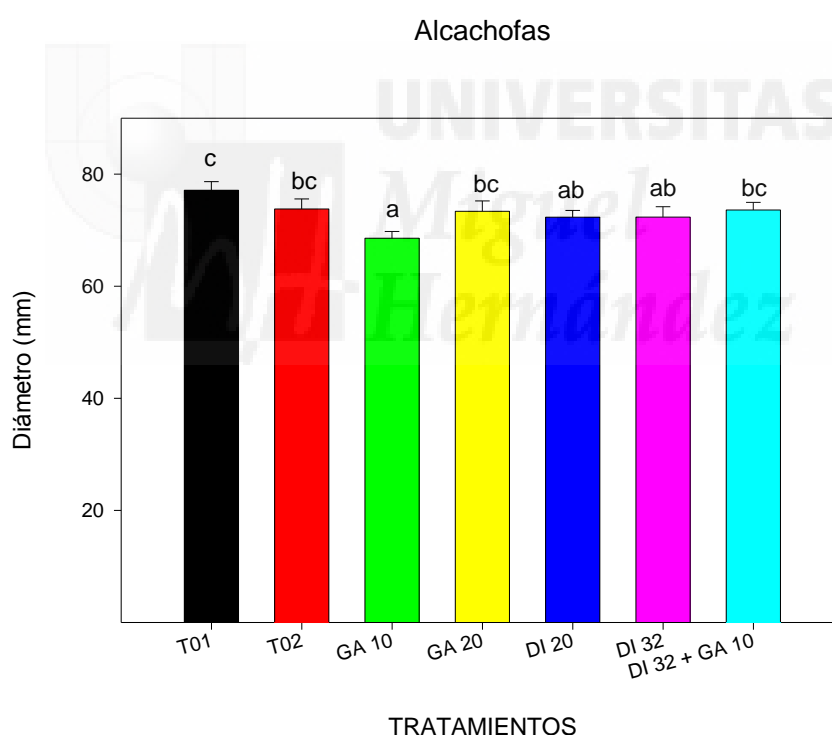


Fig. 20: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el diámetro de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

El análisis de la varianza realizado para el parámetro L* del color (luminosidad) determina que sólo existen diferencias significativas para este parámetro entre las alcachofas de las plantas tratadas con GA a 20 ppm (T2), con un valor máximo de 60,84 unidades y, por tanto, máxima luminosidad, y las de las plantas tratadas con el análogo de brasinosteroide DI-31 20 ppm (T3) que presenta un valor mínimo, con una luminosidad ligeramente menor, de 57,17 unidades (Fig. 21).

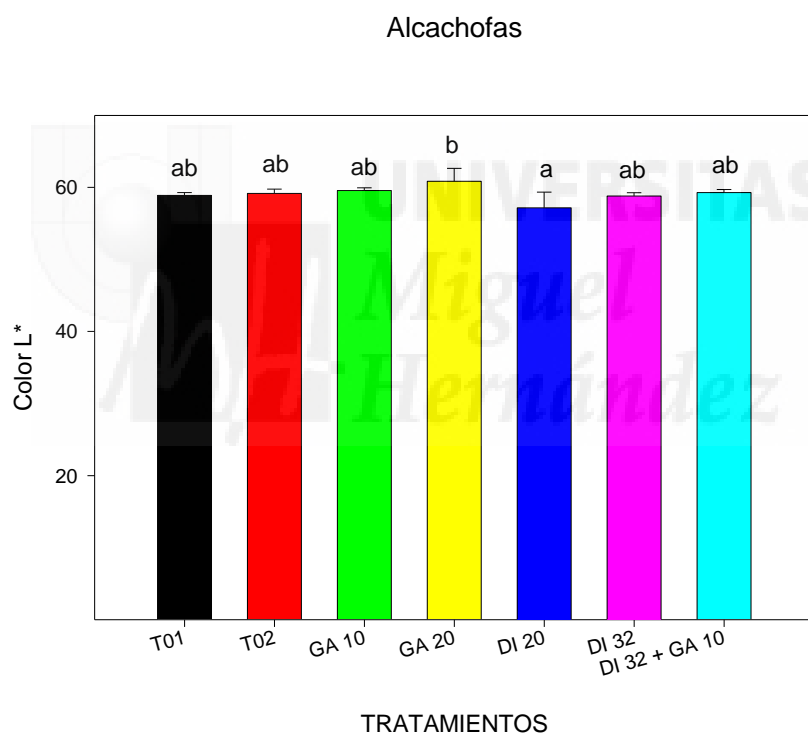


Fig. 21: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el parámetro L* del color de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

El análisis de la varianza realizado para el parámetro a^* del color, que cuantifica los colores que oscilan entre el verde (con valores negativos) y el rojo (con valores positivos), determina que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, excepto entre las alcachofas de las plantas testigo (T01) y las de las plantas tratadas con el análogo de BR DI-31 32 ppm (T4). Todos los valores obtenidos al medir este parámetro, como se observa en la figura 22, son negativos, resultados que eran de esperar ya que las alcachofas var. Blanca de Tudela son verdes.

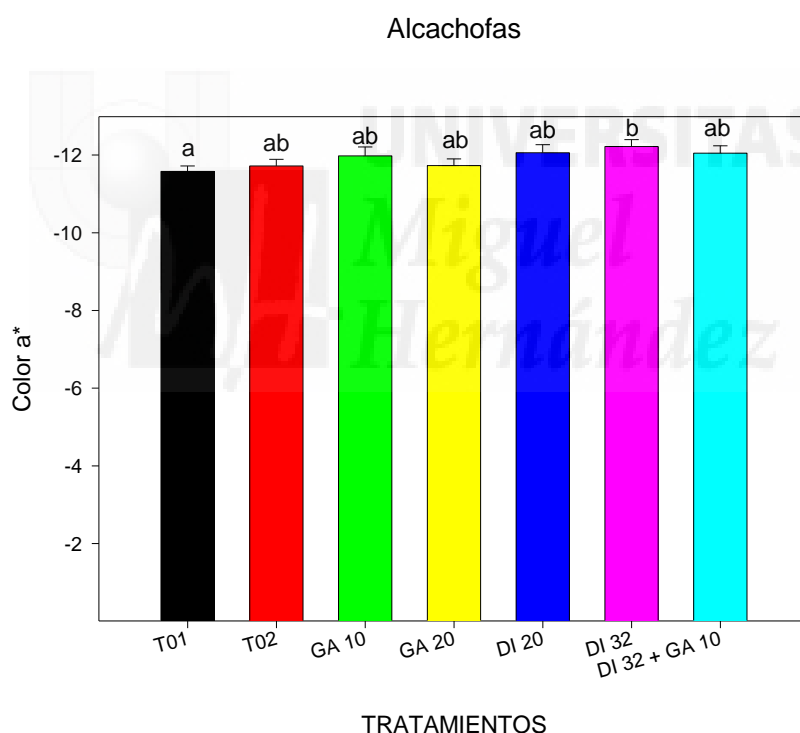


Fig. 22: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el parámetro a^* del color de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

El análisis de la varianza realizado para el parámetro b* del color, que cuantifica los colores amarillos, determina que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, como podemos observar en la figura 23.

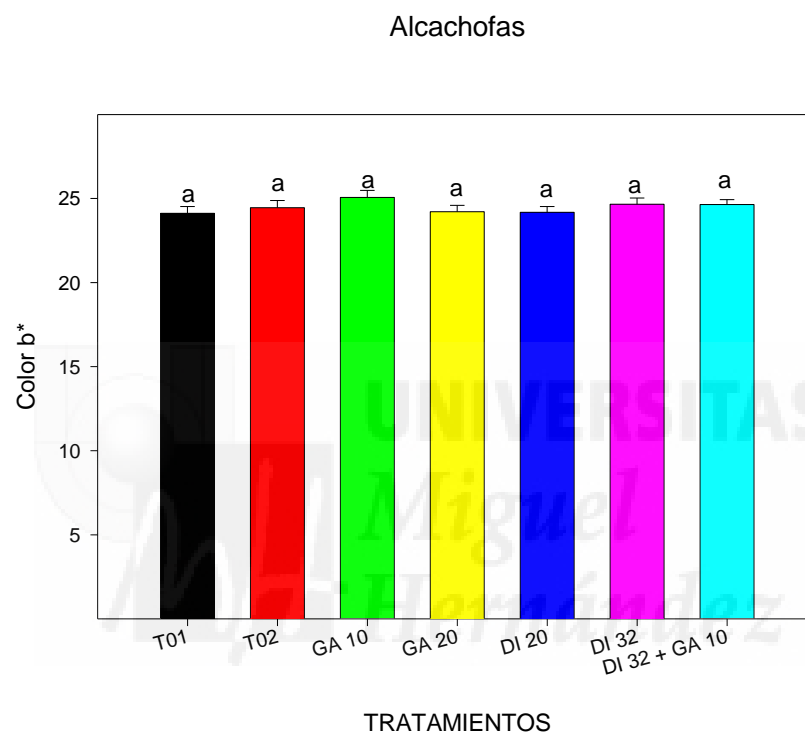


Fig. 23: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el parámetro b* del color de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

Respecto al peso del receptáculo floral, el análisis de la varianza indica que existen diferencias significativas para este parámetro entre las alcachofas de las plantas control T01, que tiene un valor mínimo de 89,72 gramos, y el peso del receptáculo de las alcachofas de plantas tratadas con DI-31 20 ppm (T3), con un valor de 106,32 gramos.

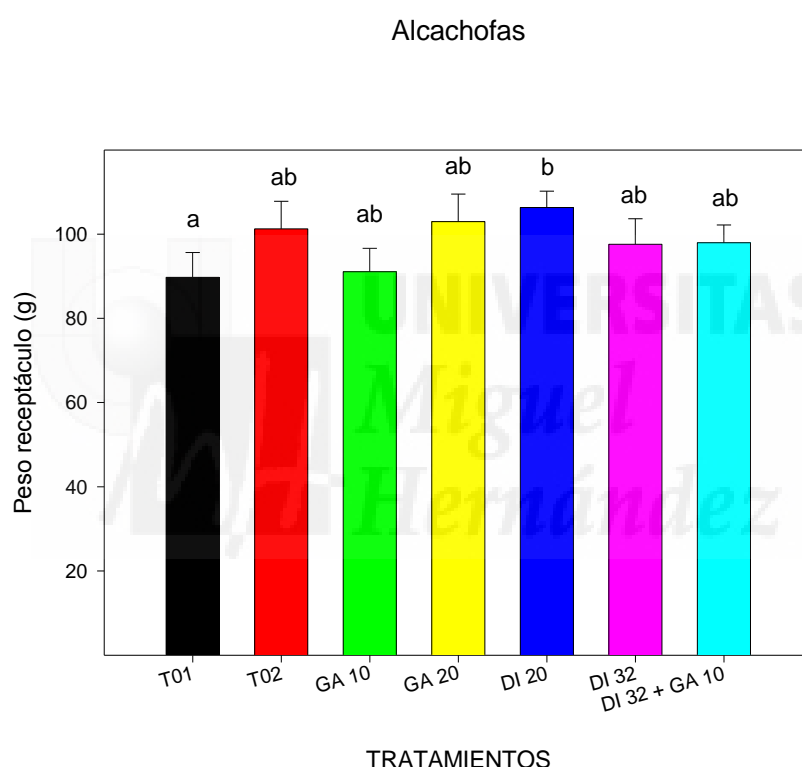


Fig. 24: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el peso del receptáculo de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

El análisis de varianza realizado para la altura del receptáculo de las alcachofas muestra que hay diferencias significativas para este parámetro entre las alcachofas de las plantas tratadas con el análogo de BR DI-31 20 ppm (T3) que tiene una altura media de 44,72 mm y la altura de los receptáculos de las alcachofas de las tratadas con la mezcla de hormonas (T5) y con DI-31 32 ppm (T4) que han obtenido los valores mínimos para este parámetro.

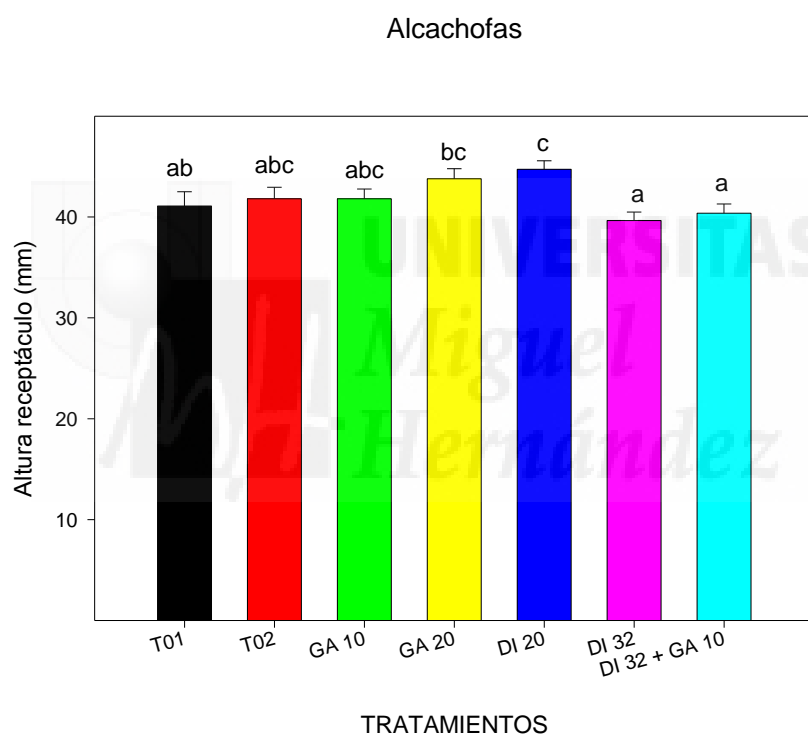


Fig. 25: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre la altura del receptáculo de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.

Respecto al diámetro del receptáculo de las alcachofas, el análisis de la varianza indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ya sean controles o tratamientos hormonales con BRs y/o GAs.

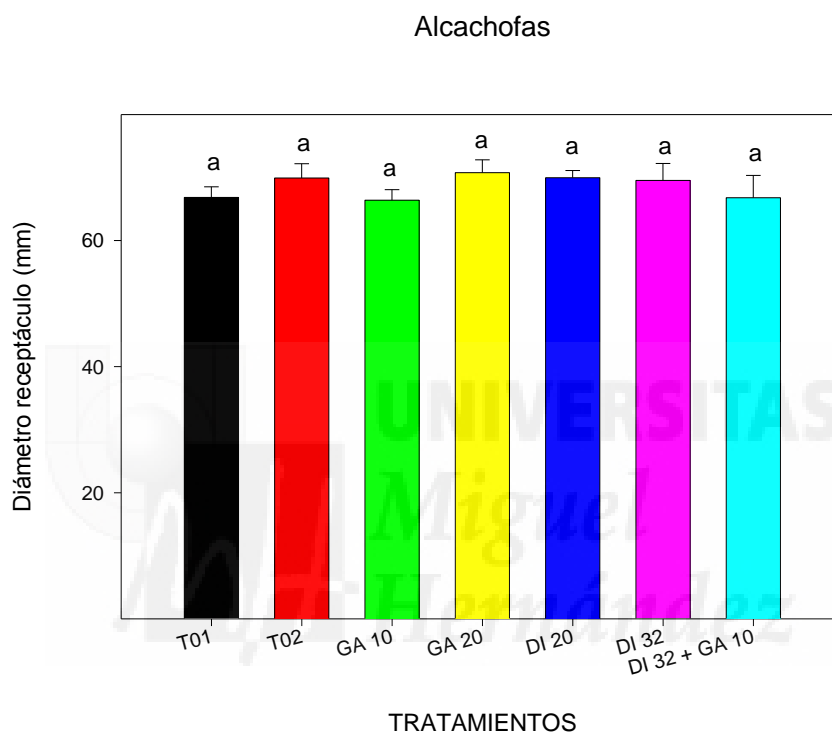


Fig. 26: Resultados de los tratamientos GA 10 ppm, GA 20 ppm, DI-31 20 ppm, DI-31 32 ppm y la mezcla de DI-31 32 ppm + GA 10 ppm, respectivamente, y de los controles T01 y T02 (B y Ca) sobre el diámetro del receptáculo de las alcachofas por tratamiento. Cada dato es la media \pm ES de 10 alcachofas por tratamiento. Letras distintas pertenecen a tratamientos con diferencias al 95% de significación.



5. DISCUSIÓN

5.1. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PLANTA

El objetivo principal de este trabajo ha sido estudiar los efectos que tienen la aplicación de diferentes concentraciones de GA3 y del brasinosteroide de síntesis DI-31 sobre la producción de plantas de alcachofas en campo, ya que otras investigaciones han demostrado que los brasinosteroides promueven el crecimiento vegetal y el incremento de las cosechas (Arteca y Arteca, 2001; Howell et al., 2007; Kartal et al., 2009; Serna et al., 20012a y b; 2013). Además, también se ha encontrado que los tratamientos con GA3 promueven la producción de alcachofas (Dumičić et al., 2009; El-Abagy et al., 2010; Esteva et al., 2004; Firpo et al., 2005; García et al., 2010; García et al., 1999; Goreta et al., 2004; Paradiso et al., 2007).

En este trabajo se ha utilizado un suplemento nutritivo natural, básicamente de N, como ha sido un extracto de algas enriquecido con B y Ca, para que el aumento de la producción previsto provocado por ambos reguladores del crecimiento no se viera mermado por la falta de nutrición de las plantas, de forma similar a como otros autores han realizado en tratamientos con brasinosteroides (Nuñez, 1998; Terry et al., 2001) y con giberelinas (Rojo, 2004; Calabrese et al., 2007). Además, los tratamientos con algas pueden tener un efecto beneficioso sobre la planta, ya que disminuyen las infecciones fúngicas e incrementan la actividad fotosintética (Crouch y Van Staden, 1993; Zhang y Ervin, 2004; Zhang et al., 2003).

Como se puede observar en las figuras 11 y 12, los tratamientos con estos suplementos nutritivos (T02) no han producido modificaciones ni en el diámetro, ni en la altura de las plantas respecto a las control sin suplemento (T01), lo que indica que no se ha producido un exceso de fertilización de las

alcachoferas que haya perjudicado a las plantas, previniendo el peligro añadido de que se incremente la lixiviación en el suelo del nitrógeno sobrante, lo que produce un incremento de la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas (Zhu et al., 2005).

En estas figuras se puede observar que los tratamientos con DI-31, tanto a 20 (T3) como a 32 ppm (T4), no han producido incrementos en el tamaño de las alcachoferas, ni en diámetro ni en altura. Estos resultados no están de acuerdo con los obtenidos por Serna et al. (2012a; 2013) que encontraron incrementos productivos en plantas de lechuga y escarola con el brasinosteroide de síntesis DI-31 a concentraciones de 4, 8 y 12 ppm, lo que correlacionaron con incrementos fotosintéticos producidos por el análogo de BR. Además, los BRs estimulan la elongación y división celular, lo que promueve el crecimiento favoreciendo el incremento de las cosechas (Arteca y Arteca, 2001; Howell et al., 2007; Kartal et al., 2009). Zurek y Clouse (1994) también han demostrado en plántulas de soja, que los BRs inducen el crecimiento del tallo por elongación celular al alterar las propiedades mecánicas de la pared celular relajándolas, en un proceso independiente de auxinas. El que los tratamientos con DI-31 no hayan producido incrementos del tamaño de las alcachoferas puede deberse a que las concentraciones aplicadas (20 y 32 ppm) hayan podido ser excesivas, frente a las concentraciones de 4, 8 y 12 ppm utilizadas por Serna et al. (2012 a; 2013) que sí lograron incrementar las producciones de lechuga y escarola en campo, al aumentar tanto el diámetro como la altura de las lechugas y escarolas y la compacidad de las lechugas.

Sin embargo, las aplicaciones de GA3, tanto a 10 (T1) como a 20 ppm (T2) y mezcladas con DI-31 (T5), aunque no han incrementado significativamente el diámetro de las alcachoferas, sí lo han hecho sobre la altura de las plantas, siendo notable el incremento en longitud de las mismas y de un 47.2%, con diferencias significativas. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por El-Abagy et al. (2010), que encontraron un incremento del 40.10% en longitud al tratar las plantas de alcachofa con GA3 50 ppm en

campo, porcentajes que disminuyeron al incrementar la concentración de GA3 aplicada. Goreta et al. (2004) también encontraron que los tratamientos con GA3 a 75 ppm produjeron incrementos de la longitud de las plantas, aunque el efecto dependió de las condiciones climáticas después del tratamiento y durante el periodo de crecimiento. Rojo (2004) también encontró que tratamientos con GA3 a 30 ppm produjeron incrementos en la altura de las plantas, aunque sólo fue del 3.25%.

5.2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN

La producción, en kg de alcachofas por planta (Fig. 15), ha sido similar para las plantas de todos los tratamientos, incluidas las plantas control, es decir, que ningún tratamiento con reguladores del crecimiento, ni con GA3 (T1, T2, T5) ni con DI-31 (T3, T4, T5), ha conseguido incrementar la producción en kg de alcachofas/planta. Estos resultados no están de acuerdo con la bibliografía consultada. En cuanto a los tratamientos con DI-31, Serna et al. (2012b) sí que incrementaron la producción de pimientos en kg/planta cuando realizaron tratamientos a unas concentraciones de 4, 8 y 12 ppm, siendo estos aumentos mayores al incrementar la dosis aplicada. Por otra parte, Gomes et al. (2006), al tratar árboles de maracuyá con DI-31 a una concentración de 0,1 mg/L obtuvieron unos incrementos del 65% en la producción de estos frutos. Terry et al. (2001) lograron incrementar la producción de tomates en campo. Ali et al. (2006), al tratar con 28-homobrasinólido 10^{-8} M semillas de garbanzo y sembrarlas, obtuvieron aumentos del 26% en la producción de garbanzos. También se han obtenido incrementos de producción por aplicación de BRs en otras especies como frijol verde (Fariduddin et al., 2008), cacahuete (Vardhini y Rao, 1998), altramuces (Kandelinskaya et al., 2007), lentejas (Hayat y Ahmad, 2003) y uvas (Warusavitharana et al., 2008), entre otras especies. Sin embargo, en trabajos realizados por otros autores, a veces se consiguen y otras no incrementos en la producción, dependiendo de la concentración de BRs aplicada. Así, Núñez et al. (1995 a y b), consiguieron un 9,66 % de incremento en la producción de tomates al tratar las plantas con el análogo de

BR Biobrás-6 a 10 mg/L, mientras que a 0,1 ó 1,0 mg/L, la producción disminuyó. Por tanto, en nuestro caso, puede que no se haya producido un incremento productivo al tratar las plantas con DI-31 debido a la concentración empleada, que ha podido ser un poco alta (20 ó 30 ppm), ya que otros autores han conseguido incrementos productivos con concentraciones menores, como se ha señalado anteriormente, aunque en otras especies. En cuanto a los tratamientos con GA3 tampoco se han producido incrementos productivos, lo que está de acuerdo con Rojo (2004) que al tratar las alcachofas con GA3 a 25 ppm en 3 aplicaciones produjeron una disminución de la producción de alcachofas Blanca de Tudela, igual que Miguel et al. (1997) que también encontraron una disminución de la producción de alcachofas Blanca de Tudela al aplicar 3 veces GA3 30 ppm o 2 veces GA2 30 ppm, y Baixauli et al. (2007) al tratar alcachofas de las variedades Imperial Star y Prelude 3 veces con GA3 30 ppm. Sin embargo, otros autores sí que han conseguido incrementos productivos al aplicar GA3 a diferentes concentraciones, como a 90 ppm (Paradiso et al., 2007) o a 30 más 15 ppm en dos aplicaciones (Dumičić et al., 2009) en otras variedades de alcachofa. García et al. (1999), Firpo et al. (2005) y García et al. (2010) consiguieron incrementos productivos dependiendo de la variedad, unos en las variedades más tempranas (García et al., 2010) y otros en las variedades más tardías (García et al., 1999).

Aunque la producción en kg/planta ha sido la misma en todos los tratamientos, sí que se ha producido un incremento significativo del número de alcachofas/planta en las plantas control (T01) respecto a las plantas control con nutrientes (T02) y a las tratadas con DI-31 a 20 ppm (T3) y con la mezcla de reguladores del crecimiento (T5) (Fig. 13), no existiendo diferencias significativas con los demás tratamientos. Los tratamientos con DI-31 han disminuido (20 ppm) o mantenido (32 ppm) este parámetro respecto a las plantas control, lo que está de acuerdo con Ali et al. (2006) quienes al tratar garbanzos con 28-homobrasinólido a 10^{-10} y 10^{-8} M obtuvieron el mismo número de vainas/planta. Sin embargo, estos resultados no están de acuerdo con la mayoría de autores. Así, Serna et al. (2012b) han conseguido incrementos en el número de pimientos en plantas tratadas con DI-31 12 ppm,

lo que correlacionaron con un incremento fotosintético provocado por este regulador del crecimiento, aumentando la disponibilidad de fotoasimilados e induciendo un mayor cuajado de frutos. También, Gomes et al. (2006) obtuvieron un aumento del número de maracuyás/planta al tratar los árboles con DI-31 0,1 mg/L, pasando de 53,5 a 81.5 frutos/planta. Hayat y Ahmad (2003) trataron lentejas con 28-homobrasinólido a diferentes concentraciones y también encontraron aumentos significativos tanto en el número de vainas por planta, como en el número de legumbres por vaina.

Los resultados obtenidos con respecto a los tratamientos con GA3 están de acuerdo con los de otros autores, como García et al. (2010) que tampoco encuentran diferencias en el número de capítulos en las plantas de alcachofa tratadas con GA3. Otros autores, como Rojo (2004) encuentran una disminución en el número de cabezuelas por planta, mientras que Dumičić et al. (2009) y El-Abagy et al. (2010) encontraron incrementos. A su vez, García et al. (1999) observaron incrementos en el número de capítulos sólo en las variedades medias o tardías, pero no en las tempranas. Por tanto, parece que existe una gran variedad en la respuesta que presentan las alcachoferas a los tratamientos con GA3 para este parámetro, dependiendo de varios factores como la variedad, la concentración y el momento de aplicación de esta fitohormona. Las plantas control (T01) presentan un número de cabezuelas mayor a los tratamientos con GA3, al tiempo que presentaron un menor crecimiento promedio en altura de la planta que los tratamientos con esta hormona, lo que podría explicar el mayor rendimiento obtenido por las plantas control. Salisbury y Ross (1994) señalan que existe una competencia por los nutrientes entre órganos vegetativos y reproductivos, además indican que los factores que estimulan el crecimiento del sistema aéreo de las plantas, pueden retardar el desarrollo de flores y frutos.

Tampoco se han visto modificados significativamente los pesos de las alcachofas tratadas con reguladores del crecimiento respecto a las plantas control (T01) (Fig. 17). Otros autores tampoco han conseguido modificar significativamente el peso de los frutos, como Serna et al. (2013) al tratar

pimientos con DI-31, o Miguel et al. (1997) al tratar alcachoferas con GA3 o GA2. Baixauli et al. (2007) disminuyeron el peso de las alcachofas al realizar 3 aplicaciones de GA3 30 ppm y García et al. (1999) al tratar variedades tanto tempranas, como medias y tardías. Sin embargo, otros autores han producido alcachofas con más peso y mayor producción, como García et al. (2010) y El-Abagy et al. (2010), lo que correlacionaron con incrementos fotosintéticos y de fitohormonas como AIA y citoquininas y disminuciones de ABA.

En cuanto al adelanto de la producción, que se puede observar en la figura 16, los kg de alcachofas recolectadas de las plantas control fue mayor que los de las plantas tratadas, en las 6 recolecciones realizadas, por lo que los diferentes tratamientos no han conseguido tampoco adelantar la fecha de recolección de las alcachofas. Estos resultados están de acuerdo con otros autores que tampoco consiguieron incrementar la precocidad de la producción, como Miguel et al. (1997) al realizar 3 aplicaciones de GA3 30 ppm a estaquillas de la variedad Blanca de Tudela. Sin embargo, otros autores sí que han conseguido precocidad en las recolecciones de alcachofas al tratar con GA3, como García et al. (2010), que adelantaron la recolección de alcachofas 12 días respecto a las plantas control cuando trataron con GA3 30 ppm. Otros autores también consiguieron adelantos en la recolección al tratar alcachoferas con GA3 a diferentes concentraciones, como a 5 ppm (Calabrese et al., 2007), 25 ppm (Ercan et al., 2004), 30 más 15 ppm en dos aplicaciones (Dumičić et al., 2009) o 90 ppm (Paradiso et al., 2007), aunque se trataba de otras variedades diferentes a la utilizada en este trabajo. A este respecto, es importante constatar la importancia de la variedad empleada, ya que tanto García et al. (1999), como Firpo et al. (2005) y García et al. (2010), encontraron que al tratar con GA3 variedades precoces, medias y tardías, sólo se indujeron adelantos en la producción en las variedades tempranas, mientras que no se producía adelanto e incluso se produjeron atrasos en las variedades más tardías. Sin embargo, la variedad Blanca de Tudela utilizada en este trabajo es clasificada por Pecaut y Foury (1992) como precoz y por tanto más susceptible a que los tratamientos con GA3 produzcan adelanto de la producción. La alcachofa es una hortaliza de invierno, con una temperatura óptima de

crecimiento entre 16 y 18°C. Como toda planta en roseta necesita recibir una apropiada vernalización o acumulación de horas de frío para pasar del estado vegetativo al reproductivo, siendo las temperaturas de 8-9°C las que marcarían el cambio de fase (García et al., 2010). Basnizky y Goldschmidt (1994) demostraron fehacientemente que el GA3 participa en el proceso de iniciación de la floración supliendo las necesidades de horas frío y no en los estados subsiguientes de elongación del tallo y desarrollo de la inflorescencia. Por esta razón, es posible que si los tratamientos se realizan en fechas un poco tardías, y por tanto no apropiadas, porque las alcachofas hayan ya acumulado las suficientes horas frío, los tratamientos con GA3 no sean necesarios ni útiles para adelantar la producción. En este trabajo, los tratamientos con GA3 se realizaron el 21 de noviembre de 2013, el 22 de diciembre de 2013 y el 17 de enero de 2014, por lo que puede ser que fueran un poco tardíos.

5.3. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA CALIDAD VISUAL DE LAS ALCACHOFAS

Para estudiar los efectos de los tratamientos sobre la calidad visual de las alcachofas, se llevaron al laboratorio y se analizaron 10 alcachofas por tratamiento correspondientes a la cuarta recolección (11/3/2014).

El tratamiento con nutrientes T02 ha incrementado significativamente la longitud de las alcachofas respecto a las de las plantas control (T01) y ha disminuido sin diferencias significativas el diámetro (Fig. 19 y 20), pero los tratamientos con reguladores del crecimiento no han modificado significativamente ni la longitud ni el diámetro de las alcachofas respecto a los controles T01 y T02. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Serna et al. (2012b) con pimientos tratados con DI-31, cuyos tratamientos no modificaron estos parámetros, y con Gomes et al. (2006) al tratar maracuyás con DI-31, ya que en ningún caso estos análogos de BR produjeron una modificación de la forma ni el tamaño de estos frutos. Sin embargo, García et

al. (2010) sí que obtuvieron alcachofas más globosas, con mayor diámetro, que las alcachofas control al tratarlas con GA3 30 ppm. Mangano y Signorelli (1981) encontraron que las aplicaciones de GA3 afectaron la forma del capítulo al causar la elongación de las brácteas y, por lo tanto, modificaron la relación altura-diámetro del mismo.

La forma (altura y diámetro) y el peso del receptáculo de las alcachofas (Fig. 24, 25 y 26) no se han visto modificados respecto a los controles T01 y T02 en ningún tratamiento, resultados que están de acuerdo con los obtenidos por otros autores al tratar con DI-31 pimientos (Serna et al., 2012b) o maracuyás (Gomes et al., 2006). Sin embargo, los tratamientos con GA3 a 50 ppm sí que incrementaron tanto el peso fresco y seco como el diámetro y el grosor de los receptáculos de alcachofa (El-Agaby et al., 2010) lo que correlacionaron con incrementos en el contenido de materia seca del receptáculo, así como en incrementos en los contenidos de N, P, K y Mg de dichos receptáculos.

Con respecto a los efectos de los tratamientos sobre el color de las alcachofas, se puede observar en las figuras 21, 22 y 23 que ningún tratamiento ha tenido efectos significativos sobre ninguno de los parámetros de color estudiados (L^* , a^* y b^*), por lo que el color de las alcachofas se ha mantenido en todos los tratamientos con reguladores del crecimiento, tal como Serna et al. (2012b) han encontrado en pimientos al tratar las plantas con DI-31.



6. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en este trabajo son las siguientes:

1. Los tratamientos con DI-31 no han modificado el tamaño de las plantas de alcachofa, mientras que los tratamientos con GA3 han incrementado significativamente la altura de dichas plantas.
2. La producción de alcachofas, en kg/planta no se ha visto modificada por ninguno de los tratamientos realizados con reguladores del crecimiento, ni GA3 ni DI-31. Estos tratamientos tampoco han conseguido incrementar el número de alcachofas/planta ni el peso de las mismas. Tampoco se ha conseguido incrementar la precocidad de la recolección, por lo que estos tratamientos no han sido efectivos para los objetivos propuestos en este trabajo.
3. Los diferentes tratamientos con fitohormonas realizados no han producido efectos negativos sobre el aspecto visual de las alcachofas, ya que no han modificado ni el peso, ni la forma, ni el color de las mismas. Tampoco han modificado el peso, el diámetro o la altura de los receptáculos de las alcachofas, por lo que tampoco han tenido efecto negativo sobre la parte comestible de las mismas.

Por tanto, finalmente, se puede concluir que los tratamientos realizados, tanto con GA3 como con DI-31, no han conseguido los objetivos propuestos en este trabajo, por lo que se deberá seguir investigando con otras concentraciones y momentos de aplicación.



7. BIBLIOGRAFÍA

- **ADAM, G.; MARQUARDT, V.** (1986). Brassinosteroids. *Phytochemistry*, 25: 1787-1799.
- **ALI, B.; HAYAT, S.; AIMAN HASAN, S.; AHMAD, A.** (2006). Effect of root applied 28-homobrassinolide on the performance of *Lycopersicon esculentum*. *Scientia Horticulturae*. 110: 267-273.
- **ARTECA, J.M.; ARTECA, R.N.** (2001). Brassinosteroid-induced exaggerated growth in hydroponically grown *Arabidopsis* plants. *Physiologia Plantarum*. 112: 104-112.
- **BAJGUZ A.; BAJGUZ A.J.; TRYNISZEWSKA E.A.** (2013) Recent advances in medicinal applications of brassinosteroids, a group of plant hormones. En: Atta-ur-Rahman Studies in natural products chemistry, vol. 40. Elsevier Science, Amsterdam.
- **BAJGUZ, A.; HAYAT, S.** (2009). Effects of brassinosteroid on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47: 1-8.
- **BAJGUZ, A.; PIOTROWSKA-NIEZYPORUK.** (2014). A. brassinosteroids implicated in growth and stress responses. En: L.-S. P. Tran y S. Pal (eds.), *Phytohormones: A windows to metabolism. Signaling and Biotechnological Applications*. Springer Science+Business Media. pp: 163-190.
- **BAIXAULI, C.; GINER, A.; MIGUEL, A.; LOPEZ, S.; BAUTISTA, A.S.; ALAGARDA, J.; MAROTO, J.V.** (2007). Productive response of two seed propagated artichoke cultivars to gibberellic acid, chlormequat and paclobutrazol applications. *Acta Horticulturae*. 730: 217-222.

- **BASNIZKY, J.; GOLDSCHMIDT, E.E.** (1994). Further examination of gibberellins. A. effects on flowering of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) under controlled environment and field conditions. *Israel Journal of Plant Sciences*. 42: 159-166.
- **CALABRESE, N.; PALMA, E.D.; DAMATO, G.** (2007). Harvest time and yield of artichoke cultivars propagated vegetatively or by seed. *Acta Horticulturae*. 730: 345-350.
- **CORFO: COORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN** (1982). Alcachofas: antecedentes agronómicos económicos. Santiago, CORFO. 100 pp.
- **CHOE, S.** (2007). Signal-Transduction pathways toward the regulation of brassinosteroid biosynthesis. *Journal of Plant Biology*. 50: 225-229.
- **CHOE, S.; FUJIOKA, S.; NOGUCHI, T.; TAKATUSUTO, S.; YOSHIDA, S.; FELDMANN, K.A.** (2001). Overexpression of DWARF4 in the brassinosteroid biosynthetic pathway results in increased vegetative growth and seed yield in Arabidopsis. *Plant. J.* 26: 573-582.
- **CROUCH, I.J., VAN STADEN, J.** (1993). Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regulation*. 13: 21-29.
- **DEL VALLE L.** (1987). El cultivo moderno de la alcachofa. Diferentes variedades y sus características y exigencias ambientales. De Vecchi (Ed). Barcelona.
- **DIVI, U.K.; KRISHNA, P.** (2009). Brassinosteroid: a biotechnological target for enhancing crop yield and stress tolerance. *New Biotechnology*. 26: 131-136.

- **DUMICIC, G.; GORETA, S.; BUCAN, L.; BOROSIC, J.; POLJAK, M.** (2009). Effect of gibberellic acid application on growth and yield of artichokes under summer conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7 (3-4): 620-626.
- **EL-ABAGY, H.M.H.; RASHAD, EL-SH.M.; ABDEL-MAWGOUD, A.M.R.; EL-GREADLY, N.H.M.** (2010). Physiological and biochemical effects of some bioregulators on growth, productivity and quality of artichoke (*Cynara scolymus* L.) plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 6 (6): 683-690.
- **ERCAN, N.; ONUS, A.N.; POLAT, E., AYAR, F.; TERMIRKAYNAK, M.; SENSOY, A.S.** (2004) Determination of optimum GA3 concentrations and awakening irrigation time for globe artichoke *Cynara scolymus* L. cv. Sakz grow in Mediterranean region of Turkey. *Acta Horticulturae*. 660: 197-203.
- **ESTEVA, J.; AYALA, C.; TOMÉ, J. M.** (2004) Effect of gibberellic acid on earliness and production of hybrid and open pollinated cultivars of globe artichoke in the Campo de Cartagena Spain. *Acta Horticulturae*. 660:161-166.
- **FAO** (2012) consultada en la siguiente pagina web: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>.
- **FARIDUDDIN, Q.; HASAN, S.A.; ALI, B.; HAYAT, S., AHMAD, A.** (2008). Effect of modes of application of 28-homobrassinolide on mung bean. *Turkish journal of biology*. 32 (1): 17-21.
- **FIRPO, I. T.; GARCÍA, S.M.; COINTRY, E.L.; LÓPEZ ANIDO, F.S.; CRAVERO, V.P.** (2005). Evaluation of the performance of different artichoke cultivars in offseason production. *Acta Horticulturae*. 681: 89-94.

- **FRANCO, I.** (1994). Efectividad del brasinosteroides DAA-6 en el cultivo de arroz. In: SEMINARIO CIENTÍFICO, 9. La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 15: 79.
- **FUJIOKA, S.; SAKURAI, A.** (1997). Biosynthesis and metabolism of brassinosteroids. *Physiologia Plantarum*. 100: 710-715.
- **GARCÍA, S.M.; FIRPO, T.F.; LÓPEZ ANIDO, F.S.; COINTRY, E.L.** (1999). Aplicación de ácido giberélico en alcaucil. 34 (5): 789-793.
- **GARCÍA, S.M.; FIRPO, T.F.; LÓPEZ ANIDO, F.S.; CRAVERO, V.P.; ROTONDO R.; COINTRY, E.L.** (2010). Incidencia del ácido giberélico sobre caracteres productivos en alcaucil. *Ciencias agrónomas*. XVI: 7-11.
- **GOMES, M.M.A.; COMPOSTRINI, E.; ROCHA, N.; PIO, A.; MASSI, T.; SIQUEIRA, L.; CARRIELLO, R.C.; TORRES, A.; NÚÑEZ, M.; ZULLO, M.A.** (2006). Brassinosteroid analogue effects on the yield of yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Scientia Horticulturae*. 110: 235-240.
- **GORETA, S.; BUCAN, L.; DUMICIS, G.** (2004). Effect of environment and gibberellic acid (GA3) on earliness and yield of globe artichokes. *Acta Horticulturae*. 660: 155-159.
- **GROSS, D.; PARTHIER, A.** (1994). Novel natural substances acting in plant growth regulation. *Journal of Plant Growth Regulation*. 13: 93-114.
- **HAYAT, S.; AHMAD, A.** (2003). Soaking seeds of *Lens culinaris* with 28-homobrassinolide increased nitrate reductase activity and grain yield in the field in India. *Association of Applied Biologists*. 143: 121-124.
- **HOWELL, W.M.; KELLER III, G.E.; KIRKPATRICK, J.D.; JENKINS, R.L.** (2007). Effects of the plant steroidal hormone, 24-epibrassinolide, on the

- mitotic index and growth of onion (*Allium cepa*) root tips. *Genetics and Molecular Research*. 6 (1): 50-58.
- **IGLESIAS, D.J.; TALÓN, M.** (2008). Giberelinas. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2ª Ed. J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). McGraw-Hill-Interamericana, Madrid. pp: 399-420.
 - **IKEKAWA, N.; ZHAO, Y-J.** (1991). Application of 24-epibrassinolide in agriculture. In: Cutler, H.G., Yokota, T., Adam, G. (eds.). *Brassinosteroids: Chemistry, Bioactivity and Applications*. Washington: American Chemical Society. 24: 280-291. (ACS Symposium Series 474).
 - **INFOAGRO** (2014) consultada en la siguiente página web: <http://www.infoagro.com/hortalizas/alcachofa.htm>.
 - **KAGALE, S.; DIVI, U.K.; KROCHKLO, J.E.; KELLER, W.A.; KRISHNA, P.** (2007). Brassinosteroids confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta*. 225: 353-364.
 - **KANDELINSKAYA, O.L.; TOPUNOV, A.F.; GRISHCHENKO, E.R.** (2007). Biochemical aspects of growth-stimulating effects of steroid phytohormones on lupine plants. *Applied biochemistry and microbiology*. 43: 324-331.
 - **KARTAL, G.; TEMEL, A.; ARICAN, E.; GOZUKIRMIZI, N.** (2009). Effects of brassinosteroids on barley root growth, antioxidant system and cell division. *Plant Growth Regulation*. 58: 261-267.
 - **KHRIPACH, V.A.; ZHABINSKII, V.N; DE GROOT, A.** (1998). Brassinosteroids – A new class of plant hormones. San Diego, Academic Press. ISBN: 9780124063600. 456 pp.
 - **KHRIPACH, V.A.; ZHABINSKII, V.N.; DE GROOT, A.** (2000). Twenty years of brassinosteroids. *Annals of Botany*. 86: 441-447.

- **KIM, S. K.** (1991). Induction of parthenogenetic haploid plants with brassinolide. *Japanese Journal of Genetics*. 69: 35-39.
- **KOH, S.; LEE, S.C.; KIM, M.K.; KOH, J.H.; LEE, S.; AN, G.; CHOE, S.; KIM, S.R.** (2007). T-DNA tagged knockout mutation of rice OsGSK1, an orthologue of *Arabidopsis* BIN2, with enhanced tolerance to various abiotic stresses. *Plant Mol. Biol.* 65: 1158-1164.
- **MAGRAMA** (2011) consultado en la siguiente página web: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-deestadistica/2012/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=6&seccion=31>.
- **MANGANO, G.; SIGNORELLI, P.** (1981). Azione di trattamento con acido giberelico alla piante in fase successive dell'acrescimento sulla produzione del carciofo, In Atti del 3 Cong. Int. Sul. Carciofo. Edizione Minerva Medica. 565-579.
- **MAROTO, J.V., MIGUEL, A., BARTUAL, R., BAIXAULI, R., LÓPEZ, M., IRANZO, B. y LÓPEZ-GALARZA, S.** (1997). Estrategias productivas en alcachofas con cultivares multiplicados por semillas. *Agrícola Vergel*. 181: 13-19.
- **MAZORRA, L.M; NÚÑEZ, M; NÁPOLES, M.C; YOSHIDA, S; ROBAINA, C; COLL, F; ASAMI, T.** (2004). Effects of structural analogs of brassinosteroids on the recovery of growth inhibition by a specific brassinosteroid biosynthesis inhibitors. *Plant growth regulation*. 44: 184-185.
- **MENA, A.** (1971). Uso del ácido giberélico en alcachofa. *Boletín agrícola*. Shell. 30(2): 6-9.

- **MIGUEL, A.; MAROTO, J.; IRANZO, B.; LÓPEZ-GALARZA, S.** (1997). Ácido giberélico en alcachofa. *Horticultura*. 120: 111-113.
- **MINOLTA.** (1994) Precise colour communication. Minolta Co., Ltd. Japón.
- **MITCHELL, J.W.; GREGORY, L.E.** (1972). Enhancement of overall plant growth, a new response to brassins. *Nature*. 239: 253-254.
- **MÜSSIG, C.** (2005). Brassinosteroid-promoted growth. *Plant Biol*. 7: 110-117.
- **MÜSSIG, C.; ALTMANN, T.** (2003). Genomic brassinosteroid effects. *Journal of Plant Growth Regulation*. 22: 313-324.
- **NÚÑEZ, M.** (1998). Efecto de tratamientos con brasinoesteroides sobre las relaciones hídricas y el crecimiento de plantas de tomate bajo estrés hídrico. In: Actas del 4º Simposium Hispano-Portugués. Relaciones hídricas en las plantas, Murcia, España.-p. 206-209.
- **NÚÑEZ, M.; DOMINGOS, J.P.; TORRES, W.; ALONSO, E.; BENÍTEZ, B.** (1995a). Influencia del análogo del brasinoesteroide Biobras-6 en el rendimiento de plantas de tomate cultivar inca-17. *Cultivos tropicales*. 16(3): 49-52.
- **NÚÑEZ, M.V.; REYES, Y.G.; ROSABAL, L.A.; MARTÍNEZ, L.G.** (2014). Análogos espirostánicos de brasinoesteroides y sus potencialidades de uso en la agricultura. *Cultivos Tropicales*. 35 (2): 34-42.
- **NÚÑEZ, M.; SOSA, J.L.; ALFONSO, J.L.; COLL, F.** (1998). Influencia de dos nuevos biorreguladores cubanos en el rendimiento de plantas de cebolla (*Allium cepa*) cv. Red creole. *Cultivos tropicales*. 19(1): 21-24.

- **NÚÑEZ, M.; TORRES, W.; COLL, F.** (1995b). Efectividad de un análogo de brasinoesteroide sobre el rendimiento de plantas de papa y tomate. *Cultivos Tropicales*. 16: 26-27.
- **OYARZÚN, I.** (1988). Evaluación agronómica y económica de cuatro épocas de recuperación de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) tipo chilena en el segundo año de cultivo: con tres densidades de plantación y aplicación de ácido giberélico. Tesis. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 93 pp.
- **PARADISO, R.; CUOCOLO, B.; DE PASCALE, S.** (2007). Gibberellic acid and nitrogen rate affect yield and quality of artichoke. *Acta Horticulturae*. 730: 211-216.
- **PECAUT, P.; FOURY, C.** (1992). L' artichaut. Amelioration des espèces vegetales. INRA. pp. 460-470.
- **ROJO, L.** (2004). Desarrollo de un sistema de producción forzada de alcachofa mediante vernalización artificial y GA3. Trabajo fin de carrera. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota (Chile).
- **ROLDÁN, M.; MARTÍNEZ, J.** (2008). Floración y su control ambiental. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2ª Ed. J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). Barcelona, McGraw-Hill. pp: 499-517.
- **SALISBURY, F.; ROSS, C.** (1994). Fisiología Vegetal. 4ª ed. México, D.F. Iberoamérica. 759 pp.
- **SASSE, J.M.** (1992). Brassinolide-induced elongation. En: Cutler, H.G.; Yokota, T.; Adam, G. (Eds.). Brassinosteróids: Chemistry, Bioactivity and Applications. Washington: American Chemical Society. 22: 255-264. (ACS Symposium Series 474).

- **SASSE, J.M.** (2003). Physiological actions of brassinosteroids: an update. *Journal Plant Growth Regulation*. 22: 276-288.
- **SERNA, M.; HERNÁNDEZ, F.; COLL, F.; AMORÓS, A.** (2012a) Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*. 143: 29-37.
- **SERNA, M.; HERNÁNDEZ, F.; COLL, F.; COLL, Y.; AMORÓS, A.** (2012b). Brassinosteroid analogues effects on the yield and quality parameters of greenhouse-grown pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Growth Regulation*. 68: 333-342.
- **SERNA, M.; HERNÁNDEZ, F.; COLL, F.; COLL, Y.; AMORÓS, A.** (2013). Brassinosteroid analogues: effects on total phenols, antioxidant activity, sugars, organic acids and yield of field-grown endive (*Cichorium endivia* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 93: 1765-1771.
- **SHI, Y.H.; ZHU, S.W.; MAO, X.Z.; FENG, J.X.; QUIN, Y.M.; ZHANG, L.; CHENG, J.; WEI, L.P.; WANG, Z.Y.; ZHU, Y.X.** (2006). Transcriptome profiling, molecular, biological, and physiological studies reveal a major role for ethylene in cotton fiber cell elongation. *Plant Cell*. 18: 651-664.
- **SNYDER, M.; WELCH, N.; RUBATZKY, V.** (1971). Influence of gibberellin on time of bud development in globe artichoke. *HortScience*. 6(5): 484 - 485.
- **TERRY, E.; NÚÑEZ, M.; PINO, M.; MEDINA, N.** (2001). Efectividad de la combinación biofertilizantes-análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos tropicales*. 22: 59-65.

- **VARDHINI, B.V.; RAO, S.S.** (1998). Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogea*. *Phytochemistry*. 48 (6): 927-930.

- **VITVITSKAYA, L.V.; TIKHOMIROV, A.M.; NIKONOROV, S.I.; EGOROV, M.A.; MALEVANNAYA, N.N.; KRIPACH, V.A.; ZHABINSKII, V.N.** (1997). The method of survival increase of larvae and fingerlings of sturgeons in fish breeding. *Pat. Appl. RU 97*. 117: 958.

- **WARUSAVITHARANA, A.J.; TAMBE, T.B.; KSHIRSAGAR, D.B.** (2008). Effect of cytokinins and brassinosteroid with gibberellic acid on yield and quality of Thompson seedless grapes. *Acta horticulturae*. 785: 217-224.

- **YAMAGUCHI, S.** (2007). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 225-251.

- **YOKOTA, T.** (1990). The structure, biosynthesis and function of brassinosteroids. *Trends in Plant Science*, 2: 137-143.

- **YOKOTA, T.** (1997). The structure, biosynthesis and function of brassinosteroids. *Trends in Plant Science*. 2: 137-143.

- **ZHANG, X.; ERVIN, E.H.** (2004). Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. *Crop Science*. (44): 1737-1745.

- **ZHANG, X., ERVIN, E.H., SCHMIDT, R.E.** (2003). Physiological effects of liquid applications of a seaweed extract and a humic acid on creeping bentgrass. *Journal of American Society Horticultural Science*. (128): 492-496.

- **ZHU, J.H.; LI, X.L.; CHRISTIE, P.; LI, J.L.** (2005). Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. *Agriculture Ecosystems Environment*. 111: 70-80.
- **ZUREK, D.; CLOUSE, S.D.** (1994). Molecular cloning and characterization of a brassinosteroid-regulated gene from elongating soybean (*Glycine max* L.) epicotyls. *Plant. Physiol.* 104: 161-170.

