



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**EFFECTO DE UN PRODUCTO BIOACTIVO  
COMPUESTO POR OLIGOGALACTURÓNIDOS  
COMO MITIGADOR DEL ESTRÉS HÍDRICO EN  
VARIETADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L)**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**Doctor en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Agricultura Sustentable)

P r e s e n t a

**Carlos Michel Ojeda Silvera**

La Paz, Baja California Sur, marzo de 2015

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:00 horas del día 2 del mes de marzo de 2015, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., para revisar la Tesis de Grado titulada:

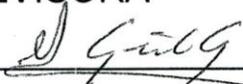
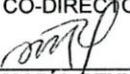
**“EFECTO DE UN PRODUCTO BIOACTIVO COMPUESTO POR OLIGOGALACTURÓNIDOS COMO MITIGADOR DEL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L)”**

Presentada por el alumno: **Carlos Michel Ojeda Silvera**

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN: **AGRICULTURA SUSTENTABLE.**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

 _____ DR. BERNARDO MURILLO AMADOR CO-DIRECTOR DE TESIS	 _____ DRA. ALEJANDRA NIETO GARIBAY CO-DIRECTORA DE TESIS
 _____ DR. ENRIQUE TROYO DIEGUEZ CO-TUTOR	 _____ DRA. INES MARÍA REYNALDO ESCOBAR CO-TUTOR
 _____ DR. FRANCISCO HIGINIO RUIZ ESPINOZA CO-TUTOR	
 _____ DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS	

## **Comité Tutorial**

### **Co-Directores de Tesis**

Dr. Bernardo Murillo Amador	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Dra. Alejandra Nieto Garibay	

### **Comité Tutorial y Revisor de tesis**

Dr. Bernardo Murillo Amador	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dra. Alejandra Nieto Garibay	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dr. Enrique Troyo Diéguez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dra. Inés María Reynaldo Escobar	Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
Dr. Francisco Higinio Ruiz Espinoza	Universidad de Autónoma de Baja California Sur.

### **Jurado de examen de grado**

Dr. Bernardo Murillo Amador	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dra. Alejandra Nieto Garibay	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dr. Enrique Troyo Diéguez	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dr. Edgar Omar Rueda Puente	Universidad de Sonora
Dr. Francisco Higinio Ruiz Espinoza	Universidad Autónoma de Baja California Sur
Dra. Lilia Alcaraz Meléndez (Suplente)	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C

## Resumen

Los oligogalacturónidos (OGAs) se catalogan como reguladores del crecimiento vegetal, son sustancias naturales que actúan como activadores de las funciones fisiológicas, por lo que su aplicación permite un mejor crecimiento, desarrollo y adaptación de las plantas en ambientes estresantes, lo que representa una opción adecuada para enfrentar problemas de estrés abiótico. Los OGAs aplicados a plantas cultivadas, demuestran que actúan como estimulantes del crecimiento vegetal, especialmente de la raíz, lo que permite una mayor exploración y actividad radical, traducida en una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes, por lo que representan una opción adecuada para enfrentar problemas de estrés hídrico. En diferentes investigaciones se han empleado las mezclas de oligogalacturónidos para estudiar los efectos benéficos inducidos en la activación de mecanismos de defensa ante la presencia de organismos patógenos y daños mecánicos y muy escasas han estado encaminadas a dilucidar el efecto anti estrés de los OGAs.

El presente trabajo de investigación comparó la respuesta diferencial al estrés hídrico en las etapas de germinación, emergencia y en el crecimiento inicial de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en condiciones de laboratorio, cámara de crecimiento e invernadero. Para determinar la respuesta en cada una de las etapas de crecimiento y seleccionar las variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico, se calculó el índice de tolerancia para cada una de las variables morfométricas. Las 20 variedades de albahaca se expusieron a estrés hídrico mediante tratamientos de 0, -0.75 y -1.50 MPa en las etapas de germinación y emergencia; para la etapa de crecimiento vegetativo inicial el estrés se aplicó mediante la pérdida de turgencia mantenida (PTM). Se utilizaron como criterios comparativos la medición de variables como índices, tasa y porcentaje de germinación, tasa y porcentaje de emergencia, variables morfométricas como longitud, biomasa fresca y seca de la radícula, longitud, biomasa fresca y seca de la parte aérea, índice de tolerancia relativa a la sequía para las etapas de

germinación y emergencia. Para la etapa de crecimiento inicial las variables morfométricas medidas fueron longitud de la raíz, altura de la planta, biomasa fresca y seca de raíz, tallo, hoja y área foliar, índice de tolerancia relativa a la sequía. Los resultados obtenidos en las etapas de germinación y emergencia muestran que tanto la tasa como el porcentaje de germinación y emergencia se afectaron por el estrés hídrico y la producción de biomasa de las variedades evaluadas disminuyó conforme se agudizó el estrés hídrico en el medio de cultivo. Asimismo, se encontró que existe una respuesta diferencial entre variedades para tolerar el estrés hídrico durante estas etapas. Cuando las variedades se evaluaron en condiciones controladas y estrés severo en la etapa inicial del crecimiento, se encontró que la longitud de raíz, altura de planta, área foliar, biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hoja, disminuyeron por efecto del estrés hídrico. A través del análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo sobre la base de la distancia Euclidiana, las variedades se reunieron en cuatro grupos según los índices de tolerancia medidos en la etapa de germinación, en tres grupos sobre la base de los índices medidos en la emergencia y en dos grupos en la etapa de crecimiento inicial, indicando una respuesta diferencial y una posible existencia de variabilidad genética en las variedades evaluadas, destacándose para las tres etapas la variedad *Dolly* como la más tolerante y *Sweet Genovese* como la más sensible al estrés hídrico.

Una vez seleccionadas las variedades *Dolly* y *Sweet Genovese*, como tolerante y sensible al estrés hídrico en etapas anteriores, se procedió a determinar el efecto de una mezcla de oligogalacturónidos como atenuante del estrés hídrico en la germinación, emergencia y crecimiento vegetativo, las cuales se sometieron a diferentes niveles de humedad (0, -0.75 y -1.50 MPa) y aplicación de OGAs (Pectimorf) con una concentración de 10 mg L<sup>-1</sup>. Las variables medidas fueron tasa y porcentaje de germinación, tasa y porcentaje de emergencia, longitud, biomasa fresca y seca de la radícula, longitud, biomasa fresca y seca de la parte aérea, en germinación y emergencia. Para la etapa de crecimiento vegetativo las

variables morfométrica medidas fueron longitud de la raíz, altura de la planta, biomasa fresca y seca de raíz, tallo, hoja y área foliar, variables fisiológicas como fotosíntesis, transpiración, potencial hídrico, contenido relativo de agua, variables bioquímicas como carbohidratos reductores foliares, contenido de proteína y prolina en raíz y hoja. De los experimentos se infiere que las plantas que no fueron tratadas con OGAs, muestran una tendencia menor en cuanto a la germinación, emergencia y crecimiento; asimismo, se observó que la respuesta de plántulas sometidas a la aplicación de OGAs mostró incrementos significativos en las variables estudiadas. En conclusión, los experimentos en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo con aplicación de OGAs tienen efectos bioestimulantes sobre la germinación, emergencia, crecimiento de variedades de albahaca en estrés hídrico, permitiendo que la variedad *Dolly* mejore su germinación, emergencia y crecimiento y la variedad *Sweet Genovese* incremente su tolerancia al estrés hídrico a través de indicadores morfométricos y mecanismos bioquímicos y fisiológicos.

**Palabras claves:** Estrés hídrico, Pectimorf, hierbas aromáticas.



Dr. Bernardo Murillo Amador  
Co-Director de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay  
Co-Directora de Tesis

## Abstract

The oligogalacturonides (OGAs) are categorized as plant growth regulators, are natural substances that act as triggers of physiological functions, then their application allows better growth, development and adaptation of plants in stressful environments, representing an adequate option to cope with abiotic water stress. The OGAs applied to the crop plants, demonstrate that act as stimulants of plant growth, especially of the root, allowing further exploration and radical activity, reflected in a higher absorption capacity of water and nutrients, and thus represent a suitable option to address problems of water stress. In different researches, have used mixtures of oligogalacturonides to study the induced beneficial effects on the activation of mechanisms defense in the presence of pathogens and mechanical damages but very few have been designed to elucidate the anti stress OGAs.

The present research shows studies in which the differential response to water stress in the stages of germination, emergence and early growth of basil varieties under water stress in laboratory conditions, growth chamber and greenhouse were compared. To determine the response in each of the stages of growth and to select tolerant and sensitive varieties to water stress by calculating the tolerance index for each of the morphometric variables. The 20 varieties of basil were exposed to water stress by treatments of 0, -0.75 and -1.50 MPa in the stages of germination and emergence; while for vegetative growth stage, the stress was applied by PTM. Measuring variables as indices, rate and percentage of germination, rate and percentage of emergency, morphometric variables as length, biomass fresh and dry of the radicle, length, biomass fresh and dry of the aerial part, index of relative tolerance to drought for the stages of germination and emergence. For the initial growth stage, the morphometric variables measured were root length, plant height, biomass fresh and dry of root, stem and leaf, leaf area and relative tolerance index to drought. The results obtained in the stages of germination and emergence show that both the rate and the percentage of germination and emergence were affected by water stress and biomass production of the evaluated varieties decreased as

water stress worsened in the culture medium. In addition, a differential response between varieties to tolerate water stress during these stages were found. When the varieties were evaluated under controlled conditions and severe stress in the initial stage of growth, it was found that root length, plant height, leaf area, biomass fresh and dry of root, stem and leaf, decreased by the effect of water stress. Through the hierarchical clustering analysis and complete linkage based on Euclidean distance, varieties gathered into four groups according to tolerance indices measured in the germination stage. The varieties were gathered into three groups based on measurements on the emergency stage and two groups in the initial growth stage, indicating a differential response and possible existence of genetic variability in the varieties tested. *Dolly* in the three stages was classified as the most tolerant while *Sweet Genovese* as the most sensitive to water stress.

After selecting *Dolly* and *Sweet Genovese* varieties as tolerant and sensitive to water stress at earlier stages, we proceeded to determine the effect of a mixture of oligogalacturonides in the mitigation of water stress on germination, emergence and initial vegetative growth. The selected varieties were submitted to different humidity levels (0, -0.75 and -1.50 MPa) and applying OGAs (Pectimorf) with a concentration of 10 mg L<sup>-1</sup>. The measured variables were rate and percentage of germination and rate and emergence percentage, length, biomass fresh and dry of the radicle, length, biomass fresh and dry of the aerial part in germination and emergence. For vegetative growth stage, the morphometric variables were root length, plant height, biomass fresh and dry of root, stem and leaf, leaf area, physiological variables such as photosynthesis, transpiration, water potential, relative water content, biochemical variables as carbohydrates, protein and proline in root and leaf. The experiments showed that plants that were not treated with OGAs show a reduced tendency in terms of germination, emergence and growth; also, the results showed that the seedlings response subjected to the application of OGAs showed significant increases in the variables studied. In conclusion, the experiments in the stages of germination, emergence and vegetative growth with application OGAs have biostimulants effects on germination, emergence and

growth of basil varieties in water stress, allowing to the variety *Dolly*, improve germination, emergence and growth, while *Sweet Genovese* variety increases its tolerance to water stress through morphometric and biochemical and physiological mechanisms.

**Key words:** drought stress, Pectimorf, aromatics herbs.

## Dedicatoria

*A Dios, por iluminar mi andar diario.*

*A mis padres y en especial a mi mamá por todo su amor y ternura.*

*A mi amiga y esposa Daulemys por tanto apoyo, amor y confianza.*

*A mi familia, por todo el cariño.*

## Agradecimientos

**Quiero aprovechar estas pequeñas cuartillas para dejar testimonio de mis más sinceros agradecimientos, aquellas personas que me ayudaron a convertir mis numerosos esfuerzos en resultados.**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por su apoyo para la realización de los estudios del Doctorado, mediante la Beca Nacional N° 256429.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por la oportunidad de alcanzar esta meta de superación personal.

A los Proyectos AGROT 1 y 110-C SAGARPA-CONACYT: Innovación Tecnológica de Sistemas de Producción y Comercialización de Especies Aromáticas y Cultivos Élite en Agricultura Orgánica Protegida con Energías Alternativas de Bajo Costo.

Al Dr. Bernardo Murillo Amador y la Dra. Alejandra Nieto Garibay, por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo e invitarme a realizar el presente proyecto de investigación, además por sus consejos, excelente dirección, solidaridad y participación en cada momento de mi formación doctoral.

A los miembros de mi Comité Tutorial, Dr. Enrique Troyo Diéguez, Dr. Francisco Higinio Ruiz Espinoza y Dra. Inés María Reynaldo Escobar, por sus orientaciones oportunas y valiosas en el periodo de realización del doctorado.

A la Dra. Lilia Alcaráz Méendez y Dr. Teodoro Reynoso Granados, por su apoyo y orientación en el transcurso de la realización del presente proyecto, así como por sus palabras de aliento en momentos trascendentales de la investigación.

A la M.C. María del Carmen Mercado Guido, Lic. Lidia Hirales Lucero y Téc. Pedro Luna García, por su ayuda invaluable durante la ejecución de los experimentos de este proyecto, así como por todas las actividades conjuntamente desarrolladas en el Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal y el Campo Agrícola Experimental.

Al Personal del Programa de Posgrado del CIBNOR, Dra. Elisa Serviere Zaragoza, Lic. Leticia González Rubio Rivera, Lic. Osvelia Ibarra Morales, Tania Núñez Valdés, Lupita Sánchez, Claudia E. Olachea, Horacio Sandoval Gómez, por su gran apoyo incondicional para poder llegar al término del programa de estudios.

A la Sta. Silvia Eden Virgen por su invaluable apoyo en el transcurso de estos cuatro años.

A Consuelo, Karín, Gonzalín y Gilberto, por su invaluable ayuda durante estos años, acogiéndome como parte de su familia.

A Juan José Reyes Pérez, amigo y hermano, por todo el apoyo que me diste antes y durante este trabajo, cada palabra de aliento y consejos los tendre siempre presente.

A mis amigos Yarelis Álvarez Morales, Yarelys Ferrer Sánchez, Fernando Abasolo Pacheco.

A mi familia.por su cariño.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para culminar exitosamente el presente trabajo de investigación.

**Muchas gracias**

Carlos Michel Ojeda Silvera  
La Paz B.C.S, Marzo de 2015

## Índice de Contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>VII</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
2.1 EL ESTRÉS HÍDRICO Y LA IMPORTANCIA DE SU ESTUDIO .....	4
2.2 EFECTOS PROVOCADOS POR LA SEQUÍA EN LAS PLANTAS .....	7
2.3 RESPUESTAS DE LAS PLANTAS AL ESTRÉS HÍDRICO .....	11
2.4 MECANISMOS EMPLEADOS POR LAS PLANTAS PARA DISMINUIR LOS EFECTOS DE LA SEQUÍA .....	14
2.4.1 <i>Mecanismos de escape</i> .....	14
2.4.2 <i>Mecanismos de evitación</i> .....	15
2.4.3 <i>Mecanismos de tolerancia</i> .....	15
2.5 ESTUDIOS DE LAS RESPUESTAS DE LAS PLANTAS AL ESTRÉS HÍDRICO.....	17
2.6 USO DE BIOESTIMULANTES EN LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS .....	19
2.7 ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS OLIGOGALACTURÓNIDOS EN LAS PLANTAS .....	21
2.8 CARACTERIZACIÓN DEL PECTIMORF .....	23
2.8.1 <i>Métodos de obtención de pectinas</i> .....	24
2.8.2 <i>Ventajas del Pectimorf</i> .....	24
2.9 EL CULTIVO DE LA ALBAHACA .....	25
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>27</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>28</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	28
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
5.1 SELECCIÓN DE VARIEDADES TOLERANTES Y SENSIBLES AL ESTRÉS HÍDRICO.....	29
5.1.1 <i>Etapa de germinación</i> .....	29
5.1.1.1 <i>Variables evaluadas en germinación</i> .....	30
5.1.1.1.1 <i>Porcentaje y tasa de germinación</i> .....	30

5.1.1.1.2 Variables morfológicas .....	30
5.1.2 <i>Etapa de emergencia</i> .....	30
5.1.2.1 <i>Variables evaluadas en emergencia</i> .....	31
5.1.2.1.1 Porcentaje y tasa de emergencia .....	31
5.1.2.1.2 Variables morfológicas .....	31
5.1.3 <i>Etapa de desarrollo vegetativo</i> .....	31
5.1.3.1 <i>Variables evaluadas</i> .....	33
5.1.3.1.1 Potencial hídrico de las hojas y del sustrato .....	33
5.1.3.1.2 Longitud del tallo .....	33
5.1.3.1.3 Longitud de masa de raíces .....	33
5.1.3.1.4 Área foliar .....	34
5.1.3.1.5 Potencial hídrico de la planta .....	34
5.1.3.1.6 Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hoja .....	34
5.1.4 <i>Calculo del índice de tolerancia en las diferentes etapas</i> .....	34
5.1.5 <i>Análisis estadístico</i> .....	35
5.2 APLICACIÓN DEL PRODUCTO BIOACTIVO COMPUESTO POR OLIGOGALACTURONIDOS CON GRADO DE POLIMERIZACIÓN ENTRE 9-16 (PECTIMORF) EN GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y DESARROLLO VEGETATIVO .....	35
5.2.1 <i>Etapa de germinación</i> .....	35
5.2.1.1 <i>Variables evaluadas en la etapa de germinación</i> .....	36
5.2.1.1.1 Porcentaje y tasa de germinación .....	36
5.2.1.1.2 Variables morfológicas .....	37
5.2.1.2 <i>Análisis estadístico</i> .....	37
5.2.2 <i>Etapa de emergencia</i> .....	37
5.2.2.1 <i>Variables evaluadas en la etapa de emergencia</i> .....	38
5.2.2.1.1 Porcentaje y tasa de emergencia .....	38
5.2.2.1.2 Variables morfológicas .....	38
5.2.2.2 <i>Análisis estadístico</i> .....	39
5.2.3 <i>Etapa de desarrollo vegetativo</i> .....	39
5.2.3.1 <i>Variables a evaluadas en la etapa de desarrollo vegetativo</i> .....	40
5.2.3.1.1 Fisiológicas .....	40
5.2.3.1.2 Relaciones hídricas .....	41
5.2.3.1.2.1 Potencial hídrico .....	41
5.2.3.1.2.2 Contenido relativo de agua .....	41
5.2.3.1.3 Determinación de pigmentos fotosintéticos .....	41
5.2.3.1.4 Variables bioquímicas .....	42
5.2.3.1.4.1 Contenido de proteína .....	42
5.2.3.1.4.2 Determinación de prolina .....	43

5.2.3.1.4.3 Determinación de carbohidratos reductores foliares por el método fenol-sulfúrico.....	43
5.2.3.1.5 Variables morfométricas .....	45
5.2.3.1.5.1 Longitud de tallo.....	45
5.2.3.1.5.2 Longitud de raíces.....	45
5.2.3.1.5.3 Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hoja .....	46
5.2.3.1.5.4 Área foliar.....	46
5.2.3.2 <i>Análisis estadístico</i> .....	46
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>47</b>
6.1 ETAPA DE GERMINACIÓN .....	47
6.1.1 <i>Tasa y porcentaje de germinación</i> .....	47
6.1.2 <i>Variables morfométricas</i> .....	50
6.1.3 <i>Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de germinación</i> .....	56
6.2 ETAPA DE EMERGENCIA.....	58
6.2.1 <i>Porcentaje y tasa de emergencia</i> .....	58
6.2.2 <i>Variables morfométricas en la etapa de emergencia</i> .....	61
6.2.3 <i>Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de emergencia</i> .....	64
6.3 ETAPA DE CRECIMIENTO VEGETATIVO INICIAL .....	66
6.3.1 <i>Variables morfométricas</i> .....	66
6.3.2 <i>Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de crecimiento inicial</i> .....	73
6.4 EFECTO DEL PECTIMORF COMO ATENUANTE DEL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA EN LA ETAPA DE GERMINACIÓN .....	74
6.4.1 <i>Tasa y porcentaje de germinación</i> .....	74
6.4.2 <i>Variables morfométricas</i> .....	75
6.5 EFECTO DEL PECTIMORF COMO ATENUANTE DEL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA EN LA ETAPA DE EMERGENCIA .....	81
6.5.1 <i>Tasa y porcentaje de emergencia</i> .....	81
6.5.2 <i>Variables morfométricas</i> .....	85
6.6 EFECTO DEL PECTIMORF COMO ATENUANTE DEL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA EN LA ETAPA DE CRECIMIENTO VEGETATIVO INICIAL .....	88
6.6.1 <i>Variables fisiológicas</i> .....	88
6.6.1.1 <i>Fotosíntesis y transpiración</i> .....	88
6.6.2 <i>Determinación de pigmentos fotosintéticos</i> .....	93
6.6.3 <i>Relaciones hídricas</i> .....	97
6.6.3.1 <i>Contenido relativo de agua y potencial hídrico</i> .....	97

6.6.4 Variables bioquímicas.....	99
6.6.5 Variables morfométricas.....	103
<b>7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>110</b>
7.1 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA EN LA ETAPA DE GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO INICIAL.....	110
7.1.1 Germinación y emergencia.....	110
7.1.2 Efecto del estrés hídrico en variables morfométricas .....	112
7.2 SELECCIÓN DE VARIEDADES TOLERANTES Y SENSIBLES AL ESTRÉS HIDRICO EN LAS ETAPAS DE GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO INICIAL .....	115
7.3 EFECTO DEL PECTIMORF COMO MITIGADOR DEL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA EN LAS ETAPAS DE GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO INICIAL.....	116
7.3.1 Germinación y emergencia.....	116
7.3.2 Variables morfométricas.....	117
7.3.3 Variables fisiológicas .....	119
7.3.3.1 Fotosíntesis y transpiración.....	119
7.3.3.2 Pigmentos fotosintéticos.....	120
7.3.4 Relaciones hídricas .....	121
7.3.4.1 Potencial hídrico y contenido relativo de agua .....	121
7.3.5 Variables bioquímicas.....	123
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>125</b>
<b>10. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>127</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>151</b>
ANEXO I: ARTÍCULO PUBLICADO EN LA REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.....	151
ANEXO II: ARTÍCULO PUBLICADO EN LA REVISTA TERRA LATINOAMERICANA.....	165
ANEXO III: ARTÍCULO ACEPTADO (EN PRENSA) EN LA REVISTA ECOSISTEMAS Y RECURSOS AGROPECUARIOS. ....	176

## Índice de Tablas

Tabla 1. Solución nutritiva utilizada en el experimento de desarrollo vegetativo de plantas de albahaca (Samperio, 1997).....	32
Tabla 2. Tasa y porcentaje de germinación de variedades de albahaca en diferentes potenciales hídricos simulados con PEG-8000.....	48
Tabla 3. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la longitud de radícula y altura de plántula en la etapa de germinación.....	51
Tabla 4. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de germinación. ....	58
Tabla 5. Influencia de los diferentes niveles de potencial hídrico en el porcentaje y tasa de emergencia de variedades de albahaca.....	59
Tabla 6. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la longitud de la raíz y biomasa fresca y seca de raíz de plántulas de variedades de albahaca en la etapa de emergencia.....	62
Tabla 7. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la altura de la planta y biomasa fresca y seca de la parte aérea en plántulas de variedades de albahaca en la etapa de emergencia. ....	63
Tabla 8. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de emergencia. ....	66
Tabla 9. Respuesta de la interacción de los factores variedades*estrés hídrico en el largo de la raíz, biomasa fresca de raíz y biomasa seca de raíz de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	70
Tabla 10. Respuesta de la interacción de los factores variedades*estrés hídrico en la altura de la planta, biomasa fresca del tallo y biomasa seca del tallo de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	71
Tabla 11. Respuesta de la interacción de los factores variedades*estrés hídrico en el área foliar, biomasa fresca de las hojas y biomasa seca de las hojas de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	72
Tabla 12. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de crecimiento vegetativo. ....	74
Tabla 13. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico en el promedio de tasa, porcentaje de germinación y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	78
Tabla 14. Efecto de la interacción variedades*concentraciones de pectimorf en el promedio de tasa, porcentaje de germinación y variables	

morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	79
Tabla 15. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de pectimorf, en el porcentaje de germinación y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	79
Tabla 16. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico en la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	82
Tabla 17. Efecto de la interacción variedades*concentraciones de pectimorf en la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	82
Tabla 18. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de pectimorf en la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	83
Tabla 19. Fotosíntesis y transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial. ....	89
Tabla 20. Efecto del estrés hídrico y pectimorf en la fotosíntesis y transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	89
Tabla 21. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico en la fotosíntesis de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento inicial. ....	90
Tabla 22. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés*concentración de pectimorf en la fotosíntesis de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento. ....	90
Tabla 23. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico en el promedio de pigmentos fotosintéticos de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	94
Tabla 24. Efecto de la interacción variedades*concentración de pectimorf en el promedio de pigmentos fotosintéticos de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	95
Tabla 25. Efecto de la interacción variedades*niveles de humedad en el contenido relativo de agua y potencial hídrico de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	99

Tabla 26. Efecto de la interacción variedades*concentraciones de pectimorf en el contenido relativo de agua y potencial hídrico de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	99
Tabla 27. Efecto de la interacción variedades*niveles de humedad*concentraciones de pectimorf en el CRA y $\Psi_w$ de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico. ....	99
Tabla 28. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico en el promedio de las variables bioquímicas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial. ....	102
Tabla 29. Efecto de la interacción variedades*concentración de pectimorf en el promedio de las variables bioquímicas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento.....	103
Tabla 30. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés *concentraciones de pectimorf en el promedio de las variables bioquímicas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento. ....	103
Tabla 31. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico en el promedio de variables morfométricas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la etapa de crecimiento vegetativo inicial. ....	109
Tabla 32. Efecto de la interacción variedades*concentraciones de pectimorf en el promedio de variables morfométricas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial. ....	109
Tabla 33. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés*concentraciones de pectimorf en el promedio de variables morfométricas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial.....	109

## Índice de Figuras

Figura 1. Efecto de los diferentes potenciales hídricos simulados con PEG-8000 en la tasa y porcentaje de germinación de variedades de albahaca.....	49
Figura 2. Respuesta de las variedades de albahaca a los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa fresca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.....	52
Figura 3. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa fresca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.....	53
Figura 4. Respuesta de las variedades de albahaca a los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa seca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.....	55
Figura 5. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa seca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.....	56
Figura 6. Agrupamiento de las variedades basado en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de germinación.....	57
Figura 7. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en el porcentaje y tasa de emergencia.....	60
Figura 8. Agrupamiento de las variedades basado en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de emergencia.....	65
Figura 9. Agrupamiento de las variedades basado en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de crecimiento vegetativo.....	73
Figura 10. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de Pectimorf, en la longitud de la radícula en la etapa de germinación de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	80
Figura 11. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de pectimorf, en la biomasa fresca de la radícula en la etapa de germinación de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	80
Figura 12. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de pectimorf, en la biomasa seca de la radícula en la etapa de germinación de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	81

Figura 13. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de pectimorf en el porcentaje de emergencia en la etapa de emergencia de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	84
Figura 14. Efecto de la interacción variedades*niveles de potencial hídrico*concentraciones de pectimorf en la biomasa seca de raíz en la etapa de emergencia de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	84
Figura 15. Efecto de la interacción variedades*concentración de pectimorf en el promedio de fotosíntesis de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.....	91
Figura 16. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico en la transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.....	92
Figura 17. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico*concentraciones de pectimorf en la transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.....	92
Figura 18. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico*concentraciones de pectimorf en la clorofila total a los 58 DDT en plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial.....	96
Figura 19. Efecto de la interacción variedades*niveles de estrés hídrico*concentraciones de pectimorf en la clorofila total a los 65 DDT en plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.....	97
Figura 20. Efecto de la interacción variedades*niveles de humedad *concentraciones de pectimorf en el área foliar de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.....	108

**LISTA DE ABREVIATURAS**

CIBNOR	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
ISTA	International Seed testing Association
CRA	Contenido relativo de agua
PTM	Perdida de turgencia mantenida
K	Potasio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
H <sub>2</sub> O	Agua
mg	Miligramos
Mg L <sup>-1</sup>	Miligramos por litros
ROS	Especies reactivas de oxígeno
OGAs	Oligogalacturónidos
Ψ <sub>w</sub>	Potencial hídrico

## 1. INTRODUCCIÓN

Las alteraciones del clima en los últimos años, afectan considerablemente el régimen pluviométrico en muchos países, teniendo como consecuencia una mayor frecuencia de eventos de sequía severas y prolongadas, lo que ha provocado cuantiosos daños en la agricultura actual, debido a que el estrés hídrico en conjunto con las temperaturas y la radiación, es el proceso ambiental más importante que puede detener la supervivencia de los cultivos y su productividad (Chaves *et al.*, 2003; Hinojosa-Huerta *et al.*, 2013). Las plantas terrestres se encuentran frecuentemente sometidas a una amplia variedad de estrés ambiental; sin embargo, el estrés por sequía, es uno de los más extendidos (Hsiao y Bradford, 1983; Sánchez y Aquirreolea, 1993) de ahí que evaluar los indicadores fisiológicos y morfológicos de las plantas en condiciones de sequía constituye una herramienta fundamental, no solo para conocer con mayor exactitud los requerimientos de las mismas, sino que también permite conocer las potencialidades de tolerancia o sensibilidad a diferentes regímenes de humedad en el suelo, elemento importante a considerar para realizar un manejo eficiente del recurso agua, debido a que la agricultura es el mayor usuario de los recursos hídricos.

Acorde con Passioura (2002) con el incremento de la aridez y el crecimiento de la población mundial, el agua se convertirá en un recurso escaso. Se han realizado varias investigaciones para desarrollar estrategias en el control de agua en sequía en diversos cultivos (Bray *et al.*, 2000; Marcaida *et al.*, 2014), entre los que se encuentran procesos fisiológicos de las plantas que responden al déficit hídrico. Igualmente se estudia la interpretación de las relaciones hídricas entre las diferentes estructuras de las plantas y sus funciones (Valladares y Pearcy, 1997; Eric *et al.*, 2014), tal como la morfología del sistema radical y la tolerancia al estrés (Jackson *et al.*, 2000; Maggio *et al.*, 2001) lo cual es esencial para el entendimiento de la habilidad competitiva de las plantas para sobrevivir en diferentes ambientes.

En los últimos años se ha trabajado con la selección y mejora genética de plantas, para lograr formas adaptativas a los ambientes desfavorables pero son técnicas que pueden demorar años y necesitar de altos respaldos financieros para la obtención de resultados aplicables. Por lo que también se han tomado variantes rápidas y económicas para mitigar el efecto detrimental del estrés hídrico y lograr que las plantas expresen su potencial aún en estas condiciones, entre las que se encuentra la aplicación de bioestimulantes (Nuñez *et al.*, 2010). Según Cabrera (2000) entre los bioestimulantes con posibles efectos antiestrés se encuentra el Pectimorf, por su actividad biológica que le permite a la planta un desarrollo mayor del sistema radical, dándole la posibilidad de explorar más superficie del suelo en busca del agua para sus funciones vitales, además de lograr mayor eficiencia en la división y elongación celular.

Uno de los cultivos que ha disminuido su rendimiento por el efecto del estrés hídrico es la albahaca, siendo este de gran importancia económica para México (Fenech, 2008) debido a la composición (metil chavicol, eugenol y linalol) y cantidad de aceites esenciales que se encuentran en las hojas y otras partes de la planta (Loughrin *et al.*, 2001).

Para aumentar la producción de este cultivo aún y cuando las condiciones del medio son adversas para su desarrollo normal, la comunidad científica internacional ha desarrollado investigaciones, entre las que se encuentran el efecto de los ácidos húmicos en la germinación y generación de plántulas en condiciones de salinidad (Fenech, 2008), relaciones hídricas en plantas de albahaca irrigadas con diferentes volúmenes de agua (Barroso y Jerez, 2000), efecto de períodos cortos de estrés e inoculación micorrizica en la respuesta de albahaca (Jerez *et al.*, 2004), fenología de la albahaca cultivada en diferentes fechas de siembra (Barroso, 2002). A pesar de existir numerosas variedades comerciales, se cuenta con escasa información sobre su respuesta ante el estrés hídrico ya que no se encuentran trabajos precedentes que estudien la respuesta de las variedades más cultivadas en dichas condiciones. Por tal motivo con el

presente trabajo se pretende generar información acerca del efecto del producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos con grado de polimerización entre 9-16 (Pectimorf) en el cultivo de la albahaca, con el fin de mitigar los efectos del estrés hídrico, contribuyendo así a posibles alternativas en la diversificación de variedades de albahaca con una mayor tolerancia a este tipo de estrés.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 El estrés hídrico y la importancia de su estudio

La vida está íntimamente asociada al agua, muy especialmente a su estado líquido; su importancia para los seres vivos es consecuencia de sus propiedades físicas y químicas exclusivas (Nobel, 1991). El agua en su forma líquida permite la difusión y el flujo masivo de solutos, siendo por esta razón esencial para el transporte y distribución de nutrientes y metabolitos en toda la planta. También es importante en las vacuolas de las células vegetales ya que ejerce presión sobre el protoplasma y pared celular, manteniendo así la turgencia en hojas, raíces y otros órganos de la planta. Con excepción de algunos tipos de semillas y unas pocas especies vegetales, la deshidratación de los tejidos por debajo de un nivel crítico, se acompaña de cambios irreversibles en la estructura y finalmente de la muerte de la planta (Sánchez y Aquirreolea, 1993). El término “estrés” aunque se ha utilizado en fisiología vegetal, es de dificultosa definición, por tal motivo muchas de las aproximaciones que se han formulado en relación con este concepto son a veces imprecisas y no exentas de una fuerte dosis de subjetividad (Tambussi, 2004). El término estrés fue definido por Levitt (1980) como “cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos” y también lo define como “la expresión extrema de un factor del ambiente que inhibe el crecimiento y desarrollo en las plantas y, en consecuencia, su productividad”. Por su parte, Taiz y Zeiger (2002) lo definen como “cualquier cambio anormal en los procesos fisiológicos, dada una combinación de factores medio ambientales y biológicos o factor externo que ejerza una influencia desventajosa”; mientras que Lichtenthaler (1996) lo define como “el estado de una planta cuando se somete a una fuerza”. Otros autores definen al estrés como “cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico (*por ejemplo, crecimiento o fotosíntesis*) por debajo de la tasa máxima respecto de la que podría alcanzar” (Lambers *et al.*, 1998). Los estrés abióticos son la

principal causa de pérdidas de cultivos en el mundo y causan disminuciones en el rendimiento de más del 50% de la mayoría de los cultivos (Bray *et al.*, 2000). El estrés hídrico es considerado el factor que más limita la producción a escala mundial (Medrano y Flexas, 2002; Bruce *et al.*, 2002). Desde un punto de vista ecofisiológico, el estrés hídrico es “cualquier limitación al funcionamiento óptimo de las plantas impuesta por una insuficiente disponibilidad de agua”, y existen términos relacionados tales como “déficit hídrico” y “sequía”, que se usan frecuentemente como sinónimos, aunque presenten matices diferentes (Medrano y Flexas, 2002).

El déficit hídrico hace referencia a cualquier limitación en el abastecimiento de agua en los tejidos, por lo que puede considerarse casi como sinónimo de estrés hídrico. Algunos autores lo utilizan como un componente de otros tipos de estrés, ya que la falta de agua puede observarse tanto en situaciones de sequía, como frente a salinidad y bajas temperaturas (Bray, 1997). Por otro lado, la sequía denota en muchos casos, una interacción entre baja disponibilidad hídrica, alta temperatura y alta irradiación, es la falta o insuficiencia de precipitaciones durante un período largo, la que produce una reducción del agua disponible en el suelo, y por tanto, restricciones en el suministro hídrico a la planta, es decir, se trata de un déficit hídrico prolongado (Sánchez y Aquirreola, 2000); sin embargo, a pesar de las consideraciones anteriores, estrés hídrico, sequía y déficit hídrico son términos usados indistintamente en numerosos trabajos (Tambussi, 2004).

El estrés por déficit hídrico puede describirse según Hsiao (1973) en tres grados:

- ❖ **Estrés leve**: Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) entre -0.20 y -0.80 MPa o el contenido relativo de agua (CRA) en un 8-10 % respecto a plantas bien regadas bajo leve demanda evaporativa.
- ❖ **Estrés moderado**: Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) entre -0.81 y -1.49 MPa o una disminución del CRA entre un 10 y un 20 %.

- ❖ **Estrés severo**: disminución del potencial hídrico mayor a 15 bares (-1.5 MPa) o disminución del CRA mayor a un 20 %.

Flexas y Medrano (2002a) sitúan el estrés leve cuando el CRA posee valores entre 95 y 85 %; el estrés moderado con CRA de 85-70 % y severo con CRA por debajo de 70 %.

Entre los factores abióticos, el estrés por sequía es considerado uno de los más relevantes, tanto desde una perspectiva ecológica como agronómica respecto a los cultivos; aunque se ha señalado que no siempre es el factor central (Richards *et al.*, 2001). Está claro que el déficit hídrico es el principal factor abiótico que limita la distribución geográfica y el rendimiento de la mayoría de los cultivos (Araus *et al.*, 2002 ; Tuberosa y Salvi, 2006), de ahí que sean numerosas las motivaciones para estudiar la fisiología de las plantas en estrés (Tambussi, 2004), las más importantes son: (a) el conocimiento de los factores de estrés en los vegetales; (b) el análisis desde una perspectiva ecofisiológica de la interacción de las plantas con los factores ambientales; y (c) el estudio del rendimiento de los cultivos en relación con las limitaciones impuestas por estrés ambiental. Estas motivaciones pueden resultar cruciales para la elaboración de modelos mecanísticos de naturaleza predictiva y son fundamentales para comprender la distribución de las especies en los diferentes ecosistemas (Nilsen y Orcutt, 1996). El conocimiento de los mecanismos de las respuestas de los cultivos a la sequía resulta muy necesario (Flexas y Medrano, 2002b) debido a que es el principal factor limitante de la producción de los cultivos y ésta limitación se está incrementando. Según Mann (1999) los científicos prevén que para el año 2020, la producción agrícola mundial será insuficiente para alimentar a toda la población, la que crece a mayor ritmo que la producción de alimentos; por tal motivo, resulta imprescindible mejorar la capacidad de producción de los cultivos en condiciones de sequía. Esto ha hecho que las investigaciones sobre las respuestas de los cultivos al estrés por sequía muestren un incremento importante mundialmente, teniendo en cuenta que el cambio climático señala hacia un incremento de la aridez en muchas

áreas del planeta (Petit *et al.*, 1999). Con el estudio del estrés hídrico en las plantas, podría lograrse el entendimiento de los mecanismos fundamentales de adaptación y realizar un aprovechamiento mejor del recurso agua-suelo-nutriente, sin una gran modificación de los ambientes (Mithethowan *et al.*, 2002).

## **2.2 Efectos provocados por la sequía en las plantas**

La sequía, salinidad alta y temperaturas bajas son los principales factores ambientales que limitan la productividad de las plantas; la capacidad de estas para hacer frente al déficit hídrico, es determinante en la distribución natural de las plantas y en la productividad de los cultivos (Barteis y Salamini, 2001; Shinozaki *et al.*, 2003). Por otra parte, el agua es el factor limitante que más interviene en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Yordanov *et al.*, 2000), ya que el grado de desarrollo de éstas es normalmente proporcional al agua disponible, juega un papel esencial en su metabolismo, tanto a nivel celular como en la planta completa. Cualquier disminución en la disponibilidad del agua tiene un efecto casi inmediato sobre el desarrollo de las mismas y los procesos como la fotosíntesis, transporte y acumulación de solutos (Hsiao *et al.*, 1976). Es muy común caracterizar el estado hídrico de una planta y la magnitud del estrés por el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) y el contenido relativo de agua (CRA) (Turner, 1988; Cornic, 1994; Lawlor, 1995; Flexas y Medrano, 2002b). El potencial hídrico, según Martín de Santa Olalla *et al.* (2005) es considerado la magnitud que representa la capacidad de las moléculas de agua para moverse en cualquier sistema y es una medida de la energía libre del agua en dicho sistema, además, constituye la resultante de fuerzas de orígenes diversos (osmótica, capilar, turgente) que liga al agua del suelo a los diferentes tejidos del vegetal.

El contenido relativo de agua (CRA) representa la cantidad de agua de un tejido en comparación con la que podría contener en hidratación completa y se basa en el conocimiento de plena turgencia de los tejidos, es decir, el grado de

hidratación máxima de las células (Azcon-Bieto y Talón, 2000). Por otra parte, es bien conocido el hecho que las plantas pueden reaccionar a estímulos provenientes del suelo, aún antes que puedan detectarse cambios en el potencial hídrico y aún más del CRA de las hojas (Passioura, 1996). Dado que existen importantes diferencias entre especies en el grado de tolerancia al estrés, es difícil establecer parámetros objetivos que definan al estrés y su magnitud en forma general; sin embargo, a pesar de las limitaciones señaladas, es claro que  $\Psi_w$  y el CRA son las formas más objetivas de cuantificar el estatus hídrico.

La sequía se considera un síndrome complejo, integrado por una numerosa serie de procesos, algunos de los cuales son deletéreos y otros son adaptativos (Chaves *et al.*, 2003), por lo tanto, es muy difícil pormenorizar la totalidad de los procesos que son afectados por esta, pudiendo afectar prácticamente a todos los aspectos morfológicos y fisiológicos de los cultivos. Si la duración y la severidad son suficientemente intensas, puede causar una pérdida de cosecha total; la respuesta generalizada se plasma en una reducción del tamaño de las plantas, de su área foliar, del rendimiento cosechable y la respuesta ecofisiológica más directa es el cierre estomático, que aparece evolutivamente como una respuesta para evitar la desecación y la muerte de la planta en situaciones de déficit hídrico (Blum, 2005). Los efectos del déficit hídrico sobre la fisiología de las plantas varían en función de la especie y de su grado de tolerancia, pero también en función de la magnitud de la falta de agua y de la rapidez con que se experimente su carencia (Martin de Santa Olalla *et al.*, 2005). Se establece que el déficit de agua en la planta disminuye todos los procesos fisiológicos tales como fotosíntesis, transpiración, respiración, equilibrio hormonal, producción de enzimas, proteínas y aminoácidos; además, limita el desarrollo de las mismas, inicia el secamiento de las hojas, ramas y tallos, disminuye el tamaño de los frutos, el número de semillas y su tamaño, así como, el rendimiento y su calidad (Begg y Turner, 1976; Mullet y Whitsit, 1996; Blum, 2005). Los procesos fotoquímicos han mostrado ser sensibles al estrés hídrico; sin embargo, la magnitud y consecuencias de esta sensibilidad son variables según la

especie y principalmente, la severidad del estrés (Lu y Zhang, 1998; Medrano *et al.*, 2002). En situaciones de estrés hídrico, la capacidad de transporte electrónico puede afectarse por diversas causas: (a) disminución en el número total de centros en estado funcional y (b) cambios en la eficiencia de los centros funcionales (Flexas y Medrano, 2002a). Esta disminución del número de centros funcionales se relaciona a la integridad de la maquinaria fotosintética y podría ser asociada con la llamada “fotoinhibición crónica” (Osmond y Grace, 1995). Si las condiciones ambientales que causan el estrés hídrico persisten, o si la sequía es muy severa, se ven afectados otros procesos fisiológicos como son, la inhibición de protoclorofila, disminución de la actividad de ciertas enzimas como la nitrato reductasa a consecuencia de la disminución en el flujo de nitrato, lo que afecta la incorporación de nitrógeno orgánico a la planta (Tadeo, 2000).

Los niveles de estrés hídrico provocan cambios en las actividades enzimáticas, causan además la inhibición de la división celular y por ende, del crecimiento. La reducción del crecimiento relacionada con la inhibición de la elongación y la división celular da lugar a la modificación de los patrones de desarrollo y de la morfología vegetal. En condiciones de déficit hídrico, el crecimiento de la raíz es menos sensible que el crecimiento de la parte aérea, lo que conduce a un aumento de la relación parte aérea/raíz (Mullet y Whitsit, 1996). La biomasa de la raíz raramente incrementa en un estado de estrés; sin embargo, la longitud de éstas y su profundidad, pueden aumentar en eventos de secamiento del suelo (Blum, 2005). Un estrés moderado puede ser la causa de una disminución notable en la productividad de los cultivos, debido a la relación entre estrés hídrico y la disminución del crecimiento, la reducción del tamaño de las células que da lugar a un menor desarrollo de las hojas, y como resultado un menor desarrollo de la superficie fotosintética, sobre todo cuando este déficit ocurre en las primeras etapas del crecimiento vegetativo. Durante muchos años se ha discutido si el cierre estomático es la única causa de la caída de la tasa fotosintética con el estrés, o bien si las causas pueden ser de tipo metabólico, es decir, si existen ‘limitaciones no-estomáticas’ (Flexas *et al.*, 1998; Escalona *et*

*al.*, 1999; Flexas *et al.*, 2002; Lawlor, 2002). El resultado del cierre estomático, es la disminución de la tasa transpiratoria, lo cual repercute sobre el balance energético de la hoja, además, la transpiración se reduce como consecuencia de la inhibición del crecimiento de la parte aérea, aunque por el contrario, al resultar el sistema radicular inicialmente menos afectado por el estrés hídrico, suele producirse un aumento de la capacidad absorbente de las raíces por unidad de superficie (Martin de Santa Olalla *et al.*, 2005).

Algunos autores sostienen la existencia de limitantes 'no-estomáticas' o metabólicas (Tezara *et al.*, 1999). La defensa de ambas ideas (limitaciones estomáticas *versus* metabólicas) han sido materia de fuerte debate entre los especialistas (Cornic, 2000; Lawlor, 2002; Lawlor y Cornic, 2002; Medrano *et al.*, 2002; Tang *et al.*, 2002). Las causas asociadas a la posible existencia de limitantes metabólicas de la fotosíntesis con el estrés son: (a) limitación por actividad de la Rubisco, (b) regeneración de Ribulosa 1,5 bisfosfato (RuBP), (c) limitación por la disponibilidad de ATP y NADPH y (d) disminución del transporte electrónico a nivel tilacoidal (Tezara *et al.*, 1999; Lawlor, 2002). Las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> presentan diferencias en cuanto a su fotosíntesis neta. En ambos casos la fotosíntesis se afecta negativamente cuando disminuyen los potenciales totales, osmóticos y de turgencia. Los cambios en los potenciales hídricos en algunos períodos del día disminuyen la tasa de asimilación casi linealmente a la disminución de los potenciales, con lo cual se reduce la fotosíntesis, pudiendo detenerse completamente (Robinson, 1985).

Por otra parte, un estrés hídrico provoca la caída de hojas y frutos, la disminución del tamaño de las hojas, se altera el desarrollo reproductor, por lo que en condiciones de sequía se adelanta la floración de plantas anuales y se retrasa la de plantas perennes, además de producirse alteraciones en la fertilidad del polen y la formación de flores y frutos (Martin de Santa Olalla *et al.*, 2005) acompañada en algunas ocasiones de una modificación en la proporción de estomas y tricomas en la epidermis foliar, aumentando estos últimos. Estos autores plantean que para el rendimiento de las semillas de los cultivos, la duración del estrés es tan

importante como el grado del mismo, y que varía la sensibilidad de las plantas a la sequía con la etapa de desarrollo, concretamente la polinización y los días siguientes que son el periodo más sensible al estrés hídrico, por lo que la obtención de rendimientos mayores en zonas de escasas precipitaciones representa un reto para la agricultura (Condon *et al.*, 2002).

### **2.3 Respuestas de las plantas al estrés hídrico**

A lo largo de varias décadas se han estudiado características diversas para lograr tener una visión clara de cómo las plantas responden al estrés hídrico, muchas de las respuestas a este estrés se han resumido por autores como Hsiao (1973), Turner y Kramer (1980), Paleg y Aspinal (1981), Hanson y Hitz (1982), Valladares y Pearcy (1997), Blum (2005). Estas respuestas ocupan un amplio rango, desde metabólicas y fisiológicas hasta morfológicas; pueden ser respuestas transitorias o bien involucrar cambios en la expresión génica; por ejemplo, la expresión de gran cantidad de genes se modifica en plantas de *Arabidopsis thaliana* sujetas a episodios de déficit hídrico (Bray, 2002a). Según autores como Lambers *et al.* (1998) estas respuestas dependen de la naturaleza del déficit y pueden distinguirse en: (a) respuestas inmediatas, (b) aclimatación a cierto nivel de disponibilidad de agua y (c) adaptación a la sequía.

Las respuestas inmediatas son modificaciones del funcionamiento de la planta en respuesta al estrés que ocurre en poco tiempo (de minutos a días) (Flexas y Medrano, 2002b) y es primeramente contrarrestada por una regulación estomática con tal de reducir la pérdida de agua por transpiración, maximizando la absorción de CO<sub>2</sub> para realizar la fotosíntesis (Rozlowski *et al.*, 1991). La aclimatación hace referencia a respuestas al estrés que ocurren en periodos más largos (de semanas a años), incluye el ajuste del potencial osmótico por la acumulación de solutos, cambios en la elasticidad de las paredes celulares y cambios morfológicos. Por otro lado, la adaptación a periodos largos de sequía incluye la fijación de patrones genéticos de distribución de biomasa,

modificaciones anatómicas específicas y sofisticados mecanismos fisiológicos con una reducción general del crecimiento para el balance de los recursos adquiridos (Chapin, 1991).

La sequía provoca en las plantas una reducción del potencial hídrico de sus tejidos, al cual responden sintetizando una gran cantidad de compuestos denominados osmoprotectores, que actúan bien como osmolitos, facilitando la retención de agua por el citoplasma o como verdaderos compuestos protectores que estabilizan la estructura de las membranas y de las macromoléculas. Los osmoprotectores son solutos compatibles con el funcionamiento celular; entre ellos se encuentran compuestos con átomos de nitrógeno en su molécula, como la prolina y los compuestos con grupos hidroxilo, como los polialcoholes y los azúcares (Tadeo, 2000). Se ha observado que las plantas resisten estrés hídrico cuando se les aplican aminoácidos que involucran respuestas fisiológicas, estructurales y modificaciones morfológicas a corto y largo plazo; estos cambios ayudan a minimizar el estrés en la planta y a maximizar los recursos externos e internos (Alarcón, 2000).

Una de las respuestas metabólicas al déficit hídrico es la acumulación del aminoácido prolina, el cual se utiliza ampliamente para muchas especies (Aspinall y Paleg, 1981). Diversas funciones son atribuidas a la acumulación de este metabolito, entre ellas, la de actuar como compuesto de reserva de carbono y nitrógeno (Aspinall y Paleg, 1981; Barnett y Naylor, 1996, Samaras *et al.*, 1995), servir como desintoxicante del amonio durante el déficit hídrico, protector contra radicales hidroxilos, fuente de energía para la recuperación (Samaras *et al.*, 1995) y como estabilizador de las proteínas a valores bajos de potenciales hídricos, contribuyendo así a la sobrevivencia de las funciones celulares. La acumulación de prolina se ha evidenciado ante diversos estrés, por lo que se sugiere que esta acumulación es ventajosa y podría utilizarse como indicador en la selección de cultivares resistentes a la sequía (Singh y Rai, 1982; Sánchez *et al.*, 2008).

También se ha demostrado que los azúcares son señales que modifican la expresión de genes relacionados con el crecimiento y con las respuestas al estrés en plantas (Smeekens, 1998), en tal sentido, las plantas que han sido sometidas a un déficit hídrico presentan cambios en el contenido de sus carbohidratos solubles, así como en la actividad de las enzimas implicadas en el metabolismo de carbono (Foyer, 1988). Cuando el estrés es leve, se reduce la actividad fotosintética debido a una disminución de la capacidad de regeneración de la rubisco, pero no la eficiencia en la carboxilación, que viene determinada por la actividad de esta enzima. Si el estrés es de moderado a severo se reduce la eficiencia en la carboxilación. Por otra parte, se ha descrito un incremento de la resistencia del mesófilo a la difusión del  $\text{CO}_2$  frente a estas condiciones de estrés, por ello, a medida que la sequía progresa, la concentración intercelular del  $\text{CO}_2$  resulta cada vez menos representativa de la concentración real de  $\text{CO}_2$  en el cloroplasto. La reducción en la eficiencia en la carboxilación se debe a incrementos de la resistencia del mesófilo y no a la inhibición de la actividad de la rubisco (Medrano y Flexas, 2002). Tezara *et al.* (1999) han demostrado en girasoles que cuando son sometidos a un déficit hídrico se induce la inactivación de ATPasa del cloroplasto y la síntesis de ATP. Estos autores han planteado que la fotosíntesis en condiciones de sequía se ve más limitada por la síntesis de ATP que por el cierre estomático.

En condiciones de sequía, se disminuye la capacidad de germinación de las semillas, se reduce la producción de granos y frutos, la absorción de nutrientes minerales como consecuencia de la reducción de la absorción de agua, en la que los nutrientes van disueltos, y en algunos casos aumenta la predisposición de las plantas a sufrir enfermedades (Medrano y Flexas, 2002). Existe el criterio por parte de estos autores que una de las respuestas inmediatas al estrés hídrico mejor caracterizadas consiste en la reducción de las pérdidas de agua por transpiración, la que ocurre principalmente mediante dos mecanismos reversibles: (a) el cierre de los estomas y (b) la reducción de la conductividad hídrica de los vasos del xilema. El cierre estomático sucede en respuesta al

déficit hídrico en el suelo antes de que cambie sustancialmente el potencial hídrico foliar o el contenido relativo de agua. La reducción de la conductividad hídrica del xilema se lleva a cabo cuando las tensiones hídricas hoja-raíz se elevan, puede suceder que parte del xilema quede inoperante porque se produce la cavitación o embolismo, que consiste en la ruptura de la columna continua de agua en el xilema, puesto que el ascenso del agua través del xilema, según la teoría de la cohesión-tensión, depende de la cohesión del agua, la ruptura de dicha columna provoca la inutilización del vaso cavitado.

#### ***2.4 Mecanismos empleados por las plantas para disminuir los efectos de la sequía***

En condiciones de estrés hídrico las plantas desarrollan diferentes mecanismos de defensa ante ésta condición, se pueden citar como fundamentales según Tadeo (2000) la profundidad y ramificación del sistema de raíces, grosor y posición de las hojas, cantidad y movimiento de los estomas, características de la plasmólisis, grosor de la cutícula, contenido de cera y la superficie del aparato foliar. Fisiólogos y mejoradores han acometido el estudio de los mismos y coinciden en señalar que un conjunto de caracteres morfológicos determinan el grado de tolerancia de las plantas a la deficiencia de agua. De acuerdo con Sánchez y Aquirreolea (2000) las plantas se adaptan al estrés hídrico mediante diferentes modificaciones fisiológicas, morfológicas y de su desarrollo, que no se agrupan al azar, sino formando diferentes conjuntos que se denominan mecanismos, también señalan, que para mejorar la capacidad de resistencia de las plantas al estrés hídrico, o sea, que les permita completar con éxito su ciclo de vida, se han establecido desde una perspectiva didáctica tres mecanismos:

##### ***2.4.1 Mecanismos de escape***

En el mecanismo de escape, las plantas ajustan su fenología para cumplir su ciclo fuera de los períodos de déficit hídrico, lo que muestra un alto grado de

plasticidad, permitiéndole completar su ciclo antes que los cambios fisiológicos debido al estrés aparezcan, así como fechas de floración y fructificación tempranas (Slafer *et al.*, 1994; Araus *et al.*, 2002), los ajustes en la fenología de la planta pudieran representar una ventaja, siempre que permitan el incremento de la producción (De Herralde, 2000).

#### **2.4.2 Mecanismos de evitación**

Son mecanismos destinados a retrasar lo más posible la deshidratación de la planta, para evitar llegar a un déficit hídrico. La estrategia es incrementar al máximo la captación de agua y reducir al mínimo sus pérdidas (Chaves *et al.*, 2003). Existen dos tipos de extremos en la estrategia evitadora: las plantas ahorradoras de agua (water savers) y las plantas gastadoras de agua (water spenders) (Levitt, 1972). Las plantas ahorradoras son aquellas cuya estrategia se define por una reducción de las pérdidas de agua mediante el cierre estomático, una reducción de la transpiración cuticular, reducción de la superficie transpiratoria, un aumento de la resistencia hidráulica de las raíces o acumulación de agua. Las plantas gastadoras son aquellas cuya estrategia se basa en incrementar la absorción de agua con el fin de poder mantener tasas de crecimiento, fotosíntesis y contenido relativo de agua elevados en los tejidos, esto lo consiguen básicamente mediante un incremento de la superficie radicular y una reducción de la resistencia hidráulica (Nobel, 1991). El incremento de la superficie radicular permite un mejor abastecimiento en las hojas puesto que las raíces exploran un mayor volumen de suelo y las plantas extraen más agua (Martin de Santa Olalla *et al.*, 2005).

#### **2.4.3 Mecanismos de tolerancia**

Son aquellos mecanismos que permiten que la planta siga siendo funcional aunque haya pérdida de agua y se produzca un déficit hídrico. En tal sentido,

resulta más útil la nomenclatura de Turner (1986), en que la definición del término tolerante se hace aún más precisa; se refiere a la capacidad de resistir en forma reversible la deshidratación de los tejidos (Oliver, 1996; Munné-Bosch y Alegre, 2000 a,b). Según Martínez *et al.* (2002) los mecanismos de tolerancia permiten realizar a las plantas ajustes bioquímicos para sobrevivir en condiciones de bajos potenciales hídricos; el reconocimiento de estos mecanismos bioquímicos y fisiológicos involucrados en la osmorregulación ante un estrés osmótico, permite implementar estrategias para el manejo y mejoramiento de los cultivos en condiciones de sequía (Cisneros *et al.*, 2003). Para Rao *et al.* (2001) la tolerancia a la sequía se manifiesta cuando se involucra el mantenimiento de una presión del turgor positiva a bajo potencial de agua en los tejidos, por lo que se habla de plantas tolerantes a potenciales hídricos bajos y separan los mecanismos en dos tipos: los destinados al mantenimiento de la turgencia celular (ajuste osmótico y ajuste elástico) y los que permiten la tolerancia a la deshidratación (tolerancia protoplasmática).

a) Ajuste osmótico: la acumulación de osmolitos en las células vegetales resulta en una disminución del potencial osmótico, lo que permite el mantenimiento de la absorción de agua y de la presión de turgencia. En condiciones de estrés hídrico, esto puede contribuir al mantenimiento de diversos procesos fisiológicos tales como, la apertura estomática, la fotosíntesis y la expansión celular (Morgan, 1992). Además de los efectos sobre la hidratación celular, es considerado también, como un mecanismo importante para la adaptación de las plantas a la sequía (Pérez, 2003). Autores como Subbarao *et al.* (2000) en la evaluación de la contribución del ajuste osmótico sobre el desarrollo y productividad durante déficits hídricos, encontraron que el ajuste osmótico en las hojas se incrementó con el agotamiento de la humedad del suelo y los estomas se cerraron a los -0.5 MPa en la madurez fisiológica. Un número creciente de reportes dan evidencias sobre la asociación entre la velocidad del ajuste osmótico y el rendimiento de biomasa en condiciones de limitación hídrica (Blum, 2005), que posibilita mantener alto contenido relativo de agua en las hojas (CRA) a bajos potenciales hídricos (Alí

*et al.*, 1999) por lo que ayuda a mantener el crecimiento, turgencia y por consiguiente, el proceso de formación del rendimiento durante un moderado y severo estrés. Otros investigadores como Riga y Vartanian (1999); Chandra Babu *et al.* (2004) han sugerido asociaciones entre el ajuste osmótico y la estabilidad de la membrana celular bajo estrés hídrico.

b) Ajuste elástico: las paredes de las células vegetales presentan propiedades plásticas y elásticas, estas últimas son las que generan el potencial de turgencia en células vivas, la plasticidad posibilita la extensión permanente de las células en crecimiento (De Herralde, 2000). Aunque la relación entre el déficit hídrico y la elasticidad no es muy clara, se dice que el incremento de la elasticidad tisular permite el mantenimiento de la turgencia a CRA bajo y considerarse así, un mecanismo de tolerancia. Por otra parte, la disminución de la elasticidad permite una capacidad mayor de extracción de agua del suelo en condiciones de desecación y ello podría hacer que se considere un mecanismo de evitación (Robichaux *et al.*, 1986; Savé *et al.*, 1994).

c) Tolerancia protoplasmática: es el mecanismo que permite mantener las células vivas a CRA muy bajo. Suele darse en plantas poiquilohídricas, cuyas estructuras y vías metabólicas se recuperan rápidamente de un estado totalmente deshidratado (Gibson, 1996). De forma general, el conocimiento de estos mecanismos resulta de gran importancia para lograr una mayor eficiencia en la producción agrícola actual en zonas áridas y semiáridas.

## **2.5 Estudios de las respuestas de las plantas al estrés hídrico**

La comunidad científica internacional hace varios años trabaja en numerosas investigaciones científicas dirigidas al estudio de las plantas en condiciones de sequía, estas se han encaminado en dos vertientes fundamentales: (a) las investigaciones a nivel molecular y (b) las investigaciones a nivel de planta y su respuesta agronómica (Blum, 2005); sin embargo, los procesos en sequía

necesitan de mayor estudio para ser mejor comprendidos (Asada, 2000; Badger *et al.*, 2000).

De acuerdo con Levitt (1972) las mediciones de estrés producido por sequía representan un fuerte problema en los trabajos de investigación. Lo anterior se debe principalmente a la complejidad del fenómeno, la diversidad del tipo de plantas y la naturaleza de las partes del cultivo; además de otras complejidades derivadas de la ocurrencia de otros estreses que frecuentemente amplían el impacto negativo de la sequía (Mittler, 2005). Por lo anterior, es difícil creer que cualquier método o técnica pueda ser utilizado universalmente para medir el estrés por sequía, este debe incluir, mediciones del crecimiento, estatus del agua, así como de procesos fisiológicos y bioquímicos (Wu *et al.*, 2001). Con el fin de evitar que muchas plantas sean sometidas a condiciones de sequía en el campo, se han perfeccionado diversas pruebas de laboratorio que han permitido detectar ciertas variedades particularmente resistentes a sequía, entre las que figuran, la germinación a alta presión osmótica, la velocidad de crecimiento relativo y la resistencia al calor. Las pruebas de germinación a altas presiones osmóticas han permitido seleccionar rápidamente dentro de un grupo numeroso de variedades aquellas que presenten mayor aptitud para tolerar a la sequía.

En ocasiones la falta de criterios auxiliares para la evaluación y selección de variedades tolerantes a la sequía, obligan a recurrir al uso de índices de selección que involucran varias características de la planta, entre los más utilizados se encuentra el propuesto por Fisher y Maurer (1978), en el que se utiliza la media del rendimiento de las variedades en las diferentes condiciones de humedad para calcular el índice de intensidad y sensibilidad a la sequía, también sobresalen otros criterios como los de Samper y Adams (1985) que utilizan la media geométrica del rendimiento. Un criterio más reciente para determinar el índice de tolerancia al estrés es utilizado por González *et al.* (2005) empleando la media de los indicadores morfométricos en condiciones de estrés y no estrés.

Se han realizado varios estudios para obtener información de la respuesta de las plantas en sequía (Bray *et al.*, 2000), en que los procesos fisiológicos y

bioquímicos de las plantas responden al déficit hídrico. Igualmente se han obtenido progresos en la interpretación de las relaciones hídricas entre las diferentes estructuras de las plantas y sus funciones (Valladares y Pearcy, 1997), tales como la morfología del sistema radical y la tolerancia al estrés (Jackson *et al.*, 2000; Maggio *et al.*, 2001) lo cual es esencial para el entendimiento de la habilidad competitiva de las plantas para sobrevivir en diferentes ambientes.

En la actualidad, cientos de genes que son inducidos en sequía se han identificado y diversas herramientas se utilizan para estudiar sus funciones y roles específicos en la aclimatización o adaptación de las plantas al déficit hídrico, pero ya que las respuestas de las plantas al estrés son complejas, algunas de las funciones de muchos genes son aún desconocidas (Cushman y Bohnert, 2000; Bray, 2002b). Investigaciones de los mecanismos de percepción y señalización del estrés por sequía han registrado progresos, aunque está claro que estos son complejos y están interconectados a diferentes niveles (Knight y Knight, 2001). De forma similar los componentes hidráulicos de estas señales han cobrado interés (Jackson *et al.*, 2000; Sperry *et al.*, 2002), pero aún lejos está el entendimiento de cómo y dónde las señales químicas e hidráulicas están integradas para regular la respuesta de las plantas a la deshidratación (Comstock, 2002). En los últimos años se ha estudiado el efecto de numerosos bioestimulantes como mitigadores del estrés hídrico en diversos cultivos de interés agrícola, sustancias que por su modo de acción y efecto en las plantas pueden lograr que realicen eficientemente sus procesos fisiológicos y bioquímicos aun y cuando se encuentran bajo estrés demostrando su potencial productivo.

## **2.6 Uso de bioestimulantes en los cultivos agrícolas**

En la actualidad existe una tendencia mundial hacia una agricultura sostenible minimizando el uso de productos químicos (fertilizantes e insecticidas) que desequilibran el medio ambiente, además de causar directamente daños a la salud animal y humana (Febles *et al.*, 2011). Según Pomares *et al.* (2008) son muchos

los productos naturales usados que han potenciado el manejo ecológico de los agroecosistemas, entre los que se citan los bioplaguicidas, los biofertilizantes y los bioestimulantes, en estos dos últimos grupos se aclara que existen muchos que no son puramente ecológicos. Cussianovich (2001) plantea que en los últimos tiempos son muchos los bioestimulantes y biofertilizantes orgánicos que permiten a las plantas superar las situaciones de estrés a las condiciones adversas del medio, favoreciendo el crecimiento y desarrollo, así como el rendimiento, disminuyendo de esta forma el uso de sustancias químicas. Los diversos ensayos realizados por investigadores de la Universidad de la Habana en 1996, demuestran que estos bioestimulantes ejercen su actividad estimuladora cuando se aplican en cantidades muy pequeñas que oscilan entre 10-50 mg por hectárea y tienen una toxicidad nula. Según lo planteado por Núñez *et al.* (2010) los bioestimulantes actúan en diferentes órganos, momentos y estadios de los cultivos. De hecho, la utilización de productos que ejercen funciones bioestimuladoras de crecimiento, a la vez constituyen la base de la fertilidad del suelo y su papel capital presenta un triple aspecto físico, químico y biológico.

Cuando estas sustancias se aplican a diferentes cultivos, son capaces de aumentar los rendimientos, mejorar la resistencia al frío, reducen los daños por la aplicación de productos fitotóxicos y mejora la tolerancia a la salinidad y la sequía (Núñez, 1994; Núñez, 1998). En los resultados obtenidos por Duarte *et al.* (2009) lograron incrementar el rendimiento cuando efectuaron la aplicación de bioestimulantes fraccionando la dosis total en tomate. Núñez (1996) y Nuñez (2000) reportó incremento de los rendimientos en el cultivo del tomate, en trabajos desarrollados con bioestimulantes (Biobras-16) encontrando una influencia positiva en el rendimiento de plantas de tomate variedad INCA-17, con el incremento de la masa promedio de los frutos sin afectar la calidad interna de los mismos. Rodríguez y Núñez (1999) encontraron un incremento notable en la longitud y el diámetro de las mazorcas así como un incremento entre 8 y 17 % del rendimiento del cultivo de maíz a diferentes dosis de Biobras-16 (fito-hormonas). En este mismo cultivo, los referidos autores, al evaluar el efecto de

brasinoesteroides encontraron un incremento en el diámetro de la mazorca así como en el rendimiento cuando se aplicó la dosis al 50 % en dos momentos. En este mismo cultivo, Almenares *et al.* (1999) logró mayor diámetro de las mazorcas y rendimiento al fraccionar las dosis de Biobras-16 al 50 % en dos momentos. Resultados alentadores también fueron reportados por Abe (1989) cuando aplicó aspersión foliar de 0.4 ppm de brasinoesteroides en la fase de prefloración y desarrollo de la vaina en mostaza, incrementando el rendimiento del cultivo en condiciones de déficit hídrico por su efecto directo en la división y elongación celular. Núñez (1998) encontró un incremento del rendimiento agrícola en diferentes variedades de soya sembradas en distintas épocas del año que oscilaron entre el 4 y 55 %, con la aplicación del brasinoesteroides. Por otra parte, Pérez *et al.* (2000) plantean que el uso de bioestimulantes en la producción agrícola se ha convertido en una práctica internacional y que en la actualidad ha cobrado auge el uso de productos ecológicamente inocuos, de fácil obtención como los oligogalacturónidos.

### **2.7 Actividad biológica de los oligogalacturónidos en las plantas**

La respuesta biológica de los oligogalacturónidos se observa en las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas (Moerschbacher *et al.*, 1999; Inngjerdingen *et al.*, 2005). Esta respuesta es intrínseca del tipo, la especie y variedad de planta; asimismo, depende de la estructura química del oligogalacturonido que se utilice (Shibuya y Minami, 2001). Generalmente, los oligogalacturónidos con un grado de polimerización entre 10 y 16 moléculas de ácido galacturónido son los de mayor actividad biológica. No se han informado efectos sinérgicos ni antagónicos en la actividad biológica entre estos oligosacáridos, por lo que diferentes autores aceptan como válido utilizar en sus trabajos de investigación mezclas de estos compuestos (Marfá *et al.*, 1991; Bellincampi *et al.*, 1995; Messiaen y Van Cutsem, 1999). En una amplia variedad de especies de plantas ha quedado demostrado que los diferentes tejidos son sensibles a los

oligogalacturónidos. Una de las respuestas que se han observado después de la adición de esta sustancia es el aumento del sistema radical y la elongación celular (Low y Merida, 1996).

*El pectimorf* es un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos con grado de polimerización entre 9 y 16 moléculas de ácido galacturónico, obtenido a partir de los desechos de la industria citrícola; es un estimulador del crecimiento, propiciando mayor eficiencia en la división y elongación celular, también activa los mecanismos de defensa. Esta mezcla tiene una fracción molar que oscila entre 10.4 y 7.2 % y es sintetizada en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, de La Habana, Cuba (Cabrera *et al.*, 2003). En estudios desarrollados por Montes *et al.* (2000) la respuesta de explantes de hojas de vitroplantas de *Anthurium cubense* L. ante diferentes dosis de reguladores del crecimiento con el fin de favorecer la organogénesis indirecta como alternativa al método de reproducción vía semillas cultivadas *in vitro*, observaron la formación de una masa calogénica de color blanco transcurridos dos meses a partir de la siembra en condiciones de oscuridad y después del subcultivo a un medio conteniendo 4.7  $\mu\text{M}$  de pectimorf (mezcla de oligogalacturonido de origen péctico), obtuvo una tasa de regeneración de hasta 17 brotes por explante. Asimismo, fue muy favorable la respuesta de las vitroplantas durante la fase de aclimatación, lográndose más del 90 % de vitroplantas con buen vigor vegetativo y las características morfológicas de las plantas regeneradas fueron superiores a las de las plantas donantes y el vigor se expresó en un rápido crecimiento de éstas. La utilización del Pectimorf (10  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el enraizamiento de margullos en las variedades de *Ficus benjamina* 'Golden King' y 'Nítida' estimuló el número de raíces emitidas con 13 y 27, respectivamente, que fue superior al tratamiento de *Rhizopon-B* (Control) con 11 y 8.14 raíces emitidas para las variedades respectivas. La uniformidad de las raíces es una variable importante a tener en cuenta en la adaptación de una planta una vez sembrada en macetas; en tal sentido, se encontró que en las dos variedades anteriores además de la 'Exótica', el pectimorf resultó ser el más efectivo (Cabrera, 2000). En el volumen de raíces, se corroboran los resultados

obtenidos hasta el momento donde el pectimorf ofrece los resultados mejores. En el caso del enraizamiento de esquejes intermedios (semileñosos) de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en la variedad 'Suprema Roja', el tratamiento de 20 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, fue el de mejor porcentaje de plantas vivas (66 %) y fue superior al tratamiento testigo (AIA.- 0.5 %), que alcanzó un 15 % aproximadamente 60 días después de sembrados los esquejes; asimismo, la variedad 'Enana Roja' mostró una respuesta similar a la anterior. En relación con el número de raíces por planta, la variedad 'Enana Roja' mostró una mayor precocidad (siete raíces por esquejes) y la 'Suprema Roja' obtuvo entre cinco y siete raíces por planta (Dominí y Benítez, 2004). Concluyen que el uso de pectimorf puede representar una alternativa importante como estimulador del enraizamiento vegetal. El pectimorf también se ha utilizado en la embriogénesis somática en caña de azúcar (*Saccharum sp.*) (Nieves *et al.*, 2006), de la mandarina (*Citrus reshni Hort. et Tan.*) variedad 'Cleopatra' (Hernández *et al.*, 2007a), crecimiento y desarrollo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) (Costales *et al.*, 2007), de *Anthurium andreanum* L. (Hernández *et al.*, 2007b), enraizamiento de pecíolos de violeta africana (*Saintpaulia ionantha* L.) (Falcón y Cabrera, 2007), en semilla artificial de caña de azúcar (*Saccharum sp.*) (Cid *et al.*, 2006).

## **2.8 Caracterización del Pectimorf**

El Pectimorf es un producto natural con actividad hormonal para regular el proceso del crecimiento y el desarrollo de los cultivos que ha resultado muy efectivo en todas las fases del cultivo desde semillero hasta la producción y en diferentes modelos vegetales como café, plátano, banano, ajo, caña de azúcar, cítricos y papa. Se dispone de una tecnología de producción que permite entre otras cosas asegurar la calidad de los frutos agrícolas y el control del producto. En el grupo de fisiología del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) se trabaja en la

obtención de oligopectatos a partir de la degradación enzimática de la corteza de los frutos de cítricos (Montes *et al.*, 2000).

### **2.8.1 Métodos de obtención de pectinas**

Según Cabrera (2000) la pectina puede obtenerse de los residuales vegetales esenciales por dos vías:

1. *Extracción con enzimas.* Las pectinas pueden extraerse del material utilizando enzimas que degraden los enlaces con las cadenas laterales, quedando la cadena principal de ácido galacturónico.

2. *Extracción con química.* Se realiza principalmente por hidrólisis ácida, las condiciones varían, pero realmente se utiliza un pH en el rango de 2-3, se basa en romper los enlaces de unión entre la cadena principal compuesta por ácidos galacturónidos y los laterales compuestos por azúcares neutros como la ramosa y la arabimosa.

Este último método no se utiliza con frecuencia para estos fines, debido al elevado costo de este procedimiento; sin embargo, la vía más adecuada para obtener estos polisacáridos consiste en la hidrólisis enzimática, porque además de producir un mayor rendimiento de oligogalacturónidos no altera su estructura (Coté y Hahn, 1994).

### **2.8.2 Ventajas del Pectimorf**

Zabotina *et al.* (1998) y Cabrera (2000) señalaron las siguientes ventajas:

1. Sustancia estimuladora del crecimiento y la diferenciación celular de diferentes especies vegetales (tomate, caña de azúcar, café, cítricos, papa, ajo, tabaco, plátanos y bananos).

2. El efecto biológico de estos oligosacáridos en los medios de cultivo de células vegetales puede ser del tipo auxínico o citoquinínico en dependencia del balance hormonal en el medio estimulador.
3. Los resultados obtenidos hasta la actualidad evidencian que los oligogalacturonidos estimulan la síntesis de proteínas en células vegetales, por medio de la regulación de ciertas enzimas.
4. Los oligogalacturónidos estimulan la desagregación celular durante la obtención de suspensiones celulares aumentando la eficiencia del proceso.
5. Los oligogalacturónidos estimulan el crecimiento y desarrollo del sistema radical de los vegetales.
6. Las concentraciones óptimas de Pectimorf en los medios de cultivo para obtener una respuesta satisfactoria oscilan entre 5 y 20 mg L<sup>-1</sup>. Teniendo en cuenta las ventajas de dicho producto, ya probado por varios investigadores en numerosos cultivos de interés económicos en Cuba y en el mundo, por su desempeño dentro de la célula vegetal y en la estimulación del enraizamiento, es válido pensar que puede actuar como un agente mitigador del estrés hídrico.

## **2.9 El cultivo de la albahaca**

La albahaca pertenece al género *Ocimum* y es miembro de la familia *Lamiaceae*, este género incluye más de 60 especies de plantas anuales o perennes no leñosas y arbustos nativos de regiones tropicales y subtropicales. Existe un desacuerdo en la literatura para el número exacto de especies en el género, esto es debido al hecho de que el género todavía está siendo estudiado por su diversidad en la naturaleza (Loughrin y Kasperbauer, 2001). Al igual que su género, la morfología es muy variada, se caracteriza por ser una planta muy ramificada, hojas opuestas que pueden variar en color (verde a morado) de

tamaño y textura en dependencia de la especie y la variedad, su floración es en espigas cuyos colores pueden ser desde blanco hasta lavanda-purpura, su crecimiento puede llegar a más de 10 pies de altura dependiendo de la especie. La especie más cultivada es *Ocimum bacilicum* y esto se debe a la composición (metil chavicol, eugenol y linalol) y cantidad de aceites esenciales que se encuentran en las hojas y otras partes de la planta (Tucker y De Baggio, 2000; Bown, 2001), lo que le confiere propiedades especiales para ser utilizada en la industria farmacéutica, ya que actúa como lenitivos del sistema nervioso, expectorantes, antiespasmódicos entre otros, también su esencia se utiliza en las industrias de cosméticos y alimenticia. En la actualidad se producen alrededor de 42.5 t año<sup>-1</sup> de aceites esenciales en el mundo. Los países donde se producen los volúmenes mayores de este cultivo son, Francia, España, Italia, Egipto y México, en este último, constituye gran importancia para la economía (Fenech, 2008), con una producción anual de 3723.45 toneladas y un rendimiento de 8.29 t ha, distribuidos en los Estados de Nayarit, Morelos, Baja California y Baja California Sur, este último es el de mayor producción en el país con 2,403 toneladas con un rendimiento de 6.57 t ha<sup>-1</sup> al cierre de 2010 distribuidos en los municipios de Los Cabos, Comondú y La Paz (SIAP, 2010). Teniendo en cuenta que el rendimiento es inferior a la media nacional debido a las condiciones de suelo y clima (Fenech, 2008), en el presente trabajo se propone el estudio de su respuesta morfofisiológica ante la aplicación de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos (Pectimorf) en condiciones de estrés hídrico.

### **3. HIPÓTESIS**

La aplicación de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos con grado de polimerización entre 9-16 que estimula el crecimiento y desarrollo vegetal, actuará como agente mitigador del estrés hídrico al inducir un incremento significativo en el porcentaje y tasa de germinación y emergencia, así como en el crecimiento de plántulas y plantas durante el desarrollo vegetativo. Manifestándose en mecanismos fisiológicos y bioquímicos, permitiendo que variedades de albahaca sensibles aumenten su tolerancia y las tolerantes aumenten su crecimiento

## **4. OBJETIVOS**

### ***4.1 Objetivo general***

Evaluar un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos de grado de polimerización entre 9-16, como mitigador de los efectos del estrés hídrico en la germinación, crecimiento, desarrollo y fisiología de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

### ***4.2 Objetivos específicos***

1. Determinar variedades de albahaca tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de germinación, emergencia y desarrollo vegetativo inicial, mediante el análisis de la tasa, el porcentaje y variables morfométricas.
2. Evaluar un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos con grado de polimerización entre 9-16, como mitigador de los efectos del estrés hídrico en la tasa, porcentaje de germinación, emergencia y variables morfométricas en plántulas de variedades de albahaca tolerantes y sensibles sometidos a estrés hídrico.
3. Evaluar un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos de grado de polimerización entre 9-16, como mitigador de los efectos del estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial, variables morfométricas, bioquímicas y fisiológicas de variedades de albahaca tolerantes y sensibles al estrés hídrico en el desarrollo vegetativo.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico

#### 5.1.1 Etapa de germinación

El experimento se realizó en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. Se utilizaron veinte variedades de albahaca: *Lemon*, *Sweet Dani*, *Sweet Genovese*, *Siam Queen*, *Red Rubin*, *Thai*, *Dark Opal*, *Spicy Glove*, *Mrs Buns*, *Cinnamon*, *Licorice*, *Purple Ruffles*, *Italian Large Leaf*, *Lettuce Leaf*, *Emily*, *Dolly*, *Genovese*, *Genovese Italian*, *Dolce Vita* y *Napoletano*. Previamente se realizó una prueba de germinación de todos los genotipos, utilizando la metodología propuesta por ISTA (1999). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial considerando las variedades como factor A y los tratamientos de sequía como factor B, con cuatro repeticiones de 30 semillas cada una. El experimento se inició al humedecer las semillas según el método de Michel y Kauffman (1973). Los tratamientos de sequía se simularon con soluciones de Polietilenglycol, de un peso molecular de 8000, que de acuerdo con Bradford (1986) no provoca ningún daño a la raíz. Se establecieron como tratamientos, los potenciales hídricos de -0.75 MPa (estrés moderado) y -1.50 MPa (estrés severo), calculados por la fórmula de Emmerich y Hardegree (1991) y corroborados con el potenciómetro (Dewpoint PotentiaMeter modelo WP4-T). Como control se utilizó agua destilada con un valor despreciable de presión osmótica (sin estrés, 0 MPa). Las cajas se incubaron en una cámara de germinación (Lumistell, modelo IES-OS, serie 1408-88-01) en condiciones controladas de temperatura ( $25\pm 1^\circ$  C), humedad (80 %) y con luz (12 horas continuas) durante catorce días. A los catorce días se seleccionaron al azar 10 plántulas por repetición, a las cuales se les midió longitud de radícula y de parte aérea, biomasa fresca y seca de radícula y de parte aérea.

### **5.1.1.1 Variables evaluadas en germinación**

#### **5.1.1.1.1 Porcentaje y tasa de germinación**

La germinación se registró diariamente y el porcentaje final se determinó a los 9 días. La tasa de germinación se calculó utilizando la ecuación de Maguire (1962):  $M = n_1/t_1 + n_2/t_2 + \dots + n_{30}/t_9$ ; donde  $n_1, n_2, \dots, n_{30}$  son el número de semillas germinadas en los tiempos  $t_1, t_2, \dots, t_9$  (en días).-----(1)

#### **5.1.1.1.2 Variables morfométricas**

Estas variables se determinaron al dividir cada plántula en parte aérea (tallos+ hojas) y radícula; se pesó cada una por separado, utilizando una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 70°C durante 72 horas hasta obtener su deshidratación completa y pesar nuevamente para determinar la materia vegetal seca.

### **5.1.2 Etapa de emergencia**

El experimento se realizó en una estructura de malla sombra del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. Se utilizaron las mismas veinte variedades de albahaca utilizadas en la etapa de germinación. Previamente se realizó una prueba de germinación de la semilla de todas las variedades, utilizando la metodología propuesta por ISTA (1999). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial considerando las variedades como factor A y los tratamientos de estrés hídrico como factor B, con tres repeticiones de 60 semillas cada una. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían Sogemix PM (sustrato comercial) como sustrato. Los tratamientos aplicados consistieron en mantener el potencial hídrico del sustrato a -0.75 MPa ( $T_2$ ); -1.50 MPa ( $T_3$ ) y un control ( $T_1$ ) a

capacidad de campo (CC), mismos que se determinaron mediante la curva de la pérdida de humedad del sustrato empleado. A los catorce días se seleccionaron al azar 10 plántulas por repetición, a las cuales se les midió longitud de radícula, de parte aérea, biomasa fresca y seca de radícula y de parte aérea.

### **5.1.2.1 Variables evaluadas en emergencia**

#### **5.1.2.1.1 Porcentaje y tasa de emergencia**

La emergencia se registró diariamente y el porcentaje final se determinó a los 12 días. La tasa de emergencia se calculó utilizando la ecuación de Maguire (1962) ampliándose  $n_{60}$  y  $t_{12}$ .

#### **5.1.2.1.2 Variables morfométricas**

Estas variables se determinaron al dividir cada plántula en parte aérea (tallos+ hojas) y radícula; se pesó cada una por separado, utilizando una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 70°C durante 72 horas hasta obtener su deshidratación completa y pesar nuevamente para determinar la materia vegetal seca.

### **5.1.3 Etapa de desarrollo vegetativo**

Se utilizaron las mismas variedades de albahaca que en los experimentos precedentes (germinación y emergencia). Esta etapa se realizó en condiciones de malla sombra, en una estructura que se ubica en el campo experimental del CIBNOR. Para ello, las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían Sogemix PM (sustrato comercial) como sustrato.

El riego aplicado a las charolas se realizó diariamente con el fin de lograr una emergencia homogénea de las plantas. El trasplante se realizó cuando las plantas presentaron una altura promedio de 15 cm en macetas de aproximadamente 1 kg, mismas que contenían como sustrato Sogemix PM.

En cada maceta se colocó una planta con el fin de asegurar el éxito del trasplante. Una vez trasplantadas, se inició con la aplicación diaria del riego, utilizando para ello agua potable, la cual contenía una solución nutritiva (Tabla 1) que fue preparada para albahaca según Samperio (1997). Transcurrida una semana del trasplante, cuando ya se encontraban plenamente establecidas, se inició con la aplicación de los tratamientos de estrés hídrico. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial con seis repeticiones, considerando a las variedades de albahaca como el factor A y como factor B, los niveles de humedad donde se empleo riego a capacidad de campo y tratamiento de déficit hídrico; este último consistió en no regar las plantas hasta que presentaron síntomas de estrés hídrico (pérdida de turgencia de las hojas mantenida desde la mañana) sin llegar al punto de marchitamiento permanente.

Tabla 1. Solución nutritiva utilizada en el experimento de desarrollo vegetativo de plantas de albahaca (Samperio, 1997).

Sustancias	Cantidad (g L <sup>-1</sup> de agua destilada)
Nitrato de Potasio	53.33
Nitrato de Amonio	10.2
Fosfato Mono amónico	14.8
Nitrato de Calcio	60.2
Sulfato de Magnesio	42
Sulfato Ferroso	2
Sulfato de Manganeso	0.5
Sulfato de Zinc	0.1
Sulfato de Cobre	0.1
Ácido Bórico	0.1

### **5.1.3.1 Variables evaluadas**

#### **5.1.3.1.1 Potencial hídrico de las hojas y del sustrato**

Se midió el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) del sustrato tomando muestras próximas al sistema radical de la planta, las cuales se depositaron en pequeñas placas y se sellaron con papel parafina para que no se perdiera humedad. El potencial hídrico de las hojas se midió tomando muestras (hojas) en cada repetición y el valor se determinó con un potenciómetro (Dewpoint PotentiaMeter modelo WP4-T) previamente calibrado. Estas mediciones se realizaron para los tratamientos aplicados cuando la planta mostró síntomas del déficit hídrico (pérdida de turgencia de las hojas desde la mañana) sin llegar al punto de marchitamiento permanente. Cuando transcurrieron 60 días de haber iniciado la aplicación de los tratamientos, se efectuaron las mediciones siguientes en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR.

#### **5.1.3.1.2 Longitud del tallo**

Consistió en medirlo desde la base del tallo hasta la parte apical, utilizando para ello una regla convencional metálica, graduada en milímetros, expresando esta variable en centímetros.

#### **5.1.3.1.3 Longitud de masa de raíces**

Después de separar las plántulas por órganos (raíz, tallo y hojas), las raíces se lavaron con agua potable y posteriormente con agua destilada. Una vez que se eliminó el exceso de agua, se colocaron en papel estroza, se midió la longitud de masa de raíces, utilizando para ello una regla graduada. Las medidas se tomaron desde la base del tallo donde inician los pelos radicales hasta donde termina la raíz principal, expresando la longitud en centímetros.

#### **5.1.3.1.4 Área foliar**

Después de separar las hojas de los tallos, se determinó el área foliar utilizando un medidor de área foliar (LI-COR, modelo-LI-3100C), expresando los datos de esta variable en centímetros cuadrados.

#### **5.1.3.1.5 Potencial hídrico de la planta**

Se determinó tomando muestras de las mismas y depositándolas en charolas de plástico que fueron selladas con papel parafina para evitar la pérdida de humedad hasta que fueran introducidas en la cámara de lectura del potenciómetro (Dewpoint PotentiaMeter modelo WP4-T) previamente calibrado.

#### **5.1.3.1.6 Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hoja**

Estas variables se determinaron al dividir cada plántula en raíz, tallo y hoja y pesar cada una por separado, mismos que se expresaron en gramos de materia vegetal fresca, utilizando para ello una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Una vez que se obtuvo el peso fresco de raíces, tallos y hojas, éstas se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 70°C durante 72 horas hasta obtener su deshidratación completa. Posteriormente se pesaron en balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204), expresando el peso en gramos de materia vegetal seca.

#### **5.1.4 Cálculo del índice de tolerancia en las diferentes etapas**

Para seleccionar las variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en cada una de las etapas, germinación, emergencia y desarrollo vegetativo, se realizó a

partir de los indicadores morfométricos evaluados en cada una de las etapas, siguiendo la fórmula propuesta por Udovenko (1976):

$$\text{ITR (\%)} = 100 \left( \frac{\text{ITS}}{\text{ITC}} \right) \text{-----} (2)$$

ITR: *Índice de tolerancia (%)*.

ITS: *Media de los indicadores en condiciones de estrés*.

ITC: *Media de los indicadores en condiciones de no estrés*.

### **5.1.5 Análisis estadístico**

Para cada una de las etapas de germinación, emergencia y desarrollo vegetativo se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Scheffe,  $p=0.05$ ). Los datos de porcentaje de germinación y emergencia se transformaron mediante arcoseno (Little y Hills, 1989; Steel y Torrie, 1995). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico Statistica, v. 10.

## **5.2 Aplicación del producto bioactivo compuesto por oligogalacturonidos con grado de polimerización entre 9-16 (Pectimorf) en germinación, emergencia y desarrollo vegetativo**

### **5.2.1 Etapa de germinación**

El experimento se realizó en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México, con las variedades seleccionadas como tolerantes y sensibles al déficit hídrico en la etapa experimental precedente. Las semillas previamente se desinfectaron mediante la inmersión por 5 min en una solución de hipoclorito de calcio, conteniendo 5% de cloro activo y posteriormente se lavaron con agua destilada esterilizada. Luego se realizó la inmersión del 50% de las semillas que se emplearon por un periodo de 30 min en una solución previamente preparada del bioestimulante (Pectimorf) con una concentración de 10 mg L<sup>-1</sup>, el otro 50% de las semillas no recibió el

tratamiento con Pectimorf para servir como control, después se colocaron en cajas de Petri (150 x 15 mm) esterilizadas previamente en autoclave, cubiertas del fondo con una capa de papel y se humedecieron mediante el método de Michel y Kauffman (1973). Los tratamientos de sequía se simularon con soluciones de Polyetileneglycol P.M. 8000 con potencial hídrico de -0.75 MPa (estrés moderado) y -1.5 MPa (estrés severo) calculados por la fórmula de Emmerich y Hardegree (1991) y corroborados en el potenciómetro (Dewpoint PotentialMeter modelo WP4-T). Como control se empleo agua destilada con un valor despreciable de presión osmótica (sin estrés, 0 MPa). Las cajas se incubaron en una cámara de germinación (Lumistell, modelo IES-OS, serie 1408-88-01) en condiciones controladas de temperatura ( $25\pm 1^\circ$  C) y humedad (80 %) y luz (12 horas continuas) durante 14 días. El diseño experimental que se utilizó en el experimento fue un completamente al azar con arreglo trifactorial de 2 x 2 x 3, donde el factor A fueron las variedades, el factor B las soluciones de Pectimorf y el factor C niveles de  $\Psi_w$ , con cuatro repeticiones de 30 semillas cada una.

### ***5.2.1.1 Variables evaluadas en la etapa de germinación***

#### ***5.2.1.1.1 Porcentaje y tasa de germinación***

Las semillas se consideraron germinadas cuando la radícula presento alrededor de 2 mm de longitud. El porcentaje de semillas germinadas se registró diariamente hasta que no se observo más germinación. La tasa de germinación se calculo usando la ecuación de Maguire (1962). Se evaluó como plántulas normales y germinadas todas aquellas semillas que presentaron buen desarrollo de sus estructuras esenciales (plúmula y radícula). Las plantas anormales se consideraron aquellas que presentaron anomalías y defectos en su desarrollo y se contabilizaron las semillas muertas que no germinaron.

#### **5.2.1.1.2 Variables morfométricas**

A los catorce días se seleccionaron al azar 10 plántulas por repetición, a las cuales se les midió longitud de radícula y altura de la planta con ayuda de una regla graduada y ambas variables se expresaron en centímetros.

La biomasa fresca y seca de la parte aérea (tallos + hojas) y raíz se determinaron al dividir cada plántula en raíz y parte aérea (tallos + hojas) pesando cada una por separado, mismos que se expresaron en gramos de biomasa fresca, utilizando para ello una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Una vez que se obtuvo el peso fresco de raíces y parte aérea, éstas se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 70°C durante 72 horas hasta obtener su deshidratación completa. Posteriormente se pesaron en balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204), expresando el peso en miligramos de biomasa seca.

#### **5.2.1.2 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron usando los procedimientos de anova en Statistica v. 10.0. Las diferencias entre las medias de tratamientos se compararon con la prueba de rango múltiple de Tukey  $p=0.05$  de nivel de confianza. La tasa de germinación, la cual es la suma del promedio de semillas germinadas por día, no se transformó antes del análisis de varianza; sin embargo, el porcentaje final de germinación fue transformado usando la transformación de arcoseno de acuerdo con Sokal y Rohlf (1994).

#### **5.2.2 Etapa de emergencia**

El experimento se realizó en una estructura de malla sombra del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. Se utilizaron las variedades de albahaca que se seleccionaron en la etapa de screening como variedades

tolerantes y sensibles al estrés hídrico. Las semillas se desinfectaron mediante la inmersión por 5 min en una solución de hipoclorito de calcio, conteniendo 5% de cloro activo; luego se realizó la inmersión del 50% de las semillas que se emplearon por un periodo de 30 min en una solución previamente preparada del producto bioactivo (Pectimorf) con una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , el otro 50% de las semillas no recibieron el tratamiento con Pectimorf (control), posteriormente se sembraron en bandejas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían Sogemix PM (sustrato comercial). Los tratamientos de estrés hídrico consistieron en mantener el control de la humedad de forma que el  $\Psi_w$  del sustrato sea igual a  $-0.75 \text{ MPa}$  ( $T_2$ ),  $-1.50 \text{ MPa}$  ( $T_3$ ) y un control  $0 \text{ MPa}$  ( $T_1$ ) a capacidad de campo (CC), lo que fue posible debido a que se determinó la curva de la pérdida de humedad del sustrato empleado. El diseño experimental que se empleó fue un completamente al azar con arreglo trifactorial de  $2 \times 2 \times 3$ , donde el factor A fueron las variedades, el factor B las concentraciones de Pectimorf y el factor C los niveles de humedad del sustrato. Se utilizaron cuatro repeticiones de 60 semillas cada una.

### ***5.2.2.1 Variables evaluadas en la etapa de emergencia***

#### ***5.2.2.1.1 Porcentaje y tasa de emergencia***

Las semillas fueron consideradas emergidas cuando la plántula brotó a través de la superficie del sustrato. El porcentaje de semillas emergidas se registró diariamente y el porcentaje de emergencia total a los 14 días (ISTA, 1999); la tasa de emergencia se calculó de acuerdo a la ecuación de Maguire (1962).

#### ***5.2.2.1.2 Variables morfométricas***

A los catorce días se seleccionaron al azar 10 plántulas por repetición, a las cuales se les midió longitud de radícula y de parte aérea, biomasa fresca y seca

de radícula y de parte aérea. La biomasa fresca y seca de la parte aérea (tallos + hojas) y radícula de la plántula se determinó al dividir cada plántula en parte aérea y radícula y pesar cada una por separado, se utilizó para ello balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Una vez que se obtuvo el peso fresco de raíces y parte aérea, éstas se colocaron en bolsas de papel y se ubicaron en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 70°C durante 72 horas hasta obtener su deshidratación completa. Posteriormente se pesaron en balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204), expresando el peso en miligramos de materia vegetal seca.

#### **5.2.2.2 Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados usando el procedimiento de anova en Statistica v. 10.0. Las diferencias entre las medias de tratamientos fueron comparadas con la prueba de rango múltiple de Tukey  $p=0.05$  de nivel de confianza. La tasa de emergencia, la cual es la suma del promedio de semillas emergidas por día, no se transformó antes del análisis de varianza; sin embargo, el porcentaje final de emergencia fue transformado usando la transformación de arcoseno de acuerdo con Sokal y Rohlf (1994).

#### **5.2.3 Etapa de desarrollo vegetativo**

El experimento se realizó en una estructura de malla sombra del CIBNOR. Se emplearon las variedades de albahaca tolerante y sensible al estrés hídrico que se determinaron en la etapa de selección (crecimiento vegetativo). Para ello, las semillas se sembraron en bandejas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían Sogemix PM (sustrato comercial) como sustrato. El riego se realizó diariamente con el fin de lograr una emergencia homogénea de las plantas. El trasplante se realizó cuando las plantas presentaron una altura promedio de 15 cm, en macetas de aproximadamente 1 kg, mismas que contenían el sustrato

comercial Sogemix PM. En cada maceta se colocó una planta con el fin de asegurar el éxito del trasplante. Una vez que se trasplantaron, se regaron diariamente, utilizando para ello agua potable, la cual contenía una solución nutritiva (Tabla 1) para albahaca según Samperio (1997) con previa preparación. Después de una semana del trasplante, se inició con la de aplicación de los tratamientos (estrés hídrico). El diseño experimental que se utilizó en este experimento con las variedades tolerantes y sensibles seleccionadas, fue un completamente al azar con arreglo trifactorial de  $2 \times 2 \times 2$ , donde el factor A fueron las variedades (tolerante y sensible), el factor B las concentraciones de Pectimorf de 0 y  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , que se aplicaron en el momento del trasplante, con la inmersión de las plántulas por un tiempo de 30 min y el factor C niveles de humedad donde se empleó riego a capacidad de campo y tratamiento de déficit hídrico; este último consistió en no regar las plantas hasta que presentaran síntomas de estrés hídrico (pérdida de turgencia de las hojas desde la mañana) sin llegar al punto de marchitamiento permanente. Se utilizaron seis repeticiones por tratamiento.

### ***5.2.3.1 Variables a evaluadas en la etapa de desarrollo vegetativo***

#### ***5.2.3.1.1 Fisiológicas***

Estas se determinaron por medio del medidor de fotosíntesis ADC BioScientific-Ltd modelo LCI. Las variables registradas fueron, tasa de fotosíntesis ( $A$ ), transpiración ( $E$ ), conductividad estomática ( $G_s$ ),  $\text{CO}_2$  sub-estomatal ( $C_i$ ), temperatura de la superficie de la hoja ( $T_{\text{-leaf}}$ ) y radiación fotosintéticamente activa ( $Q_{\text{-leaf}}$ ). Las mediciones se realizaron en hojas completamente expandidas, en tres muestreos diurnos espaciados en la mañana (7:00 am), al mediodía (12:00) y al atardecer (5:00 pm) por un periodo de una semana. El uso eficiente de agua se calculó dividiendo los valores de fotosíntesis y transpiración.

### **5.2.3.1.2 Relaciones hídricas**

#### **5.2.3.1.2.1 Potencial hídrico**

Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ): se evaluó cada vez que las plantas mostraron pérdida de turgencia mantenida desde la mañana sin llegar al punto de marchitez permanente, en muestreos diurnos considerando la hora crítica del día (donde se presentó el rango de temperaturas más altas).

#### **5.2.3.1.2.2 Contenido relativo de agua**

El contenido relativo de agua (CRA) se midió usando el método de Yamasaki y Dillenburg (1999). Las hojas se colectaron de la sección media de la planta con el fin de minimizar el efecto de la edad en la variabilidad de los resultados. Hojas individuales fueron removidas y posteriormente pesadas para obtener el peso fresco (FM). Con el fin de determinar el peso turgente (TM), las hojas completas fueron puestas en agua destilada dentro de una caja Petri cerrada. Durante el proceso de imbibición, las hojas fueron pesadas periódicamente, después de eliminar el agua de la superficie de la hoja con papel. Al final del periodo de imbibición, las muestras de hojas se colocaron en un horno a 80°C por 48 h, con el fin de obtener el peso seco (DM). Todos los pesos del material vegetal fueron obtenidos utilizando una balanza analítica con precisión de 0.0001 g. Los valores de FM, TM y DM fueron utilizados para calcular el CRA usando la ecuación siguiente:  $CRA (\%) = [(FM-DM)/(TM-DM)] \times 100$ ------(3)

#### **5.2.3.1.3 Determinación de pigmentos fotosintéticos**

Una planta por repetición fue utilizada para determinación de clorofila a, b y total a los 58 y 65 días después de la emergencia. Antes de la extracción, las muestras de hojas frescas se limpiaron con agua desionizada para remover cualquier contaminación de la superficie de las mismas. La extracción de clorofila se realizó

en hojas completamente expandidas, utilizando 1 g de material fresco, el cual fue molido en acetona al 90% usando un mortero. La absorbancia fue medida con un espectrofotómetro con UV/Visible spectrophotometer (Pye Unicam SP6-550, UK) y las concentraciones de clorofila se calcularon usando la ecuación propuesta por Strain and Svec (1966)

$$\text{Chl a (mg ml}^{-1}\text{)} = 11.64 \times (A663) - 2.16 \times (A645) \text{-----(4)}$$

$$\text{Chl b (mg ml}^{-1}\text{)} = 20.97 \times (A645) - 3.94 \times (A663) \text{-----(5)}$$

(A663) y (A645) representan los valores de la absorbancia leídos a 663 y 645 nm de longitud de onda, respectivamente. Adicionalmente se midió la clorofila total de manera indirecta, utilizando un instrumento portátil denominado SPAD-502, que se realizó con el fin de obtener un modelo de predicción de los valores de clorofila total.

### **5.2.3.1.4 Variables bioquímicas**

#### **5.2.3.1.4.1 Contenido de proteína**

Para determinar las proteínas de las muestras de tejidos se utilizó el método de Bardford (1976) el cual se basa en la reacción de los grupos amino libres con el azul cromassie en presencia de ácido fosfórico y metanol. El complejo formado por la proteína y el colorante provoca un desplazamiento en la absorción máxima del colorante desde 465 a 595 nm. La absorción es proporcional a la concentración de proteína (albúmina en suero bovino) de manera lineal desde 1µg a 140µg usando una solución reactiva comercial (BioRad #500-0006). Una alícuota de 10µL de homogeneizado de tejidos se puso a digerir en 100µL de NaOH 0.1N durante 120 minutos, posteriormente se tomaron 10 µL del digerido en un tubo de vidrio limpio y se agregó un mililitro de reactivo de Bradford, se dejó la reacción 5 min y se procedió a tomar las lecturas al espectrofotómetro (Spectronic Genesys II) a 595

nm. Se utilizó una solución estándar con una concentración de 5mg/mL de albúmina bovina, la cual se diluyó en proporción 1:2 en agua destilada hasta tener concentraciones, de 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625 y 0.078125 mg/mL de proteína y agua destilada como blanco. La concentración de proteínas se calculó: concentración de proteínas (mg/g) = (Abs.Sol.Prob. x FD) / (m x peso de la muestra), donde: FD es el factor de dilución y *m* es la pendiente en la curva tipo.

#### **5.2.3.1.4.2 Determinación de prolina**

La prolina se determinó acorde al método descrito por Bates *et al.* (1973). La cuantificación de prolina se efectuó mediante el método de ninhidrina. Se tomaron muestras de 0.2 g de tejido y se homogenizaron en 5 mL de ácido sulfosalicílico al 3%. Posteriormente se centrifugó a 5,000 rpm durante 5 min. De cada muestra homogenizada y centrifugada, se tomaron 0.5 mL del sobrenadante y se le agregó 0.5 mL de reactivo de ninhidrina (1.25g ninhidrina + 30 mL ácido acético + 20 mL ácido fosfórico 6M) se calentaron en baño maría a ebullición durante 1 h. Enseguida se enfrió al chorro de agua y se agregó 1 mL de tolueno y se mezcló con vórtex. Se separó la fase de tolueno midiéndose la absorbancia a 520 nm utilizando como blanco tolueno.

#### **5.2.3.1.4.3 Determinación de carbohidratos reductores foliares por el método fenol-sulfúrico**

Extracción de los carbohidratos reductores en material vegetal: una masa exacta del material vegetal de 2 g se maceró en mortero de porcelana hasta la máxima división del material. Una masa igual de material vegetal se determinó en la balanza analítica para ponerla a secar a 60 °C durante 72 h (masa seca). Posteriormente se adicionó 200 mL de agua destilada y se pasó el material a un beaker de 250 mL y se calentó hasta ebullición 20 min. Luego se dejó enfriar a

temperatura ambiente y después se filtró al vacío, recogiendo el filtrado en un Erlenmeyer. Luego se clarificó el filtrado con 0.5 g de carbón activado calentando en una placa de calentamiento y agitándolo periódicamente hasta que se eliminó cualquier coloración verde. Después se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró nuevamente a vacío, colectando el filtrado en una probeta para medir el volumen final ( $V_f$ ) del extracto a evaluar.

Preparación de la curva patrón de glucosa: se utilizaron 7 tubos de ensayo, rotulándolos con los número del 1 al 7. En el tubo 1 se añadió 1 mL de agua destilada y en los restantes 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 mL de la disolución patrón de glucosa que previamente se diluyó 10 veces para que su concentración sea de 100  $\mu\text{g/mL}$ . En los tubos del 2 al 7 se añadió agua destilada hasta completar 1 mL. En todos los tubos se añadió 1 mL (medido con bureta) de la disolución de fenol al 5 % y se agitó. Se adicionaron a todos los tubos 5 mL de ácido sulfúrico concentrado (medido con bureta), dejándolo caer suavemente, deslizándolo por las paredes del tubo y agitándolo inmediatamente. Luego se dejaron los tubos en reposo durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente se procedió a leer la absorbancia a 480 nm en un espectrofotómetro utilizando el tubo 1 como "blanco". Luego se procedió a construir la curva de calibración Absorbancia vs concentración de glucosa y se determinó el valor de la cotangente (cot) de la línea recta de mejor ajuste que pase por el origen.

Determinación del contenido de glucosa en la muestra: se pipeteó 0.05 mL del extracto a evaluar obtenido en un tubo de ensayo, luego se completó hasta 1 mL con agua destilada y se adicionó la disolución de fenol y el ácido sulfúrico de la misma manera que se hizo con los patrones de glucosa y el resto del procedimiento realizado con ellos. Seguidamente se procedió a anotar la absorbancia registrada en la muestra ( $A_m$ ).

Cálculo del contenido de carbohidratos reductores:

$\mu\text{g carbohidratos reductores /kg masa seca} = V_f * A_m * \text{cot} * 1000 / 0.05 * \text{masa seca}$ .

### **5.2.3.1.5 Variables morfométricas**

Las variables que se describen a continuación, se midieron después que las plantas se cosecharon al cumplirse el período de 45 días de aplicación de los tratamientos de estrés hídrico. Las plantas se llevaron al laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR donde se procedió a separar la raíz, tallo y hojas.

#### **5.2.3.1.5.1 Longitud de tallo**

Consistió en medirlo desde la base del tallo hasta la parte apical, utilizando para ello una regla convencional metálica, graduada en milímetros, expresando esta variable en centímetros.

#### **5.2.3.1.5.2 Longitud de raíces**

Después de separar las plantas por órganos (raíz, tallo y hojas), las raíces se lavaron con agua potable y posteriormente con agua destilada. Una vez que se eliminó el exceso de agua, se colocaron en papel estroza y después de esto, se midió la longitud de masa de raíces, utilizando para ello una regla graduada. Las medidas se tomaron desde la base del tallo donde inician los pelos radicales hasta donde termina la raíz principal, expresando la longitud en centímetros.

#### **5.2.3.1.5.3 Biomasa fresca y seca de raíz, tallo y hoja**

Esta variable se determinó al dividir cada planta en raíz, tallo y hoja y pesar cada una por separado, utilizando para ello una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Posteriormente se sumaron los pesos correspondientes a cada variable, mismos que fueron expresados en gramos de materia vegetal fresca. Una vez que se obtuvo el peso fresco de raíces, tallos y hojas, éstas se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 80°C durante 72 horas hasta obtener su deshidratación completa. Posteriormente se pesaron en balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204), expresando el peso en gramos de materia vegetal seca.

#### **5.2.3.1.5.4 Área foliar**

Se determinó después de separar las hojas de los tallos, utilizando un integrador de área foliar (LI-COR, modelo-LI-3000A, serie PAM 1701), expresando los datos de esta variable en centímetros cuadrados.

#### **5.2.3.2 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron usando el procedimiento de anova univariado, multivariado, análisis de regresión y correlación en Statistica v. 10.0 (StatSoft. 2011). Las diferencias entre las medias de tratamientos fueron comparadas con la prueba de rango múltiple de Tukey  $p=0.05$  de nivel de confianza. Cuando fue apropiado o el tipo de datos lo requirió, se realizaron las transformaciones correspondientes. Por ejemplo, el CRA, debido a que sus valores se miden en porcentaje, fueron sujetos de una transformación del tipo de arcoseno de acuerdo con lo propuesto por Sokal y Rohlf (1994).

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Etapa de germinación

#### 6.1.1 Tasa y porcentaje de germinación

Se presentaron diferencias significativas entre variedades para tasa ( $F_{19,180}= 199.8$ ,  $p\leq 0.001$ ), porcentaje de germinación ( $F_{19,180}= 47.5$ ,  $p\leq 0.001$ ) y la interacción variedades\*potenciales hídricos, para tasa ( $F_{38, 180}=127.85$ ;  $p\leq 0.001$ ) y porcentaje de germinación ( $F_{38, 180}=16.60$ ;  $p\leq 0.001$ ) mostrando una respuesta diferencial entre estos (Tabla 2).

Las semillas tratadas con agua destilada mantuvieron porcentajes altos de germinación y conforme se incrementó la concentración de PEG-8000 con  $\Psi_w = -0.75$  MPa, se redujo el porcentaje de germinación, pero variedades como *Sweet Dani*, *Thai*, *Dark Opal*, *Spicy Glove* y *Dolly* mantuvieron valores superiores al 85%. Las variedades *Sweet Genovese*, *Genovese*, *Genovese Italian*, *Dolce Vita* y *Napoletano* lograron valores entre 40 y 65%, expresando susceptibilidad al déficit hídrico, que se demostró cuando  $\Psi_w = -1.50$  MPa donde no lograron germinar. En esta condición alcanzaron los porcentajes de germinación más altos *Italian Large Leaf*, así como las variedades *Dark Opal*, *Spicy Glove* y *Dolly*. La tasa de germinación se afectó en todos los genotipos con el incremento de la concentración de PEG-8000 ya que esto provoca  $\Psi_w$  más negativos impidiendo la hidratación del embrión.

El porcentaje de germinación mostró diferencias significativas entre los diferentes potenciales hídricos ( $F_{2, 180}=2485.5$ ;  $p\leq 0.001$ ), observándose que disminuyó conforme el potencial hídrico fue más negativo a consecuencia de la solución de PEG-8000, lo que demuestra que este carácter es altamente dependiente de las condiciones estresantes, por lo que se ubica entre los factores a considerar para la selección de variedades tolerantes (Figura 1A).

Tabla 2. Tasa y porcentaje de germinación de variedades de albahaca en diferentes potenciales hídricos simulados con PEG-8000.

Variedades	Germinación (%)			Tasa de germinación		
	$\Psi_w$ (0MPa)	$\Psi_w$ (-0.75MPa)	$\Psi_w$ (-1.50MPa)	$\Psi_w$ (0MPa)	$\Psi_w$ (-0.75MPa)	$\Psi_w$ (-1.50MPa)
<i>Lemon</i>	100 <sup>a</sup>	72.50 <sup>abcde</sup>	43.33 <sup>ij</sup>	10.9 <sup>fghi</sup>	4.3 <sup>klm</sup>	1.8 <sup>lmnño</sup>
<i>Sweet Dani</i>	100 <sup>a</sup>	92.50 <sup>abc</sup>	37.50 <sup>jk</sup>	11.3 <sup>efghi</sup>	5.2 <sup>j</sup>	1.8 <sup>lmnño</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	96.66 <sup>ab</sup>	40.00 <sup>ijk</sup>	0.0 <sup>l</sup>	8.7 <sup>i</sup>	1.7 <sup>mñño</sup>	0.0 <sup>o</sup>
<i>Siam Queen.</i>	100 <sup>a</sup>	56.66 <sup>defghi</sup>	5.83 <sup>kl</sup>	8.4 <sup>i</sup>	3.1 <sup>klmñño</sup>	0.2 <sup>nño</sup>
<i>Red Rubin</i>	100 <sup>a</sup>	72.50 <sup>abcde</sup>	43.33 <sup>ij</sup>	9.7 <sup>fghi</sup>	3.3 <sup>klmn</sup>	1.8 <sup>klmñño</sup>
<i>Thai</i>	100 <sup>a</sup>	89.16 <sup>abcde</sup>	41.66 <sup>ij</sup>	10.0 <sup>fghi</sup>	5.0 <sup>kl</sup>	2.1 <sup>klmñño</sup>
<i>Dark Opal</i>	97.5 <sup>ab</sup>	90.83 <sup>abcd</sup>	60.83 <sup>cdefghi</sup>	8.8 <sup>i</sup>	4.1 <sup>klm</sup>	2.4 <sup>klmñño</sup>
<i>Spicy Glove</i>	100 <sup>a</sup>	88.33 <sup>abcde</sup>	60.00 <sup>cdefghi</sup>	8.9 <sup>i</sup>	4.8 <sup>klm</sup>	2.7 <sup>klmñño</sup>
<i>Mrs Burns</i>	100 <sup>a</sup>	84.16 <sup>abcdef</sup>	47.50 <sup>hij</sup>	19.2 <sup>c</sup>	5.1 <sup>j</sup>	1.8 <sup>klmñño</sup>
<i>Cinnamon</i>	100 <sup>a</sup>	70.83 <sup>abcde</sup>	41.66 <sup>ij</sup>	24.4 <sup>ab</sup>	3.0 <sup>klmñño</sup>	1.7 <sup>mññ</sup>
<i>Licorice</i>	95.83 <sup>ab</sup>	74.16 <sup>abcde</sup>	40.83 <sup>ij</sup>	14.8 <sup>d</sup>	5.0 <sup>jk</sup>	1.8 <sup>klmñño</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	100 <sup>a</sup>	84.16 <sup>abcdef</sup>	41.66 <sup>ij</sup>	14.1 <sup>de</sup>	4.0 <sup>klm</sup>	1.8 <sup>klmñño</sup>
<i>Italian Large Leaf</i>	100 <sup>a</sup>	72.50 <sup>abcde</sup>	64.16 <sup>b</sup>	25.4 <sup>a</sup>	4.6 <sup>klm</sup>	3.3 <sup>klmññ</sup>
<i>Lectuce Leaf</i>	100 <sup>a</sup>	80.00 <sup>abcde</sup>	49.16 <sup>ghij</sup>	21.3 <sup>bc</sup>	4.7 <sup>klm</sup>	2.7 <sup>klmñño</sup>
<i>Emily</i>	100 <sup>a</sup>	80.00 <sup>abcde</sup>	45.83 <sup>hij</sup>	12.9 <sup>defgh</sup>	4.5 <sup>klm</sup>	2.2 <sup>klmñño</sup>
<i>Dolly</i>	100 <sup>a</sup>	85.50 <sup>abcde</sup>	65.83 <sup>cdefghi</sup>	12.8 <sup>defgh</sup>	4.7 <sup>klm</sup>	3.0 <sup>klmñño</sup>
<i>Genovese</i>	100 <sup>a</sup>	52.50 <sup>fghij</sup>	1.66 <sup>l</sup>	12.4 <sup>defgh</sup>	3.0 <sup>klmñño</sup>	0.1 <sup>ño</sup>
<i>Genovese Italian</i>	100 <sup>a</sup>	55.00 <sup>efghi</sup>	0.0 <sup>l</sup>	13.0 <sup>def</sup>	3.3 <sup>klmn</sup>	0.0 <sup>o</sup>
<i>Dolce Vita</i>	100 <sup>a</sup>	49.16 <sup>ghij</sup>	0.0 <sup>l</sup>	11.0 <sup>efghi</sup>	2.5 <sup>klmñño</sup>	0.0 <sup>o</sup>
<i>Napoletano</i>	100 <sup>a</sup>	65.83 <sup>abcde</sup>	0.0 <sup>l</sup>	9.3 <sup>hi</sup>	3.1 <sup>klmñño</sup>	0.0 <sup>o</sup>

Medias con letras distintas en columnas, difieren estadísticamente (Scheffe;  $p=0.05$ ).

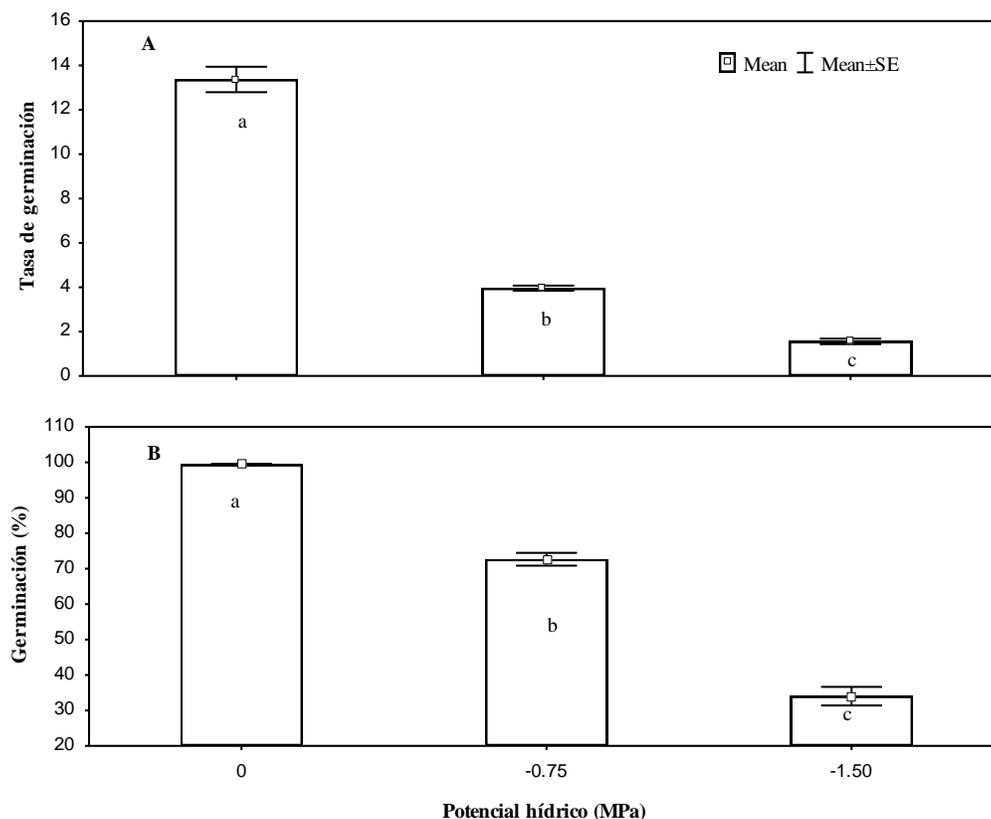


Figura 1. Efecto de los diferentes potenciales hídricos simulados con PEG-8000 en la tasa y porcentaje de germinación de variedades de albahaca. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente (Scheffe,  $p=0.05$ ).*

La tasa de germinación (Figura 1B) mostró diferencias significativas entre los diferentes niveles de potenciales hídricos ( $F_{2,180}= 2485.5$ ,  $p \leq 0.001$ ) misma que se redujo en 65% en -0.75 MPa y un 85% en -1.50 MPa. Lo anterior está determinado por la insuficiencia hídrica simulada por el PEG-8000, con potenciales hídricos negativos que le impide a las semillas mayor eficiencia en los eventos involucrados en el proceso de germinación.

### 6.1.2 Variables morfométricas

En la longitud de la radícula se encontraron diferencias significativas entre las variedades ( $F_{19, 2340}=637$ ;  $p\leq 0.001$ ) entre los diferentes niveles de potencial hídrico ( $F_{2, 2340}=7679$ ;  $p\leq 0.001$ ) y entre la interacción de variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{38, 2340}=466.2$ ;  $p\leq 0.001$ ), siendo las variedades *Lemon* y *Sweet Dani* los de mejor respuesta en  $-0.75$  MPa (Tabla 3); sin embargo, estas variedades a niveles inferiores de potencial hídrico no lograron crecimiento de raíz, lo que demuestra sensibilidad a  $\Psi_w$  más negativos. Otras variedades como *Sweet Genovese* y *Genovese* mostraron sensibilidad a partir de  $\Psi_w -0.75$  MPa con una reducción notable de esta variable.

Al analizar la altura de la planta se observó una respuesta diferencial entre variedades ( $F_{19, 2339}=350.8$ ;  $p\leq 0.001$ ), entre los diferentes potenciales hídricos ( $F_{2, 2339}=12114$ ,  $p\leq 0.001$ ) y entre la interacción de variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{38, 2339}=163.52$ ,  $p\leq 0.001$ ), observándose una mejor respuesta de la variedad *Sweet Dani* a esta variable en el control y en  $-0.75$  MPa (Tabla 3); sin embargo, su crecimiento fue nulo en  $-1.50$  MPa. Otro grupo de variedades disminuyeron la altura y toleraron un estrés de  $-1.50$  MPa (*Sweet Queen*, *Red Rubin*, *Thai*, *Dark Opal*, *Spicy Glove*, *Mrs Burns*, *Licorice*, *Purple Ruffles*, *Italian Large Leaf*, *Lectuce Leaf*, *Emily* y *Dolly*).

Los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades para la biomasa fresca de la parte aérea ( $F_{19, 180}=75.7$ ,  $p\leq 0.001$ ), raíz ( $F_{19, 180}=178.4$ ,  $p\leq 0.001$ ) así como para la interacción genotipos\*niveles de potencial hídrico para la parte aérea ( $F_{38, 180}=35.13$ ,  $p\leq 0.001$ ) y raíz ( $F_{38, 180}=31.0$ ,  $p\leq 0.001$ ). La variedad *Sweet Dani* en  $-0.75$  MPa (estrés moderado) y la variedad *Dolly* en  $-1.50$ MPa (estrés severo) las de mayor biomasa fresca en la parte aérea (Figura 2A), lo que denota tolerancia en ambos para esta variable.

Tabla 3. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la longitud de radícula y altura de plántula en la etapa de germinación

Genotipos	Longitud de radícula (cm)			Altura de plántula (cm)		
	$\Psi_w$	$\Psi_w$	$\Psi_w$	$\Psi_w$	$\Psi_w$	$\Psi_w$
	(0 MPa)	(-0.75 MPa)	(-1.50 MPa)	(0 MPa)	(-0.75 MPa)	(-1.50 MPa)
<i>Lemon</i>	4.15 <sup>c</sup>	6.53 <sup>a</sup>	0.00 <sup>s</sup>	3.14 <sup>cd</sup>	3.14 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Sweet Dani</i>	3.57 <sup>cdefgh</sup>	6.79 <sup>a</sup>	0.00 <sup>s</sup>	4.28 <sup>a</sup>	4.28 <sup>a</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Sweet</i>	2.19 <sup>mnn</sup>	1.76 <sup>nopq</sup>	0.00 <sup>s</sup>	3.06 <sup>cd</sup>	3.06 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Genovese</i>						
<i>Siam Queen</i>	2.58 <sup>ijklmn</sup>	2.28 <sup>klmnñ</sup>	1.37 <sup>opqr</sup>	3.53 <sup>bc</sup>	3.53 <sup>bc</sup>	0.80 <sup>qrstu</sup>
<i>Red Rubin</i>	2.13 <sup>nñ</sup>	2.00 <sup>nñop</sup>	1.21 <sup>qr</sup>	3.05 <sup>cd</sup>	3.05 <sup>cd</sup>	0.79 <sup>qrstu</sup>
<i>Thai</i>	2.95 <sup>hijk</sup>	2.12 <sup>nñ</sup>	0.94 <sup>r</sup>	3.71 <sup>b</sup>	3.71 <sup>b</sup>	0.69 <sup>rstu</sup>
<i>Dark Opal</i>	2.06 <sup>nño</sup>	1.83 <sup>nopq</sup>	0.91 <sup>r</sup>	2.98 <sup>de</sup>	2.98 <sup>de</sup>	0.57 <sup>tu</sup>
<i>Spicy Glove</i>	2.04 <sup>nnop</sup>	1.02 <sup>r</sup>	0.90 <sup>r</sup>	2.49 <sup>efg</sup>	2.49 <sup>efg</sup>	0.48 <sup>uv</sup>
<i>Mrs Burns</i>	5.20 <sup>b</sup>	5.79 <sup>b</sup>	2.06 <sup>hno</sup>	2.68 <sup>def</sup>	2.68 <sup>def</sup>	0.83 <sup>qrstu</sup>
<i>Cinnamon</i>	3.58 <sup>cdefgh</sup>	2.11 <sup>nñ</sup>	0.00 <sup>s</sup>	2.03 <sup>ghij</sup>	2.03 <sup>ghij</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Licorice</i>	3.87 <sup>cde</sup>	2.28 <sup>klmnñ</sup>	2.27 <sup>klmnñ</sup>	2.30 <sup>fgh</sup>	2.30 <sup>fgh</sup>	0.80 <sup>qrstu</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	2.24 <sup>lmnñ</sup>	3.08 <sup>ghij</sup>	2.06 <sup>nño</sup>	1.51 <sup>klmn</sup>	1.51 <sup>klmn</sup>	0.81 <sup>qrstu</sup>
<i>Italian Large</i>	3.78 <sup>cdefg</sup>	2.59 <sup>ijklmn</sup>	2.00 <sup>nñop</sup>	2.21 <sup>fghi</sup>	2.21 <sup>fghi</sup>	0.79 <sup>qrstu</sup>
<i>Leaf</i>						
<i>Lectuce Leaf</i>	4.06 <sup>cd</sup>	2.29 <sup>klmnñ</sup>	2.87 <sup>ijklm</sup>	2.11 <sup>ghi</sup>	2.11 <sup>ghi</sup>	0.84 <sup>qrstu</sup>
<i>Emily</i>	3.00 <sup>hij</sup>	2.06 <sup>nño</sup>	3.50 <sup>cdefghi</sup>	1.73 <sup>ijkl</sup>	1.73 <sup>ijkl</sup>	0.77 <sup>qrstu</sup>
<i>Dolly</i>	3.21 <sup>etghij</sup>	2.92 <sup>hijkl</sup>	3.71 <sup>cdefgh</sup>	1.46 <sup>klmnñ</sup>	1.46 <sup>klmnñ</sup>	0.84 <sup>qrstu</sup>
<i>Genovese</i>	3.39 <sup>defghi</sup>	1.34 <sup>pqr</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.35 <sup>lmnño</sup>	1.35 <sup>lmnño</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Genovese</i>	3.15 <sup>fghij</sup>	3.57 <sup>cdefgh</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.43 <sup>klmnño</sup>	1.43 <sup>klmnño</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Italian</i>						
<i>Dolce Vita</i>	3.44 <sup>defghi</sup>	3.84 <sup>cdef</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.37 <sup>lmnno</sup>	1.37 <sup>lmnno</sup>	0.00 <sup>v</sup>
<i>Napoletano</i>	2.90 <sup>hijkl</sup>	3.52 <sup>cdefghi</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.41 <sup>klmnño</sup>	1.41 <sup>klmnño</sup>	0.00 <sup>v</sup>

Medias con letras distintas en columnas difieren según prueba de Shefee ( $p=0.05$ ).

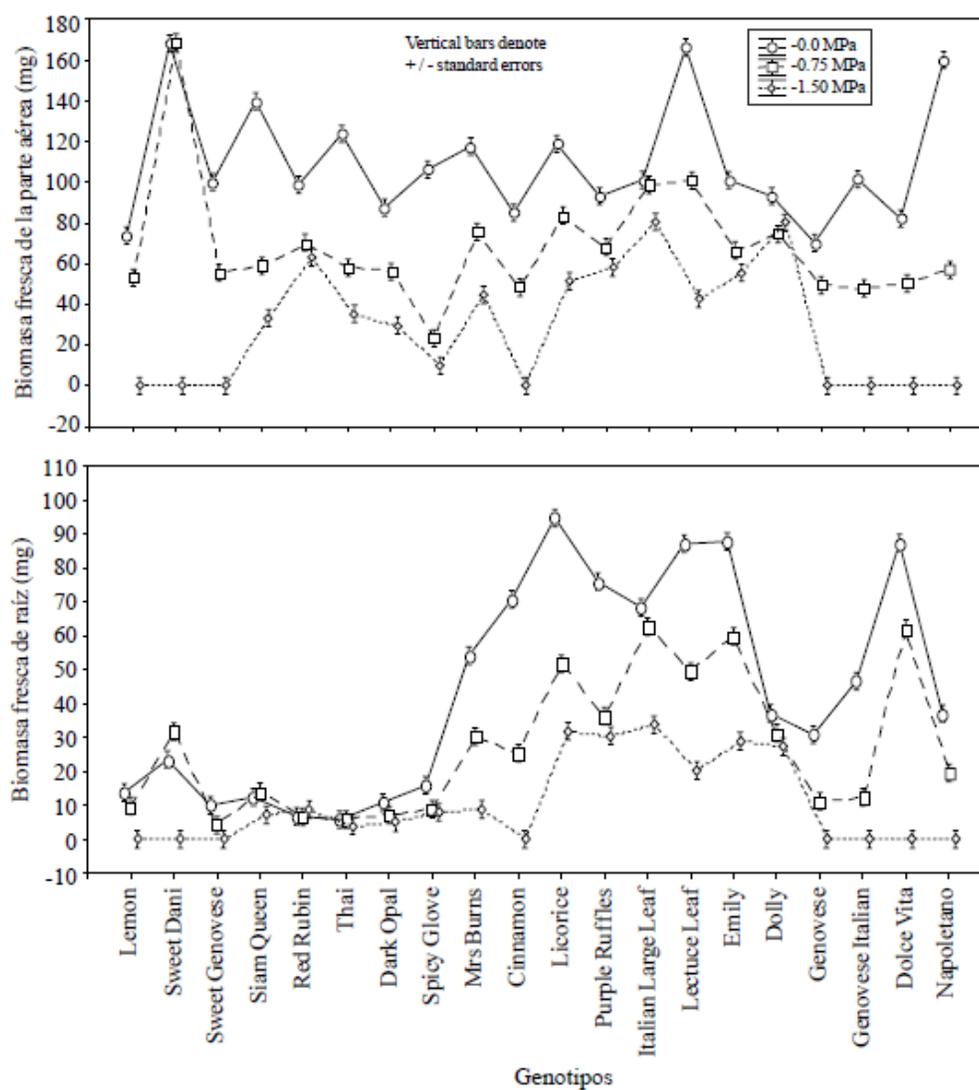


Figura 2. Respuesta de las variedades de albahaca a los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa fresca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.

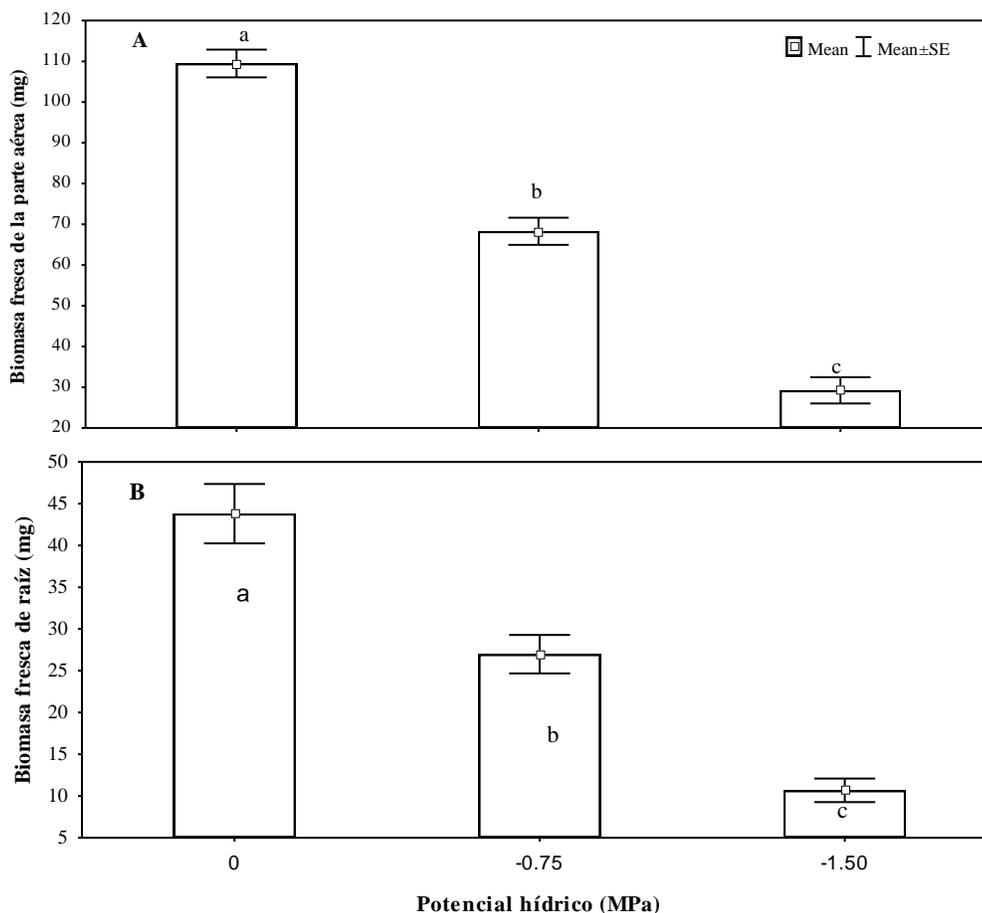


Figura 3. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa fresca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación. Medias con letras distintas difieren según prueba de Shefee ( $p=0.05$ )

Para biomasa fresca de raíz, las variedades *Sweet Dani* en -0.75 MPa y *Red Rubin* en -1.50 MPa (Figura 2B) alcanzaron los valores mayores. Se observó que la producción de biomasa disminuyó conforme los  $\Psi_w$  fueron más negativos.

Se observaron diferencias significativas entre los diferentes niveles de  $\Psi_w$  al analizar la biomasa fresca de la parte aérea ( $F_{2, 180} = 1824.3$ ,  $p \leq 0.001$ ) y raíz ( $F_{2, 180} = 828.9$ ,  $p \leq 0.001$ ) con una disminución significativa conforme el  $\Psi_w$  fue más negativo

(Figura 3). Por lo anterior se infiere que el aumento de la biomasa es inversamente proporcional a las concentraciones de PEG-8000, ya que la biomasa fresca disminuyó 35% en -0.75 MPa y 70% en -1.50 MPa.

Se encontraron diferencias significativas entre variedades para biomasa seca de parte aérea ( $F_{19, 180}=1.9$ ,  $p\leq 0.01$ ) y de raíz ( $F_{19, 180}=81.9$ ,  $p\leq 0.001$ ), así como diferencias en la interacción variedades\*diferentes niveles de  $\Psi_w$  para biomasa de parte aérea ( $F_{38, 180}=2.7$ ,  $p\leq 0.001$ ) y de raíz ( $F_{38, 180}=12.27$ ,  $p\leq 0.001$ ). Para biomasa seca de parte aérea, las variedades *Lemon*, *Sweet Dani*, *Sweet Genovese*, *Thai*, *Spicy Glove*, *Lectuce Leaf*, *Dolly*, *Genovese* y *Genovese Italian* fueron las de mejor respuesta en -0.75 MPa (Figura 4A) mientras que la variedad *Dark Opal* presentó el mayor valor en -1.50 MPa. Para la biomasa seca de raíz (Figura 4B) las variedades de mejor respuesta en -0.75 MPa fueron *Lemon*, *Sweet Dani*, *Siam Queen*, *Red Rubin*, *Thai*, *Mrs Burns*, *Licorice*, *Lectuce Leaf*, *Napoletano* y *Dolly*, este último con el valor más alto, lo que marca su característica como posible variedad tolerante al déficit hídrico, debido a que tal situación le permitirá explorar mayor superficie del suelo en busca de agua.

Para los diferentes niveles de  $\Psi_w$  se encontraron diferencias significativas en la biomasa seca de parte aérea ( $F_{2, 180}=18.8$ ,  $p\leq 0.001$ ) con valores mayores en -0.75 MPa (Figura 5A).

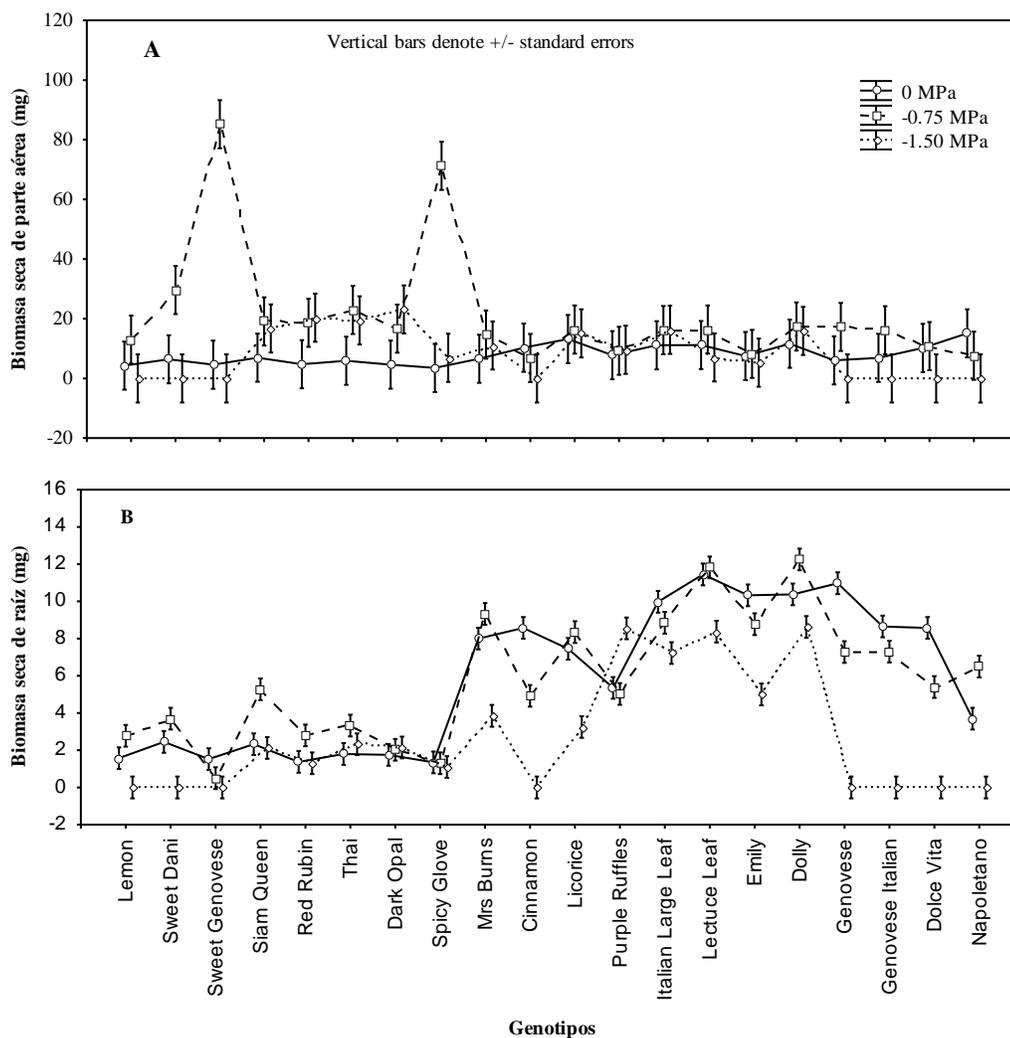


Figura 4. Respuesta de las variedades de albahaca a los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa seca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.

La variable biomasa seca de raíz mostró diferencias significativas entre  $\Psi_w$  ( $F_{2, 180} = 198.17, p \leq 0.001$ ); observándose igualdad estadística de esta variable entre los tratamientos de 0 y -0.75 MPa (Figura 5B). En el  $\Psi_w = -1.50$  MPa, esta variable mostró una afectación mayor a consecuencia de un aumento en la concentración

de PEG que limitó una posible respuesta adaptativa del crecimiento de la raíz, ya que limita la turgencia de las células.

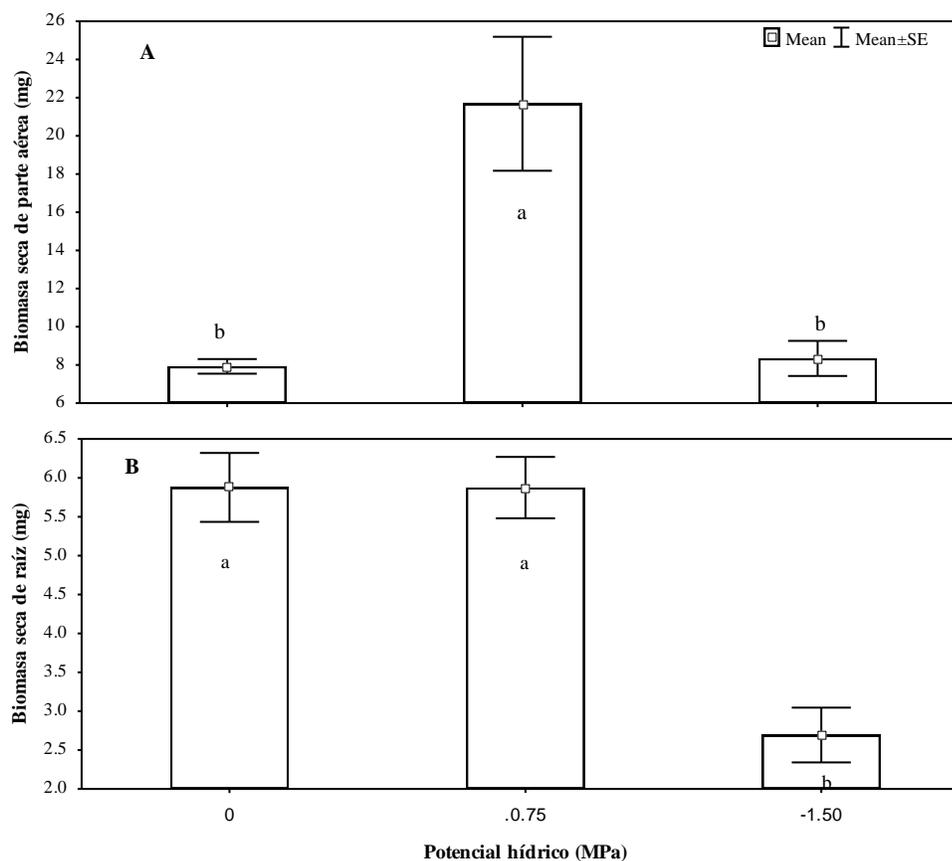


Figura 5. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa seca de la parte aérea y raíz en la etapa de germinación.

*Medias con letras distintas difieren según prueba de Shefee ( $p=0.05$ )*

### **6.1.3 Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de germinación**

El análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo a través de la distancia Euclidiana permitió agrupar a las veinte variedades estudiadas en cuatro grupos en la etapa de germinación, en base a los índices de tolerancia medidos

(Figura 6), lo que revela la existencia de variabilidad entre los materiales evaluados. El grupo uno formado por las variedades *Purple Ruffles*, *Dolly*, *Italian Large Leaf*, *Emily*, *Lectuce Leaf* y *Licorice*, fue el que presentó los mayores índices de tolerancia relativa para todas las variables evaluadas (Tabla 4) y por ende las de mayor grado de tolerancia.

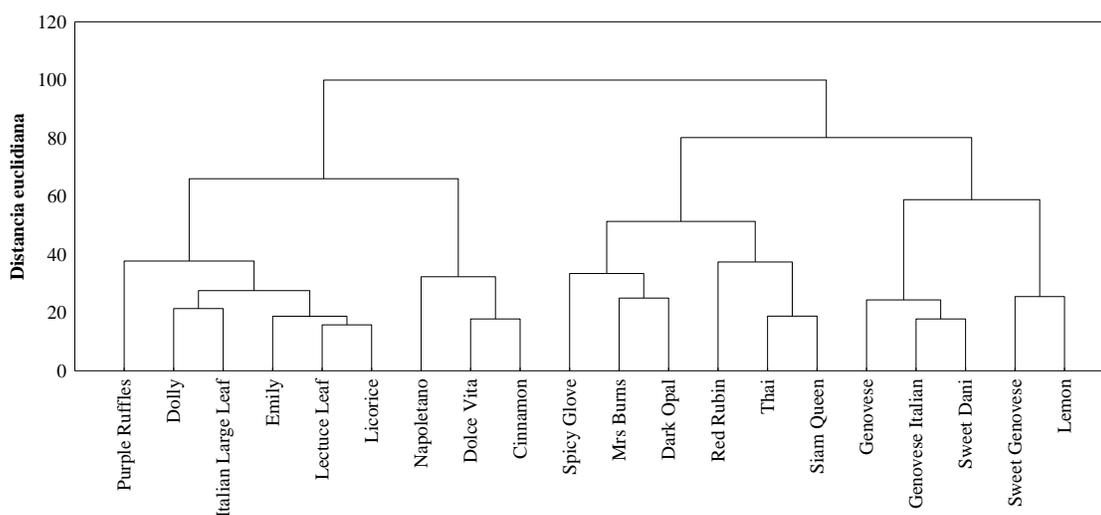


Figura 6. Agrupamiento de las variedades basado en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de germinación.

Las variedades *Napoletano*, *Dolce Vita*, *Cinnamon*, *Spicy Glove*, *Mrs Burns*, *Dark Opal*, *Red Rubin*, *Thai* y *Siam Queen* se ubicaron en los grupos dos y tres, presentando valores de tolerancia relativa intermedios y las variedades *Genovese*, *Genovese Italian*, *Sweet Dani*, *Sweet Genovese* y *Lemon* se ubicaron en el cuarto grupo con los valores más bajos de tolerancia, lo que demuestra sensibilidad de estas variedades al estrés hídrico.

Tabla 4. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de germinación.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia (%)					
		AP	LR	BFR	BSR	BFPA	BSPA
I	<i>Purple Ruffles, Dolly, Italian Large Leaf, Emily, Lectuce Leaf, Licorice</i>	91.30	91.5	92.4	94.0	92.0	93.10
II	<i>Napoletano, Dolce Vita, Cinnamon</i>	81.5	82.20	81.0	80.10	85.0	86.10
III	<i>Spicy Glove, Mrs Burns, Dark Opal, Red Rubin, Thai, Siam Queen</i>	74.10	75.20	75.0	74.0	76.24	72.32
IV	<i>Genovese, Genovese Italian, Sweet Dani, Sweet Genovese, Lemon</i>	65.0	62.25	60.0	59.75	66.33	64.12

AP: altura de la plántula, LR: longitud de la radícula; BFR: biomasa fresca de la radícula; BSR: biomasa seca de la radícula; BFPA: biomasa fresca de la parte aérea; BSPA: biomasa seca de la parte aérea.

## 6.2 Etapa de emergencia

### 6.2.1 Porcentaje y tasa de emergencia

Los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{19, 120} = 8.15$ ;  $p \leq 0.001$ ), entre niveles de potencial hídrico ( $F_{2, 120} = 934.53$ ;  $p \leq 0.001$ ) para el porcentaje de emergencia; de igual forma se observó diferencia significativa en la interacción variedades\*niveles de potencial hídricos ( $F_{38, 120} = 6.04$ ;  $p \leq 0.001$ ), donde las variedades *Sweet Dani* e *Italian Large Leaf* fueron las que mostraron mayor porcentaje de emergencia en el tratamiento control (0 MPa); en los tratamiento bajo estrés la variedad *Red Rubin* logró más del 73% de emergencia cuando el estrés fue moderado y más del 53% cuando el estrés fue severo. Otro grupo de variedades mostraron sensibilidad al estrés hídrico ya que el porcentaje de emergencia fue menor al 50% a partir del estrés moderado, llegando a cero en la variedad *Mrs Burns* para -1.50 MPa (Tabla 5). El porcentaje de emergencia disminuyó significativamente conforme se incrementaron los niveles de estrés hídrico (Figura 7A).

Tabla 5. Influencia de los diferentes niveles de potencial hídrico en el porcentaje y tasa de emergencia de variedades de albahaca.

Variedades	Emergencia (%)			Tasa de emergencia		
	$\Psi_w$ (MPa)			$\Psi_w$ (MPa)		
	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50
<i>Lemon</i>	79.5 <sup>ab</sup>	58.9 <sup>abc</sup>	44.0 <sup>abcde</sup>	2.28 <sup>ef</sup>	1.58 <sup>abcde</sup>	0.88 <sup>cdefg</sup>
<i>Sweet Dani</i>	90.0 <sup>a</sup>	62.2 <sup>abc</sup>	49.8 <sup>abc</sup>	2.73 <sup>abc</sup>	1.70 <sup>abc</sup>	1.17 <sup>abc</sup>
<i>Sweet</i>	81.4 <sup>ab</sup>	57.9 <sup>abc</sup>	46.0 <sup>abcde</sup>	2.39 <sup>def</sup>	1.44 <sup>bcde</sup>	0.95 <sup>bcdef</sup>
<i>Genovese</i>						
<i>Siam Queen</i>	65.2 <sup>b</sup>	56.0 <sup>bc</sup>	47.9 <sup>abcd</sup>	1.77 <sup>g</sup>	1.40 <sup>cde</sup>	1.16 <sup>abc</sup>
<i>Red Rubin</i>	85.7 <sup>ab</sup>	73.9 <sup>a</sup>	53.9 <sup>a</sup>	2.46 <sup>bcdef</sup>	2.08 <sup>a</sup>	1.21 <sup>ab</sup>
<i>Thai</i>	81.4 <sup>ab</sup>	66.3 <sup>ab</sup>	52.9 <sup>ab</sup>	2.51 <sup>abcde</sup>	1.96 <sup>ab</sup>	1.40 <sup>a</sup>
<i>Dark Opal</i>	81.4 <sup>ab</sup>	53.7 <sup>bc</sup>	47.9 <sup>abcd</sup>	2.41 <sup>cdef</sup>	1.42 <sup>bcde</sup>	1.05 <sup>bcd</sup>
<i>Spicy Glove</i>	85.7 <sup>ab</sup>	48.8 <sup>c</sup>	37.3 <sup>efg</sup>	2.37 <sup>def</sup>	1.08 <sup>e</sup>	0.64 <sup>efg</sup>
<i>Mrs Burns</i>	85.7 <sup>ab</sup>	51.9 <sup>bc</sup>	0.0 <sup>h</sup>	2.78 <sup>ab</sup>	1.46 <sup>bcde</sup>	0.00 <sup>h</sup>
<i>Cinnamon</i>	85.7 <sup>ab</sup>	48.8 <sup>c</sup>	33.2 <sup>fg</sup>	2.48 <sup>bcdef</sup>	1.18 <sup>cde</sup>	0.57 <sup>g</sup>
<i>Licorice</i>	81.4 <sup>ab</sup>	54.8 <sup>bc</sup>	39.2 <sup>defg</sup>	2.16 <sup>f</sup>	1.40 <sup>cde</sup>	0.73 <sup>defg</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	85.7 <sup>ab</sup>	49.8 <sup>bc</sup>	33.2 <sup>fg</sup>	2.25 <sup>ef</sup>	1.15 <sup>de</sup>	0.57 <sup>g</sup>
<i>Italian Large</i>	90.0 <sup>a</sup>	55.8 <sup>bc</sup>	32.1 <sup>g</sup>	2.83 <sup>a</sup>	1.52 <sup>bcde</sup>	0.62 <sup>fg</sup>
<i>Leaf</i>						
<i>Lectuce Leaf</i>	85.7 <sup>ab</sup>	47.9 <sup>c</sup>	41.2 <sup>cdeg</sup>	2.33 <sup>def</sup>	1.10 <sup>de</sup>	0.80 <sup>defg</sup>
<i>Emily</i>	85.7 <sup>ab</sup>	57.9 <sup>abc</sup>	44.0 <sup>abcde</sup>	2.66 <sup>abcd</sup>	1.63 <sup>abcd</sup>	0.97 <sup>bcde</sup>
<i>Dolly</i>	81.4 <sup>ab</sup>	54.7 <sup>bc</sup>	45.0 <sup>abcd</sup>	2.48 <sup>bcdef</sup>	1.50 <sup>bcd</sup>	1.03 <sup>bcd</sup>
<i>Genovese</i>	81.4 <sup>ab</sup>	46.9 <sup>c</sup>	37.2 <sup>efg</sup>	2.61 <sup>abcd</sup>	1.21 <sup>cde</sup>	0.76 <sup>defg</sup>
<i>Genovese</i>	85.7 <sup>ab</sup>	50.8 <sup>bc</sup>	42.1 <sup>cdef</sup>	2.73 <sup>abc</sup>	1.35 <sup>cde</sup>	0.90 <sup>bcdefg</sup>
<i>Italian</i>						
<i>Dolce Vita</i>	81.4 <sup>ab</sup>	47.9 <sup>c</sup>	41.2 <sup>cdefg</sup>	2.46 <sup>bcdef</sup>	1.10 <sup>de</sup>	0.82 <sup>defg</sup>
<i>Napoletano</i>	85.7 <sup>ab</sup>	46.0 <sup>c</sup>	43.1 <sup>bcdef</sup>	2.47 <sup>bcdef</sup>	1.08 <sup>e</sup>	0.93 <sup>bcdef</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $P=0.05$ ).

Para la tasa de emergencia se observó diferencia significativa entre variedades ( $F_{19, 120} = 17.29$ ;  $p \leq 0.001$ ); entre niveles de potencial hídrico ( $F_{2, 120} = 2213.29$ ;  $p \leq 0.001$ ), así como entre la interacción de variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{38, 120} = 10.69$ ;  $p \leq 0.001$ ).

La variedad *Italian Large Leaf* mostró la tasa de emergencia mayor en el tratamiento control, mientras que *Siam Queen* mostró la tasa menor. La variedad *Red Rubin* logró un valor superior a 2.0 en -0.75 MPa, mientras que las variedades *Spicy Glove* y *Napoletano* mostraron la tasa menor. En -1.50 MPa, la variedad *Thai* mostró la tasa mayor con un valor de 1.40, mientras que la variedad *Mrs*

*Burns* obtuvo el valor de cero de tasa de emergencia, seguida por las variedades *Cinnamon* y *Purple Ruffles* con valor de 0.57 (Tabla 5). Al igual que el porcentaje, la tasa de emergencia disminuyó significativamente a medida que el estrés hídrico se agudizó (Figura 7B).

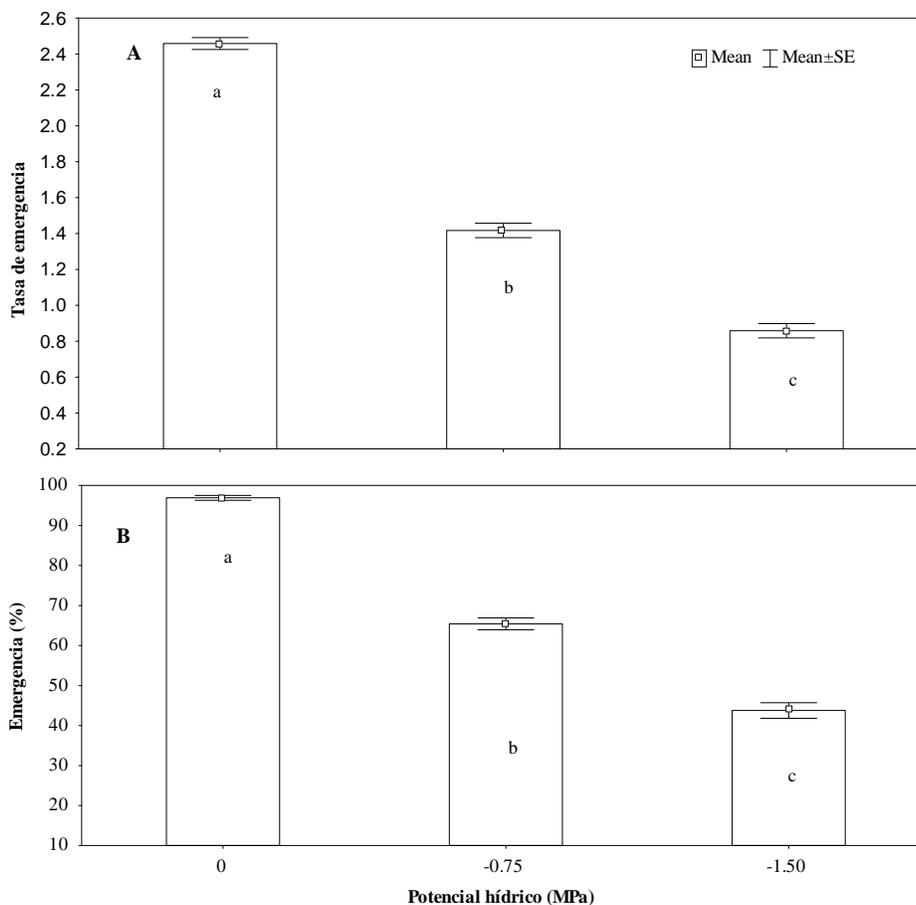


Figura 7. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en el porcentaje y tasa de emergencia. Medias con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ )

### 6.2.2 Variables morfométricas en la etapa de emergencia

Los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{19, 120}=144.18$ ;  $p\leq 0.001$ ), así como en la interacción de variedades\*potenciales hídricos en el sustrato para la longitud de la raíz ( $F_{38, 120}=81.08$ ,  $p\leq 0.001$ ), siendo las variedades *Sweet Dani*, *Sweet Genovese*, *Siam Queen*, *Red Rubin* y *Emily*, los de mayor longitud de raíz en el tratamiento control. Al analizar las interacciones para esta variable se observó que en  $\Psi_w = -0.75$  MPa, las variedades *Thai*, *Dark Opal*, *Emily*, *Dolly*, *Dolce Vita* y *Napoletano* superaron el tratamiento control. A medida que el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) fue más negativo las variedades, a excepción de *Sweet Dani* y *Dolly*, disminuyeron con respecto al tratamiento control llegando a ser nulo el crecimiento de raíz cuando el estrés fue severo (-1.50 MPa) para *Cinnamon*, *Purple Ruffle*, *Genovese*, *Genovese Italian*, *Dolce Vita* y *Napoletano*. Lo que denota sensibilidad de estas variedades al déficit hídrico.

Para la variable biomasa fresca de raíz, se encontró diferencias significativas entre variedades ( $F_{19, 120}=151.105$ ,  $p\leq 0.001$ ) y en la interacción de variedades\*potenciales hídricos para biomasa fresca de raíz ( $F_{38, 120}=21.797$ ,  $p\leq 0.001$ ). Los mayores valores para esta variable los presentó la variedad *Sweet Dani*. Conforme el potencial hídrico fue más negativo, la producción de biomasa para todas las variedades disminuyó (Tabla 6). Lo que reveló una dependencia del agua disponible en el sustrato para lograr la producción de biomasa. Los resultados revelaron diferencias significativas entre variedades para biomasa seca de raíz ( $F_{19, 120}=96.35$ ,  $p\leq 0.001$ ) y en la interacción de variedades\*niveles potencial hídrico para biomasa seca de raíz ( $F_{38, 120}=20.49$ ,  $p\leq 0.001$ ), siendo las variedades *Emily* en (estrés moderado) -0.75 MPa y *Thai* en -1.50 MPa las de mejor respuesta

Tabla 6. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la longitud de la raíz y biomasa fresca y seca de raíz de plántulas de variedades de albahaca en la etapa de emergencia.

Variedades	Largo de la raíz (cm)			Biomasa fresca de la raíz (mg)			Biomasa seca de la raíz (mg)		
	$\Psi_w$ (MPa)			$\Psi_w$ (MPa)			$\Psi_w$ (MPa)		
	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50
<i>Lemon</i>	3.93 <sup>bcdef</sup>	3.83 <sup>bc</sup>	2.14 <sup>de</sup>	156.23 <sup>b</sup>	70.80 <sup>b</sup>	31.16 <sup>b</sup>	10.96 <sup>cdefgh</sup>	7.03 <sup>hij</sup>	3.90 <sup>h</sup>
<i>Sweet Dani</i>	4.19 <sup>ab</sup>	4.12 <sup>ab</sup>	4.15 <sup>a</sup>	399.50 <sup>a</sup>	159.93 <sup>a</sup>	143.20 <sup>a</sup>	11.46 <sup>cdef</sup>	6.90 <sup>hij</sup>	7.83 <sup>de</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	4.43 <sup>a</sup>	3.08 <sup>ghi</sup>	1.84 <sup>ef</sup>	21.03 <sup>c</sup>	35.00 <sup>cd</sup>	11.83 <sup>def</sup>	6.53 <sup>h</sup>	5.00 <sup>j</sup>	6.10 <sup>efg</sup>
<i>Siam Queen</i>	4.07 <sup>bc</sup>	3.04 <sup>ghi</sup>	2.55 <sup>bcd</sup>	75.60 <sup>c</sup>	25.63 <sup>cde</sup>	20.56 <sup>c</sup>	11.30 <sup>cdefg</sup>	9.86 <sup>de</sup>	11.63 <sup>c</sup>
<i>Red Rubin</i>	4.05 <sup>bc</sup>	3.32 <sup>efg</sup>	2.02 <sup>def</sup>	14.87 <sup>c</sup>	12.00 <sup>e</sup>	9.96 <sup>ef</sup>	11.96 <sup>cde</sup>	8.93 <sup>defgh</sup>	7.23 <sup>de</sup>
<i>Thai</i>	3.82 <sup>cdef</sup>	3.98 <sup>abc</sup>	2.89 <sup>b</sup>	24.17 <sup>c</sup>	28.66 <sup>cde</sup>	19.86 <sup>c</sup>	14.00 <sup>bcd</sup>	15.76 <sup>b</sup>	15.10 <sup>a</sup>
<i>Dark Opal</i>	3.92 <sup>bcdef</sup>	4.01 <sup>ab</sup>	2.92 <sup>b</sup>	66.03 <sup>c</sup>	35.70 <sup>cd</sup>	15.86 <sup>d</sup>	17.23 <sup>ab</sup>	8.96 <sup>defgh</sup>	5.16 <sup>efgh</sup>
<i>Spicy Glove</i>	3.93 <sup>bcdef</sup>	2.81 <sup>i</sup>	2.16 <sup>cde</sup>	17.13 <sup>c</sup>	10.56 <sup>e</sup>	8.60 <sup>f</sup>	9.73 <sup>defgh</sup>	7.46 <sup>efghi</sup>	6.13 <sup>efg</sup>
<i>Mrs Burns</i>	3.98 <sup>bcde</sup>	2.92 <sup>hi</sup>	1.94 <sup>def</sup>	41.87 <sup>c</sup>	20.86 <sup>cde</sup>	10.03 <sup>ef</sup>	15.46 <sup>bc</sup>	8.46 <sup>defgh</sup>	3.76 <sup>h</sup>
<i>Cinnamon</i>	3.91 <sup>bcdef</sup>	2.86 <sup>hi</sup>	0.00 <sup>g</sup>	15.23 <sup>c</sup>	10.30 <sup>e</sup>	0.00 <sup>g</sup>	6.66 <sup>gh</sup>	8.06 <sup>defgh</sup>	0.00 <sup>i</sup>
<i>Licorice</i>	3.65 <sup>fg</sup>	3.17 <sup>fgh</sup>	2.43 <sup>bcde</sup>	22.53 <sup>c</sup>	15.30 <sup>de</sup>	11.23 <sup>ef</sup>	10.66 <sup>dfgh</sup>	7.90 <sup>defghi</sup>	3.93 <sup>h</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	3.12 <sup>i</sup>	2.79 <sup>i</sup>	0.00 <sup>g</sup>	15.20 <sup>c</sup>	10.16 <sup>e</sup>	0.00 <sup>g</sup>	7.13 <sup>fgh</sup>	7.20 <sup>ghij</sup>	0.00 <sup>i</sup>
<i>Italian Large Leaf</i>	3.97 <sup>bcde</sup>	3.39 <sup>def</sup>	1.50 <sup>f</sup>	29.20 <sup>c</sup>	21.50 <sup>cde</sup>	11.60 <sup>ef</sup>	16.80 <sup>ab</sup>	13.23 <sup>c</sup>	6.56 <sup>def</sup>
<i>Lectuce Leaf</i>	3.80 <sup>cdef</sup>	3.09 <sup>fghi</sup>	2.83 <sup>b</sup>	16.83 <sup>c</sup>	10.40 <sup>e</sup>	10.46 <sup>ef</sup>	10.23 <sup>defgh</sup>	5.50 <sup>ij</sup>	5.10 <sup>gh</sup>
<i>Emily</i>	4.03 <sup>bcd</sup>	4.15 <sup>a</sup>	2.78 <sup>bc</sup>	42.37 <sup>c</sup>	41.43 <sup>c</sup>	22.66 <sup>c</sup>	20.96 <sup>a</sup>	21.50 <sup>a</sup>	13.20 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	3.16 <sup>hi</sup>	4.16 <sup>a</sup>	3.84 <sup>b</sup>	19.27 <sup>c</sup>	19.00 <sup>de</sup>	13.26 <sup>de</sup>	9.20 <sup>efgh</sup>	9.60 <sup>defg</sup>	8.83 <sup>d</sup>
<i>Genovese</i>	3.43 <sup>gh</sup>	2.92 <sup>hi</sup>	0.00 <sup>g</sup>	50.10 <sup>c</sup>	18.56 <sup>de</sup>	0.00 <sup>g</sup>	13.13 <sup>bcde</sup>	9.90 <sup>de</sup>	0.00 <sup>i</sup>
<i>Genovese Italian</i>	3.70 <sup>efg</sup>	3.52 <sup>de</sup>	0.00 <sup>g</sup>	15.57 <sup>c</sup>	10.80 <sup>e</sup>	0.00 <sup>g</sup>	7.10 <sup>fgh</sup>	7.30 <sup>fghij</sup>	0.00 <sup>i</sup>
<i>Dolce Vita</i>	3.66 <sup>fg</sup>	3.68 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>g</sup>	52.10 <sup>c</sup>	18.96 <sup>de</sup>	0.00 <sup>g</sup>	14.13 <sup>bcd</sup>	10.00 <sup>d</sup>	0.00 <sup>i</sup>
<i>Napoletano</i>	3.75 <sup>def</sup>	3.98 <sup>abc</sup>	0.00 <sup>g</sup>	50.60 <sup>c</sup>	18.70 <sup>de</sup>	0.00 <sup>g</sup>	13.73 <sup>bcde</sup>	9.73 <sup>def</sup>	0.00 <sup>i</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, P=0.05).

Tabla 7. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la altura de la planta y biomasa fresca y seca de la parte aérea en plántulas de variedades de albahaca en la etapa de emergencia.

Variedades	Altura de la planta (cm)			Biomasa fresca de la parte aérea (mg)			Biomasa seca de la parte aérea (mg)		
	$\Psi_w$ (MPa)			$\Psi_w$ (MPa)			$\Psi_w$ (MPa)		
	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50
<i>Lemon</i>	1.84 <sup>b</sup>	0.86 <sup>cdef</sup>	0.66 <sup>cd</sup>	271.07 <sup>bcd</sup>	163.80 <sup>def</sup>	93.10 <sup>ef</sup>	25.76 <sup>bcde</sup>	18.56 <sup>cd</sup>	11.10 <sup>cd</sup>
<i>Sweet Dani</i>	1.95 <sup>a</sup>	1.45 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>	398.43 <sup>a</sup>	235.56 <sup>ab</sup>	214.13 <sup>a</sup>	27.16 <sup>bc</sup>	17.23 <sup>cde</sup>	16.26 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	1.05 <sup>de</sup>	0.79 <sup>defg</sup>	0.67 <sup>bcd</sup>	317.10 <sup>bc</sup>	25.40 <sup>k</sup>	12.60 <sup>h</sup>	38.83 <sup>a</sup>	11.43 <sup>ghi</sup>	9.26 <sup>ef</sup>
<i>Siam Queen</i>	1.08 <sup>de</sup>	0.76 <sup>fg</sup>	0.66 <sup>cde</sup>	329.23 <sup>b</sup>	174.83 <sup>de</sup>	141.23 <sup>c</sup>	28.46 <sup>b</sup>	18.96 <sup>cd</sup>	22.93 <sup>a</sup>
<i>Red Rubín</i>	1.15 <sup>cd</sup>	1.14 <sup>b</sup>	0.71 <sup>abcd</sup>	318.63 <sup>bc</sup>	183.50 <sup>cd</sup>	98.86 <sup>def</sup>	30.00 <sup>b</sup>	21.10 <sup>bc</sup>	12.60 <sup>c</sup>
<i>Thai</i>	1.21 <sup>c</sup>	0.95 <sup>cd</sup>	0.77 <sup>abc</sup>	293.93 <sup>bcd</sup>	257.93 <sup>a</sup>	167.93 <sup>b</sup>	31.56 <sup>b</sup>	29.86 <sup>a</sup>	23.40 <sup>a</sup>
<i>Dark Opal</i>	1.22 <sup>c</sup>	0.97 <sup>bc</sup>	0.86 <sup>a</sup>	270.97 <sup>bcd</sup>	207.76 <sup>bc</sup>	86.93 <sup>ef</sup>	27.10 <sup>bcd</sup>	24.03 <sup>b</sup>	10.53 <sup>de</sup>
<i>Spicy Glove</i>	1.06 <sup>de</sup>	0.82 <sup>cdef</sup>	0.60 <sup>def</sup>	164.37 <sup>e</sup>	159.70 <sup>def</sup>	86.40 <sup>f</sup>	16.53 <sup>fghi</sup>	15.10 <sup>defg</sup>	10.26 <sup>def</sup>
<i>Mrs Burns</i>	1.10 <sup>de</sup>	0.87 <sup>cdef</sup>	0.83 <sup>ab</sup>	285.17 <sup>bcd</sup>	173.26 <sup>de</sup>	101.26 <sup>de</sup>	30.00 <sup>b</sup>	16.40 <sup>def</sup>	9.90 <sup>def</sup>
<i>Cinnamon</i>	1.01 <sup>e</sup>	0.74 <sup>fgh</sup>	0.00 <sup>g</sup>	119.33 <sup>e</sup>	87.60 <sup>gh</sup>	0.00 <sup>h</sup>	15.10 <sup>hi</sup>	8.73 <sup>i</sup>	0.00 <sup>g</sup>
<i>Licorice</i>	1.03 <sup>e</sup>	0.65 <sup>gh</sup>	0.50 <sup>ef</sup>	266.30 <sup>cd</sup>	149.40 <sup>ef</sup>	88.66 <sup>ef</sup>	19.70 <sup>efgh</sup>	12.40 <sup>fghi</sup>	11.10 <sup>cd</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	1.04 <sup>e</sup>	0.75 <sup>fg</sup>	0.00 <sup>g</sup>	114.63 <sup>e</sup>	85.60 <sup>ghi</sup>	0.00 <sup>h</sup>	15.43 <sup>ghi</sup>	9.10 <sup>hi</sup>	0.00 <sup>g</sup>
<i>Italian Large Leaf</i>	1.07 <sup>de</sup>	0.57 <sup>h</sup>	0.47 <sup>f</sup>	158.33 <sup>e</sup>	131.83 <sup>f</sup>	89.56 <sup>ef</sup>	20.70 <sup>efgh</sup>	16.70 <sup>def</sup>	9.63 <sup>def</sup>
<i>Lectuce Leaf</i>	1.09 <sup>de</sup>	0.95 <sup>cd</sup>	0.72 <sup>abcd</sup>	237.40 <sup>d</sup>	163.43 <sup>def</sup>	110.33 <sup>d</sup>	20.83 <sup>defgh</sup>	12.43 <sup>fghi</sup>	9.50 <sup>ef</sup>
<i>Emily</i>	1.06 <sup>de</sup>	0.96 <sup>c</sup>	0.74 <sup>abcd</sup>	284.93 <sup>bcd</sup>	225.86 <sup>ab</sup>	90.46 <sup>ef</sup>	38.36 <sup>a</sup>	31.46 <sup>a</sup>	12.46 <sup>c</sup>
<i>Dolly</i>	1.01 <sup>e</sup>	0.94 <sup>cde</sup>	0.86 <sup>a</sup>	131.13 <sup>e</sup>	66.70 <sup>ghij</sup>	58.63 <sup>g</sup>	12.67 <sup>i</sup>	9.93 <sup>hi</sup>	8.96 <sup>f</sup>
<i>Genovese</i>	1.03 <sup>e</sup>	0.76 <sup>fg</sup>	0.00 <sup>g</sup>	267.53 <sup>cd</sup>	54.36 <sup>ijk</sup>	0.00 <sup>h</sup>	21.40 <sup>cdefgh</sup>	13.13 <sup>efgh</sup>	0.00 <sup>g</sup>
<i>Genovese Italian</i>	1.03 <sup>e</sup>	0.72 <sup>fgh</sup>	0.00 <sup>g</sup>	114.27 <sup>e</sup>	89.00 <sup>g</sup>	0.00 <sup>h</sup>	15.26 <sup>hi</sup>	9.23 <sup>hi</sup>	0.00 <sup>g</sup>
<i>Dolce Vita</i>	1.01 <sup>e</sup>	0.75 <sup>fg</sup>	0.00 <sup>g</sup>	268.00 <sup>cd</sup>	47.70 <sup>jk</sup>	0.00 <sup>h</sup>	22.06 <sup>cdef</sup>	13.40 <sup>efgh</sup>	0.00 <sup>g</sup>
<i>Napoletano</i>	1.02 <sup>e</sup>	0.78 <sup>efg</sup>	0.00 <sup>g</sup>	261.00 <sup>cd</sup>	55.33 <sup>hijk</sup>	0.00 <sup>h</sup>	21.60 <sup>cdefg</sup>	13.16 <sup>efgh</sup>	0.00 <sup>g</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, P=0.05).

Para la variable altura de la planta se encontró diferencia significativa entre variedades ( $F_{19, 120}=185.82$ ;  $p\leq 0.001$ ), así como en la interacción de variedades\*potenciales hídricos en el sustrato ( $F_{38, 120}=51.65$ ;  $p\leq 0.001$ ). Las variedades *Sweet Dani* y *Red Rubin* alcanzaron mayor altura en condiciones de estrés moderado; otro grupo de variedades cuando la condición de estrés hídrico fue de -1.50 MPa, no lograron crecimiento (Tabla 7). Se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{19, 120}= 203.94$ ;  $p\leq 0.001$ ) y en la interacción de variedades\*potenciales hídricos ( $F_{38, 120}=37.05$ ;  $p\leq 0.001$ ) para la biomasa fresca de parte aérea. Los mayores valores fueron para la variedad *Sweet Dani*. Conforme el  $\Psi_w$  fue más negativo, la producción de biomasa para todas las variedades disminuyó (Tabla 7), lo que revela una dependencia del agua disponible en el sustrato para lograr producir biomasa. Se observó en la biomasa seca de la parte aérea diferencias, tanto entre variedades ( $F_{19,120}=157.57$ ;  $p\leq 0.001$ ) como en la interacción de variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{38,120}=25.64$ ;  $p\leq 0.001$ ), siendo las variedades *Thai* y *Emily* las de mejor respuesta en condiciones de estrés moderado y las variedades *Thai* y *Siam Queen* fueron la de mayor respuesta en  $\Psi_w= -1.50$  MPa pero esta última logro superar el valor que mostró en  $\Psi_w= -0.75$  MPa.

### **6.2.3 Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de emergencia**

Al realizar el agrupamiento de las variedades en cuanto a sus índices de tolerancia relativa al estrés hídrico en la etapa de emergencia, estas se aglomeraron en tres grupos, lo que evidencia la existencia de variabilidad genética en cuanto a la respuesta al estrés hídrico para dicha etapa (Figura 8). Un primer grupo representado por la variedad *Dolly* con los valores mayores de tolerancia para todas las variables analizadas (Tabla 8) observándose el más alto, para la variable longitud de la radícula (97.75%), ubicándola como una variedad tolerante al estrés hídrico. Esto puede alentar a la selección de plantas tolerantes cuando su sistema radical sea capaz de desarrollarse vigorosa y oportunamente ante condiciones de

estrés hídrico. Las variedades *Genovese Italian*, *Purple Ruffles*, *Cinnamon*, *Emily*, *Thai*, *Italian Large Leaf*, *Spicy Glove*, *Napoletano*, *Dark Opal*, *Lecture Leaf*, *Mrs Burns* y *Red Rubin* formaron el grupo dos con valores entre 80 y 85% (Tabla 8) este último valor en el índice de tolerancia relativa para la variable biomasa seca de raíz, lo que puede catalogarlas como variedades moderadamente tolerantes al estrés hídrico. El grupo tres formado por las variedades *Sweet Genovese*, *Dolce Vita*, *Genovese*, *Siam Queen*, *Licorice*, *Sweet Dani* y *Lemon* fueron clasificadas como sensibles al presentar los menores valores de tolerancia relativa al estrés hídrico.

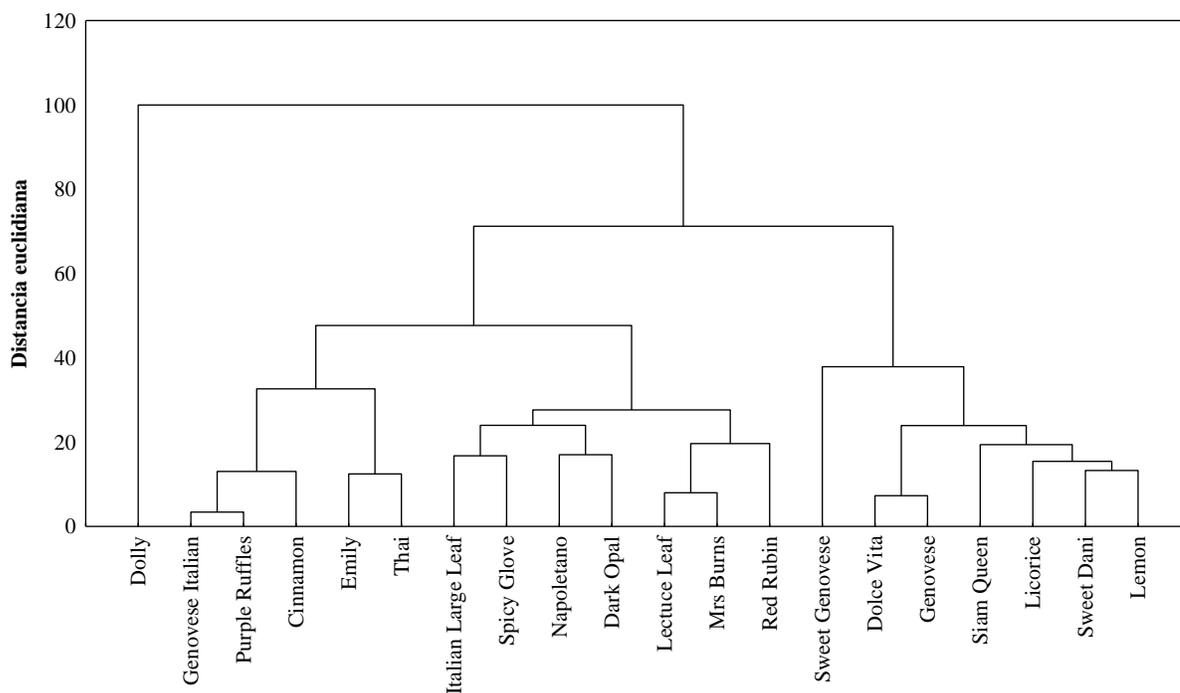


Figura 8. Agrupamiento de las variedades basado en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de emergencia.

Tabla 8. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de emergencia.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia (%)					
		AP	LR	BFR	BSR	BFPA	BSPA
I	<i>Dolly</i>	93.50	97.75	94.10	95.65	93.40	92.10
II	<i>Genovese Italian, Purple Ruffles, Cinnamon, Emily, Thai, Italian Large Leaf, Spicy Glove, Napoletano, Dark Opal, Lectuce Leaf, Mrs Burns, Red Rubin</i>	81.0	80.25	82.0	85.0	82.10	83.20
III	<i>Sweet Genovese, Dolce Vita, Genovese, Siam Queen, Licorice, Sweet Dani, Lemon</i>	76.0	71.0	73.10	70.10	71.20	72.20

AP: altura de la plántula, LR: longitud de la radícula; BFR: biomasa fresca de la radícula; BSR: biomasa seca de la radícula; BFPA: biomasa fresca de la parte aérea; BSPA: biomasa seca de la parte aérea.

### 6.3 Etapa de crecimiento vegetativo inicial

#### 6.3.1 Variables morfométricas

Los resultados revelaron diferencias significativas para la variable largo de la raíz, entre variedades ( $F_{19,200}=90.85$ ;  $p\leq 0.00$ ), entre niveles de humedad en el sustrato ( $F_{1,200}=338.31$ ;  $p\leq 0.00$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19,200}=29.83$ ;  $p\leq 0.00$ ), siendo la variedad *Purple Ruffles* la que alcanzó mayor longitud de raíz en el tratamiento control, otras variedades como *Lectuce Leaf* y *Dolce Vita* fueron las de menor crecimiento de la raíz para este tratamiento, al analizar la interacción se observó que las variedades *Lemon*, *Cinnamon* y *Dolly*, mostraron valores superiores al control en la longitud de la raíz cuando se le aplicó estrés hídrico (Tabla 9). Esta pudiera ser una respuesta de adaptación al estrés que le permite a dichas variedades explorar una mayor área del suelo en busca de agua. Para la biomasa fresca de raíz se encontró diferencia significativa (Tabla 9) entre variedades ( $F_{19,200}= 147.94$ ;  $p\leq 0.00$ ), entre tratamiento de estrés hídrico ( $F_{1,200}=1267.88$ ;  $p\leq 0.00$ ) así como en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19,200}=27.66$ ;  $p\leq 0.00$ ). Las variedades *Sweet Genovese*,

*Genovese* y *Genovese Italian* fueron las de mayor biomasa fresca de raíz en el tratamiento control, mientras que solo la última alcanzó el mayor valor mostrado en el tratamiento bajo estrés hídrico. De forma general, la biomasa fresca de raíz disminuyó significativamente al aplicar estrés hídrico en las veinte variedades. En la biomasa seca de raíz, los resultados mostraron diferencias significativas (Tabla 9) entre variedades ( $F_{19, 200}=70.767$ ;  $p\leq 0.0000$ ), entre niveles de humedad del sustrato ( $F_{1, 200}=636.645$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad ( $F_{19, 200}=6.834$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Las variedades que mostraron los valores más altos fueron *Licorice* y *Napoletano* en el tratamiento control y *Dolly* en el tratamiento bajo estrés hídrico, para esta variable se observó una disminución significativa de todas las variedades cuando se le aplicó estrés hídrico, siendo la variedad *Dolly* la de mejor respuesta debido a que su grado de afectación solo fue del 11%. Esto demuestra que dicha variedad tiene potencialidad para adaptarse a situaciones de estrés hídrico. Al analizar la variable altura de la planta (Tabla 10) se encontró diferencia significativa entre variedades ( $F_{19, 200}=34.43$ ;  $p\leq 0.0000$ ), entre niveles de humedad en el sustrato ( $F_{1, 200}=324.03$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19, 200}=3.56$ ;  $p\leq 0.0003$ ). La variedad *Sweet Dani* en el tratamiento control fue la que mostró mayor longitud del tallo. En el tratamiento de estrés se notó una disminución significativa en todas las variedades siendo *Sweet Dani*, *Genovese Italian* y *Dolly* las de mayor longitud para dicho tratamiento; otras variedades como *Lectuce Leaf* y *Dolce Vita* mostraron sensibilidad al presentar un 45% de afectación para esta variable. En la biomasa fresca del tallo (Tabla 10) se observó diferencia significativa entre variedades ( $F_{19, 200}=148.89$ ;  $p\leq 0.00$ ), entre niveles de humedad en el sustrato ( $F_{1, 200}=2775.39$ ;  $p\leq 0.00$ ) y en la interacción variedades\*niveles de de humedad en el sustrato ( $F_{19, 200}=40.96$ ;  $p\leq 0.00$ ). La variedad *Thai* mostró el valor más alto tanto en el tratamiento control como en el tratamiento bajo estrés hídrico para este indicador, mientras que las variedades *Lectuce Leaf* y *Dolce Vita* fueron las de menor biomasa fresca del tallo para ambos tratamientos; de forma general, la biomasa fresca se redujo significativamente cuando las plantas

sufrieron estrés hídrico. Para la biomasa seca del tallo (Tabla 10) se encontró diferencia significativa entre variedades ( $F_{19, 200}=117.226$ ;  $p\leq 0.00$ ), entre niveles de humedad en el sustrato ( $F_{1, 200}=1377.33$ ;  $p\leq 0.00$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19, 200}=15.834$ ;  $p\leq 0.00$ ). Las variedades *Italian Large Leaf* y *Thai* fueron la de mayor materia seca en el tallo para el tratamiento control; en estrés hídrico, las variedades anteriores incluyendo a la variedad *Dolly* mostraron la mejor respuesta, esta última mostró tolerancia al déficit hídrico ya que solo se observó un grado de afectación del 11% en esta variable.

El área foliar (Tabla 11) mostró diferencia significativa entre variedades ( $F_{19, 200}=34.22$ ;  $p\leq 0.00$ ), entre niveles de humedad en el sustrato ( $F_{1, 200}=1263.92$ ;  $p\leq 0.00$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19, 200}=14.59$ ;  $p\leq 0.00$ ). La variedad con mayor área foliar en el tratamiento control fue *Sweet Dani* y en condiciones de estrés hídrico, las que mostraron los mayores valores fueron *Sweet Dani*, *Thai* y *Mrs Burns*, siendo la variedad *Lemon* la de menor área foliar cuando se le aplicó estrés con un grado de afectación del 70%. En esta variable aunque no mostró valores relevantes, la variedad *Dolly* fue la de menor grado de afectación (21%) cuando recibió estrés hídrico.

Al analizar la biomasa fresca de las hojas (Tabla 11) los resultados revelaron diferencias significativas entre variedades ( $F_{19, 200}=44.165$ ;  $p\leq 0.00$ ), entre niveles de humedad en el sustrato ( $F_{1, 200}=1085.153$ ;  $p\leq 0.00$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19, 200}=9.585$ ;  $p\leq 0.00$ ). Las variedades *Sweet Dani*, *Sweet Genovese* y *Genovese Italian* fueron la de mejor respuesta en el tratamiento control, mientras que en el tratamiento de estrés fueron *Sweet Dani* y *Thai*. Otras variedades como *Licorice*, *Dolly* y *Napoletano*, mostraron los menores pesos frescos de las hojas en el tratamiento control mientras que en estrés, fue la variedad *Lemon*. La biomasa fresca de las hojas fue menor en todas las variedades cuando se le aplicó estrés hídrico, pero el menor grado de afectación lo presentó la variedad *Dolly* con 27%. En la biomasa seca de

las hojas (Tabla 11) se observó diferencias significativas entre variedades ( $F_{19, 200}=50.752$ ;  $p\leq 0.0000$ ), entre los diferentes niveles de humedad del sustrato ( $F_{1, 200}=1183.962$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la interacción variedades\*niveles de humedad en el sustrato ( $F_{19, 200}=6.317$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Las Variedades de mayor acumulación de biomasa seca de las hojas para el tratamiento control fueron *Sweet Genovese* y *Genovese Italian*. Una vez que se le aplicó estrés, la de mayor biomasa seca foliar fue *Sweet Dani* y la variedad *Lemon* fue la de menor biomasa seca foliar para el tratamiento de estrés.

Tabla 9. Respuesta de la interacción de los factores variedades\*estrés hídrico en el largo de la raíz, biomasa fresca de raíz y biomasa seca de raíz de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Largo de la raíz (cm)		Biomasa fresca de la raíz (g)		Biomasa seca de la raíz (g)	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
<i>Lemon</i>	17.95 <sup>fg</sup>	27.93 <sup>a</sup>	4.48 <sup>de</sup>	2.59 <sup>cd</sup>	0.72 <sup>efg</sup>	0.31 <sup>efg</sup>
<i>Sweet Dani</i>	26.0 <sup>bcd</sup>	24.06 <sup>ab</sup>	7.82 <sup>b</sup>	5.00 <sup>ab</sup>	1.11 <sup>bcd</sup>	0.71 <sup>abc</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	29.93 <sup>ab</sup>	14.38 <sup>efgh</sup>	11.85 <sup>a</sup>	4.59 <sup>b</sup>	1.22 <sup>abc</sup>	0.65 <sup>bc</sup>
<i>Siam Queen</i>	27.0 <sup>bc</sup>	21.83 <sup>bc</sup>	3.51 <sup>e</sup>	1.83 <sup>de</sup>	0.50 <sup>gh</sup>	0.28 <sup>fgh</sup>
<i>Red Rubín</i>	22.50 <sup>cdef</sup>	10.96 <sup>h</sup>	4.41 <sup>de</sup>	1.03 <sup>ef</sup>	0.47 <sup>gh</sup>	0.12 <sup>i</sup>
<i>Thai</i>	20.83 <sup>efg</sup>	14.11 <sup>efgh</sup>	6.55 <sup>bc</sup>	4.69 <sup>b</sup>	0.66 <sup>efg</sup>	0.43 <sup>ef</sup>
<i>Dark Opal</i>	18.91 <sup>fg</sup>	13.83 <sup>efgh</sup>	5.92 <sup>cd</sup>	2.05 <sup>de</sup>	0.62 <sup>fgh</sup>	0.24 <sup>ghi</sup>
<i>Spicy Glove</i>	19.50 <sup>fg</sup>	14.33 <sup>efgh</sup>	3.02 <sup>e</sup>	1.94 <sup>de</sup>	0.32 <sup>h</sup>	0.22 <sup>ghi</sup>
<i>Mrs Burns</i>	20.66 <sup>efg</sup>	17.66 <sup>de</sup>	5.83 <sup>cd</sup>	3.13 <sup>c</sup>	0.83 <sup>def</sup>	0.42 <sup>ef</sup>
<i>Cinnamon</i>	16.33 <sup>g</sup>	19.16 <sup>cd</sup>	3.40 <sup>e</sup>	1.95 <sup>de</sup>	0.63 <sup>fgh</sup>	0.41 <sup>ef</sup>
<i>Licorice</i>	16.75 <sup>g</sup>	11.40 <sup>gh</sup>	5.19 <sup>cd</sup>	2.63 <sup>cd</sup>	1.42 <sup>a</sup>	0.77 <sup>ab</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	31.83 <sup>a</sup>	13.81 <sup>efgh</sup>	5.81 <sup>cd</sup>	1.38 <sup>ef</sup>	0.46 <sup>gh</sup>	0.12 <sup>i</sup>
<i>Italian Large Leaf</i>	17.0 <sup>g</sup>	10.70 <sup>h</sup>	6.35 <sup>bc</sup>	1.16 <sup>ef</sup>	0.68 <sup>efg</sup>	0.46 <sup>de</sup>
<i>Lectuce Leaf</i>	6.38 <sup>h</sup>	5.06 <sup>i</sup>	1.30 <sup>f</sup>	0.59 <sup>f</sup>	0.64 <sup>fgh</sup>	0.23 <sup>ghi</sup>
<i>Emily</i>	21.91 <sup>def</sup>	15.73 <sup>def</sup>	4.38 <sup>de</sup>	2.62 <sup>cd</sup>	1.03 <sup>cd</sup>	0.42 <sup>ef</sup>
<i>Dolly</i>	20.91 <sup>efg</sup>	26.05 <sup>a</sup>	3.01 <sup>e</sup>	2.50 <sup>cd</sup>	0.94 <sup>cde</sup>	0.84 <sup>a</sup>
<i>Genovese</i>	24.18 <sup>cde</sup>	15.03 <sup>efg</sup>	10.58 <sup>a</sup>	5.25 <sup>ab</sup>	1.37 <sup>ab</sup>	0.79 <sup>ab</sup>
<i>Genovese Italian</i>	29.28 <sup>ab</sup>	22.15 <sup>bc</sup>	11.85 <sup>a</sup>	5.77 <sup>a</sup>	1.22 <sup>abc</sup>	0.59 <sup>cd</sup>
<i>Dolce Vita</i>	7.31 <sup>h</sup>	5.08 <sup>i</sup>	1.37 <sup>f</sup>	0.59 <sup>f</sup>	0.54 <sup>fgh</sup>	0.23 <sup>ghi</sup>
<i>Napoletano</i>	16.75 <sup>g</sup>	12.35 <sup>fgh</sup>	5.19 <sup>cd</sup>	2.63 <sup>cd</sup>	1.42 <sup>a</sup>	0.77 <sup>ab</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, P=0.05).

Tabla 10. Respuesta de la interacción de los factores variedades\*estrés hídrico en la altura de la planta, biomasa fresca del tallo y biomasa seca del tallo de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Altura de la planta (cm)		Biomasa fresca del tallo (g)		Biomasa seca del tallo (g)	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
<i>Lemon</i>	30.67 <sup>ef</sup>	29.75 <sup>ef</sup>	21.46 <sup>de</sup>	7.79 <sup>gh</sup>	4.79 <sup>e</sup>	1.46 <sup>hij</sup>
<i>Sweet Dani</i>	66.17 <sup>a</sup>	44.35 <sup>a</sup>	59.01 <sup>a</sup>	22.83 <sup>ab</sup>	10.10 <sup>a</sup>	4.38 <sup>ab</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	56.60 <sup>ab</sup>	31.52 <sup>de</sup>	35.29 <sup>bc</sup>	11.24 <sup>cdefg</sup>	6.73 <sup>bc</sup>	3.03 <sup>def</sup>
<i>Siam Queen</i>	41.33 <sup>bcdef</sup>	23.25 <sup>g</sup>	24.64 <sup>de</sup>	11.51 <sup>cdef</sup>	4.43 <sup>ef</sup>	2.02 <sup>gh</sup>
<i>Red Rubin</i>	42.17 <sup>bcdef</sup>	30.50 <sup>e</sup>	18.88 <sup>e</sup>	7.99 <sup>fgh</sup>	2.85 <sup>fg</sup>	0.82 <sup>j</sup>
<i>Thai</i>	52.41 <sup>abc</sup>	36.68 <sup>b</sup>	52.97 <sup>a</sup>	23.01 <sup>a</sup>	11.0 <sup>a</sup>	5.15 <sup>a</sup>
<i>Dark Opal</i>	43.28 <sup>bcde</sup>	36.35 <sup>bc</sup>	26.32 <sup>d</sup>	12.51 <sup>cde</sup>	4.45 <sup>ef</sup>	1.75 <sup>ghij</sup>
<i>Spicy Glove</i>	36.17 <sup>def</sup>	18.33 <sup>h</sup>	40.93 <sup>b</sup>	14.41 <sup>c</sup>	3.84 <sup>ef</sup>	1.82 <sup>ghi</sup>
<i>Mrs Burns</i>	42.83 <sup>bcde</sup>	35.00 <sup>bcd</sup>	33.09 <sup>c</sup>	19.36 <sup>b</sup>	7.74 <sup>b</sup>	3.47 <sup>cde</sup>
<i>Cinnamon</i>	37.67 <sup>cdef</sup>	26.02 <sup>fg</sup>	33.99 <sup>c</sup>	13.93 <sup>cd</sup>	7.85 <sup>b</sup>	3.73 <sup>bcd</sup>
<i>Licorice</i>	49.17 <sup>bcd</sup>	30.93 <sup>e</sup>	22.08 <sup>de</sup>	9.12 <sup>efg</sup>	4.40 <sup>ef</sup>	1.26 <sup>hij</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	31.07 <sup>ef</sup>	22.42 <sup>g</sup>	26.19 <sup>d</sup>	10.87 <sup>defg</sup>	3.05 <sup>fg</sup>	0.90 <sup>ij</sup>
<i>Italian Large Leaf</i>	45.83 <sup>bcde</sup>	32.58 <sup>cde</sup>	38.70 <sup>bc</sup>	12.03 <sup>cde</sup>	10.90 <sup>a</sup>	5.25 <sup>a</sup>
<i>Lectuce Leaf</i>	26.78 <sup>f</sup>	14.73 <sup>h</sup>	8.15 <sup>f</sup>	4.93 <sup>h</sup>	1.79 <sup>g</sup>	0.98 <sup>ij</sup>
<i>Emily</i>	43.78 <sup>bcde</sup>	33.38 <sup>bcde</sup>	23.08 <sup>de</sup>	9.70 <sup>efg</sup>	5.31 <sup>cde</sup>	2.19 <sup>fgh</sup>
<i>Dolly</i>	53.03 <sup>abc</sup>	46.26 <sup>a</sup>	18.92 <sup>e</sup>	14.47 <sup>c</sup>	5.20 <sup>de</sup>	4.50 <sup>a</sup>
<i>Genovese</i>	48.47 <sup>bcd</sup>	36.35 <sup>b</sup>	34.63 <sup>bc</sup>	10.08 <sup>efg</sup>	6.71 <sup>bcd</sup>	2.61 <sup>efg</sup>
<i>Genovese Italian</i>	48.17 <sup>bcd</sup>	43.47 <sup>a</sup>	35.29 <sup>bc</sup>	14.56 <sup>c</sup>	6.73 <sup>bc</sup>	3.07 <sup>def</sup>
<i>Dolce Vita</i>	26.78 <sup>f</sup>	14.73 <sup>h</sup>	8.15 <sup>f</sup>	4.93 <sup>h</sup>	1.80 <sup>g</sup>	0.98 <sup>ij</sup>
<i>Napoletano</i>	49.17 <sup>bcd</sup>	34.73 <sup>bcd</sup>	20.59 <sup>de</sup>	11.98 <sup>cde</sup>	4.47 <sup>ef</sup>	1.81 <sup>ghi</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, P=0.05)

Tabla 11. Respuesta de la interacción de los factores variedades\*estrés hídrico en el área foliar, biomasa fresca de las hojas y biomasa seca de las hojas de variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Área foliar (cm <sup>2</sup> )		Biomasa fresca de las hojas (g)		Biomasa seca de las hojas (g)	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
<i>Lemon</i>	1520.5 <sup>defg</sup>	463.17 <sup>h</sup>	26.445 <sup>fg</sup>	7.91 <sup>g</sup>	3.69 <sup>efg</sup>	0.87 <sup>l</sup>
<i>Sweet Dani</i>	2673.0 <sup>a</sup>	1416.83 <sup>a</sup>	58.933 <sup>a</sup>	29.28 <sup>a</sup>	6.47 <sup>ab</sup>	3.73 <sup>a</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	2467.2 <sup>ab</sup>	753.83 <sup>efg</sup>	59.140 <sup>a</sup>	23.33 <sup>bcd</sup>	7.07 <sup>a</sup>	2.82 <sup>cdef</sup>
<i>Siam Queen</i>	1446.7 <sup>efg</sup>	997.00 <sup>bcd</sup>	31.620 <sup>defg</sup>	18.99 <sup>cde</sup>	3.57 <sup>efgh</sup>	2.08 <sup>efghi</sup>
<i>Red Rubin</i>	1362.8 <sup>fg</sup>	621.17 <sup>fgh</sup>	25.335 <sup>fg</sup>	11.74 <sup>fg</sup>	2.64 <sup>gh</sup>	0.99 <sup>j</sup>
<i>Thai</i>	1983.0 <sup>bcd</sup>	1371.33 <sup>a</sup>	50.353 <sup>ab</sup>	28.86 <sup>a</sup>	6.10 <sup>abc</sup>	3.55 <sup>abc</sup>
<i>Dark Opal</i>	1086.2 <sup>g</sup>	566.83 <sup>gh</sup>	34.417 <sup>defg</sup>	12.62 <sup>fg</sup>	3.74 <sup>efg</sup>	1.46 <sup>hij</sup>
<i>Spicy Glove</i>	1376.0 <sup>fg</sup>	860.00 <sup>cde</sup>	26.757 <sup>fg</sup>	15.87 <sup>ef</sup>	2.16 <sup>h</sup>	1.04 <sup>j</sup>
<i>Mrs Burns</i>	1991.0 <sup>bcd</sup>	1252.50 <sup>a</sup>	41.722 <sup>bcd</sup>	24.48 <sup>ab</sup>	6.25 <sup>abc</sup>	2.85 <sup>bcd</sup>
<i>Cinnamon</i>	1979.8 <sup>bcd</sup>	924.67 <sup>cde</sup>	37.052 <sup>cdef</sup>	21.82 <sup>bcd</sup>	4.82 <sup>cde</sup>	3.10 <sup>abcd</sup>
<i>Licorice</i>	1848.3 <sup>cdef</sup>	808.67 <sup>cdef</sup>	23.330 <sup>g</sup>	14.00 <sup>ef</sup>	4.34 <sup>def</sup>	1.43 <sup>ij</sup>
<i>Purple Ruffles</i>	2391.7 <sup>abc</sup>	1015.33 <sup>bc</sup>	39.918 <sup>bcde</sup>	15.56 <sup>ef</sup>	3.17 <sup>fgh</sup>	1.04 <sup>j</sup>
<i>Italian Large Leaf</i>	2027.0 <sup>bcd</sup>	1209.00 <sup>ab</sup>	28.907 <sup>efg</sup>	11.33 <sup>fg</sup>	6.18 <sup>abc</sup>	3.70 <sup>ab</sup>
<i>Lectuce Leaf</i>	1117.8 <sup>g</sup>	590.67 <sup>fgh</sup>	34.462 <sup>defg</sup>	12.11 <sup>fg</sup>	3.74 <sup>efg</sup>	1.48 <sup>hij</sup>
<i>Emily</i>	1774.3 <sup>def</sup>	979.83 <sup>bcde</sup>	41.722 <sup>bcd</sup>	18.32 <sup>de</sup>	5.39 <sup>bcd</sup>	2.55 <sup>defg</sup>
<i>Dolly</i>	1498.8 <sup>defg</sup>	1190.50 <sup>ab</sup>	21.918 <sup>g</sup>	16.16 <sup>ef</sup>	3.61 <sup>efgh</sup>	1.95 <sup>ghi</sup>
<i>Genovese</i>	2500.5 <sup>ab</sup>	772.17 <sup>defg</sup>	48.640 <sup>abc</sup>	22.53 <sup>bcd</sup>	5.90 <sup>abc</sup>	2.73 <sup>def</sup>
<i>Genovese Italian</i>	2467.2 <sup>ab</sup>	747.83 <sup>efg</sup>	59.140 <sup>a</sup>	24.37 <sup>abc</sup>	7.07 <sup>a</sup>	2.83 <sup>cdef</sup>
<i>Dolce Vita</i>	1119.7 <sup>g</sup>	594.83 <sup>fgh</sup>	34.267 <sup>defg</sup>	12.11 <sup>fg</sup>	3.74 <sup>efg</sup>	1.48 <sup>hij</sup>
<i>Napoletano</i>	1815.2 <sup>def</sup>	918.50 <sup>cde</sup>	23.330 <sup>g</sup>	14.00 <sup>ef</sup>	4.86 <sup>cde</sup>	2.19 <sup>efg</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, P=0.05)

### 6.3.2 Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en la etapa de crecimiento inicial

El análisis realizado en la etapa de crecimiento inicial mostró una ubicación de las variedades en dos grupos (Figura 9) lo que demuestra la existencia de variabilidad en la respuesta al estrés hídrico en las variables evaluadas. Las variedades *Dolly*, *Napoletano* y *Siam Queen*, presentaron los mayores valores en el índice de tolerancia relativa, manifestando tolerancia al estrés hídrico (Tabla 12). Con valores inferiores se observó un segundo grupo, donde se encuentran las variedades *Genovese Italian*, *Purple Ruffles*, *Cinnamon*, *Emily*, *Thai*, *Italian Large Leaf*, *Spicy Glove*, *Dark Opal*, *Lectuce Leaf*, *Mrs Burns*, *Red Rubin*, *Sweet Genovese*, *Dolce Vita*, *Genovese*, *Licorice*, *Sweet Dani* y *Lemon*. Esto demuestra que existe una respuesta diferencial ante el estrés evidenciando este segundo grupo de variedades como tolerantes al estrés hídrico en la fase de crecimiento inicial.

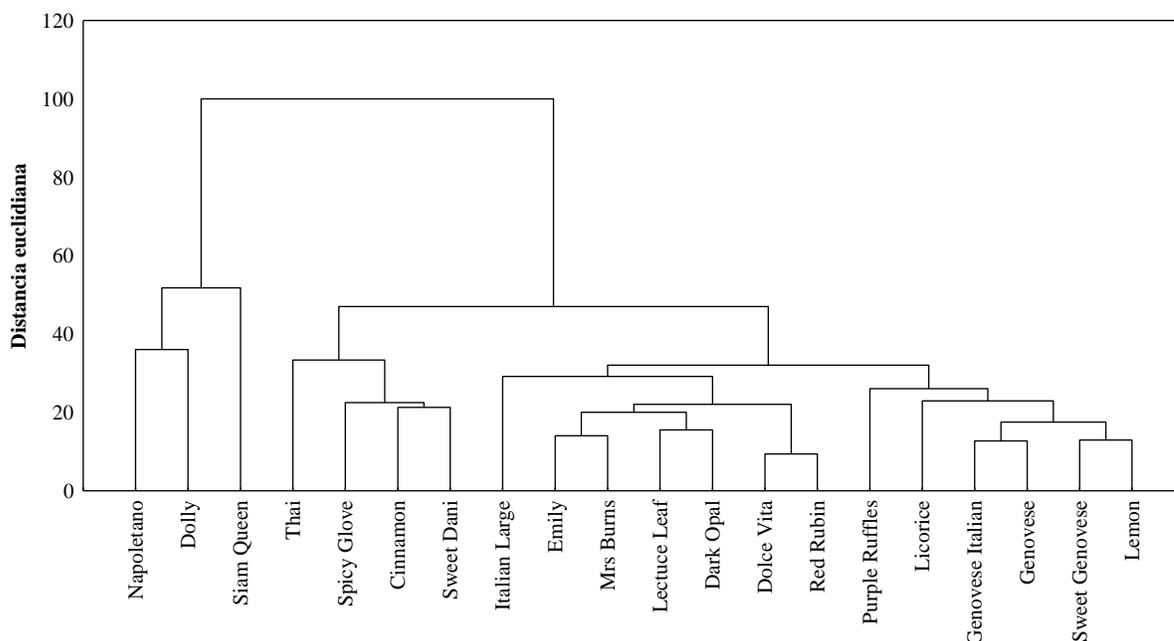


Figura 9. Agrupamiento de las variedades basado en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de crecimiento vegetativo.

Tabla 12. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de crecimiento vegetativo.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia (%)					
		AP	LR	BFR	BSR	BFPA	BSPA
I	<i>Napoletano, Dolly, Siam Queen</i>	85.0	89.9	88.75	87.9	87.7	88.0
II	<i>Genovese Italian, Purple Ruffles, Cinnamon, Emily, Thai, Italian Large Leaf, Spicy Glove, Dark Opal, Lectuice Leaf, Mrs Burns, Red Rubin, Sweet Genovese, Dolce Vita, Genovese, Licorice, Sweet Dani, Lemon</i>	65.20	68	72.10	69.0	73.15	72.50

AP: altura de la plántula, LR: longitud de la radícula; BFR: biomasa fresca de la radícula; BSR: biomasa seca de la radícula; BFPA: biomasa fresca de la parte aérea; BSPA: biomasa seca de la parte aérea.

#### **6.4 Efecto del Pectimorf como atenuante del estrés hídrico en variedades de albahaca en la etapa de germinación**

##### **6.4.1 Tasa y porcentaje de germinación**

Para la tasa de germinación (TG) se presentaron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=2030.61$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=1824.91$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=1314.78$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=264.76$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=298.05$ ,  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=23.65$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=16.51$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar las interacciones variedades\*niveles de potencial hídrico (Tabla 13) se observó que en la medida que el potencial hídrico fue más negativo, disminuyó la tasa de germinación en ambas variedades, siendo *Dolly* la variedad de menor afectación. Para la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf (Tabla 14), ambas variedades presentaron los mayores valores cuando fue aplicado el producto, pero *Dolly* fue la de mayor respuesta. La triple interacción reveló un aumento significativo de la tasa de germinación para las dos variedades una vez que se le aplicó el producto, aún y cuando estaban sometidas a niveles de estrés hídrico, siendo la variedad *Dolly*

la de mayor tasa de germinación para nivel de potencial hídrico cero y concentración de pectimorf de 10 mg L<sup>-1</sup> y la variedad *Sweet Genovese* la de menor respuesta cuando el estrés fue severo (-1.50 MPa) y no se le aplicó producto (Tabla 15).

Para el porcentaje de germinación (PG) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=150.87$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=486.35$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=220.41$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=18.29$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=44.64$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=12.13$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar las interacciones variedades\*niveles de potencial hídrico (Tabla 13), se encontró que el porcentaje de germinación más alto en ambas variedades fue cuando el potencial hídrico era cero, en la medida que el estrés incrementó, se notó una afectación de esta variable, en la variedad *Dolly*, con un 42% de afectación en estrés severo (-1.50 MPa) y *Swet Genovese* de 61% en -1.50 MPa. En la triple interacción para porcentaje de germinación (Tabla 15) no hubo diferencia entre variedades cuando se aplicó el producto en nivel de potencial hídrico cero (sin estrés); sin embargo, se notó una respuesta diferencial cuando el estrés fue de moderado a severo, observándose los valores mayores (PG), cuando se aplicó pectimorf a una concentración de 10 mg L<sup>-1</sup> y el menor (PG) correspondió a la variedad *Swet Genovese* en estrés severo y 0 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf.

#### **6.4.2 Variables morfométricas**

Se presentaron diferencias significativas para la variable longitud de radícula (LR) entre variedades ( $F_{1,36}=130.77$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=382.19$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=1188.03$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar las interacciones variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=14.39$ ;  $p\leq 0.0000$ ) se apreció que cuando el potencial hídrico fue más negativo, la longitud de la radícula fue menor, acentuándose más en la variedad *Swet Genovese* (Tabla

13). Para la triple interacción no se encontró diferencias significativas; sin embargo, se apreció una diferencia numérica en la longitud de radícula de ambas variedades cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, aún y cuando estaban en niveles de estrés de  $-0.75$  y  $-1.50 \text{ MPa}$  (Figura 10).

La altura de la planta (AP) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=30.87$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=726.38$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=152.76$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones, no se encontró diferencias significativa entre variedades\*niveles de potencial hídrico y variedades\*concentraciones de pectimorf. La triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf si reveló diferencias significativas ( $F_{2,36}=8.52$ ;  $p\leq 0.0000$ ) mostrando a la variedad *Dolly* con la mayor altura en  $0 \text{ MPa}$  (sin estrés) y con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf; sin embargo, en ambas variedades, la AP incrementó con respecto al control en la concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, en todos los niveles de potencial hídrico (Tabla 15). La menor AP fue para *Sweet Genovese* en  $-1.50 \text{ MPa}$  (estrés severo) y  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 15).

La biomasa fresca de radícula (BFR) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=171.32$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=146.62$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=236.38$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=53.46$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se observó que la variedad *Dolly* con una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf fue la que alcanzó mayor biomasa fresca de radícula y *Sweet Genovese* con  $0 \text{ mg L}^{-1}$  la de menor respuesta (Tabla 14). No se encontró diferencia significativa en la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico aunque si se apreció una disminución de esta variable a medida que el potencial hídrico fue más negativo. En la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf, tampoco hubo diferencias significativas; sin embargo, se mostraron diferencias numéricas (Figura 11) para ambas variedades

cuando se aplicó el pectimorf, aumentando esta variable (BFR), aún y cuando se encontraban en niveles de estrés de moderado a severo.

La biomasa seca de radícula (BSR) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=84.18$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=88.74$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=151.50$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=7.03$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se observó que la variedad *Dolly* en el tratamiento control fue la de mejor respuesta (Tabla 13) y cuando el estrés hídrico aplicado fue severo (-1.50 MPa), esta variable disminuyó en esta variedad en un 46%. La variedad *Sweet Genovese* fue la que mostró menor BSR cuando el nivel de potencial hídrico simuló un estrés severo (Tabla 13). Al evaluar la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=12.31$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se apreció que la variedad *Dolly* logró la mayor respuesta con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf y el valor menor de esta variable (BSR) para *Sweet Genovese* en  $0 \text{ mg L}^{-1}$ . De manera general se observó que ambas variedades presentaron los valores mayores de BSR cuando fueron tratadas con pectimorf (Tabla 14). En la triple interacción no se encontraron diferencias significativas para esta variable (BSR); sin embargo, hubo diferencias numéricas cuando ambas variedades fueron tratadas con una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, aumentaron la biomasa seca de radícula (Figura 12), aún y cuando se encontraban en condiciones de estrés hídrico de moderado (-0.75 MPa) a severo (-1.50 MPa).

La biomasa fresca de parte aérea (BFPA) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=113.32$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=842.04$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=537.14$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones no se encontró diferencias significativas entre variedades\*niveles de potencial hídrico y variedades\*concentraciones de pectimorf, pero si en la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=9.31$ ;  $p\leq 0.0000$ ), presentando los valores mayores de esta variable la variedad *Dolly* en 0 MPa (sin estrés) y con 10

mg L<sup>-1</sup> de pectimorf. Sin embargo, en ambas variedades, la BFPA incrementó con respecto al control en la concentración de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, en todos los niveles de potencial hídrico (Tabla 15). La menor BFPA fue para *Sweet Genovese* en -1.50 MPa (estrés severo) y 0 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 15).

En la variable biomasa seca de parte aérea (BSPA) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=151.08$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=466.37$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=314.46$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=5.43$ ;  $p\leq 0.0000$ ), reveló que la variedad *Dolly* en 0 MPa fue la de mejor respuesta y *Sweet Genovese* en -1.50 MPa fue la más afectada, observándose una disminución en esta variable conform el potencial hídrico fue más negativo para ambas variedades (Tabla 13). No se encontraron diferencias significativas en la interacción variedades\*concentración de pectimorf, pero si en la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentración de pectimorf ( $F_{2,36}=22.54$ ;  $p\leq 0.0000$ ), mostrando a la variedad *Dolly* con la mayor BSPA en 0 MPa (sin estrés) y con 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf; sin embargo, en ambas variedades, la BSPA incrementó respecto al control en la concentración de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, en todos los niveles de potencial hídrico (Tabla 15). La menor BSPA fue para *Sweet Genovese* en -1.50 MPa (estrés severo) y 0 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 15).

Tabla 13. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico en el promedio de tasa, porcentaje de germinación y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	$\Psi_w$ MPa	TG	PG (%)	LR (cm)	BSR (mg)	BSPA (mg)
<i>Dolly</i>	0	24 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	4.54 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	12.30 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	-0.75	10.37 <sup>b</sup>	73.75 <sup>b</sup>	3.25 <sup>c</sup>	5 <sup>b</sup>	8.30 <sup>c</sup>
<i>Dolly</i>	-1.50	7.35 <sup>c</sup>	57.91 <sup>c</sup>	3.21 <sup>c</sup>	4.02 <sup>c</sup>	7.96 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	10.67 <sup>b</sup>	94.16 <sup>a</sup>	4.03 <sup>b</sup>	4.97 <sup>b</sup>	10.67 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-0.75	4.14 <sup>d</sup>	48.74 <sup>d</sup>	3.01 <sup>c</sup>	3.87 <sup>c</sup>	7.23 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-1.50	3.42 <sup>d</sup>	40.83 <sup>e</sup>	2.36 <sup>d</sup>	2.96 <sup>d</sup>	5.85 <sup>e</sup>

$\Psi_w$ : potencial hídrico, TG: tasa de germinación, PG: porcentaje de germinación, LR: largo de raíz, BSR: biomasa seca raíz, BSPA: biomasa seca parte aérea. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 14. Efecto de la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf en el promedio de tasa, porcentaje de germinación y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Pectimorf (mg L <sup>-1</sup> )	TG	BFR (mg)	BSR (mg)
<i>Dolly</i>	10	18.55 <sup>a</sup>	55.44 <sup>a</sup>	6.80 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	9.26 <sup>b</sup>	30.05 <sup>b</sup>	4.15 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	10	7.73 <sup>c</sup>	32.60 <sup>b</sup>	4.67 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	4.43 <sup>d</sup>	23.58 <sup>c</sup>	3.20 <sup>c</sup>

TG: tasa de germinación, BFR: biomasa fresca de raíz, BSR: biomasa seca raíz. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 15. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf, en el porcentaje de germinación y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	$\Psi_w$ MPa	Pectimorf mg.L <sup>-1</sup>	TG	PG (%)	AP (cm)	BFPA (mg)	BSPA (mg)
<i>Dolly</i>	0	10	28.87 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	1.07 <sup>a</sup>	124.40 <sup>a</sup>	14.37 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	0	19.72 <sup>b</sup>	100 <sup>a</sup>	0.82 <sup>b</sup>	96.92 <sup>c</sup>	10.22 <sup>bc</sup>
<i>Dolly</i>	-0.75	10	16.15 <sup>c</sup>	95.83 <sup>a</sup>	0.57 <sup>c</sup>	90.27 <sup>c</sup>	9.25 <sup>cd</sup>
<i>Dolly</i>	-0.75	0	4.58 <sup>g</sup>	51.66 <sup>c</sup>	0.31 <sup>f</sup>	46.50 <sup>fg</sup>	7.35 <sup>e</sup>
<i>Dolly</i>	-1.50	10	10.64 <sup>de</sup>	65 <sup>b</sup>	0.41 <sup>de</sup>	62.30 <sup>de</sup>	8.72 <sup>d</sup>
<i>Dolly</i>	-1.50	0	4.07 <sup>g</sup>	50.83 <sup>c</sup>	0.37 <sup>def</sup>	43.55 <sup>fg</sup>	7.20 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	10	11.83 <sup>d</sup>	99.16 <sup>a</sup>	0.88 <sup>b</sup>	108.65 <sup>b</sup>	11.32 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0	9.51 <sup>e</sup>	89.16 <sup>a</sup>	0.79 <sup>b</sup>	90.90 <sup>c</sup>	10.03 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-0.75	10	6.24 <sup>f</sup>	61.66 <sup>bc</sup>	0.46 <sup>d</sup>	70.55 <sup>d</sup>	8.80 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-0.75	0	2.05 <sup>h</sup>	35 <sup>d</sup>	0.29 <sup>f</sup>	38.30 <sup>g</sup>	5.67 <sup>fg</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-1.50	10	5.12 <sup>g</sup>	51.67 <sup>c</sup>	0.42 <sup>d</sup>	53.87 <sup>ef</sup>	6.78 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-1.50	0	1.72 <sup>h</sup>	30 <sup>d</sup>	0.29 <sup>f</sup>	23.35 <sup>h</sup>	4.93 <sup>g</sup>

$\Psi_w$ : potencial hídrico, TG: tasa de germinación, PG: porcentaje de germinación, AP: altura de la planta, BFPA: biomasa fresca parte aérea, BSPA: biomasa seca parte aérea. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

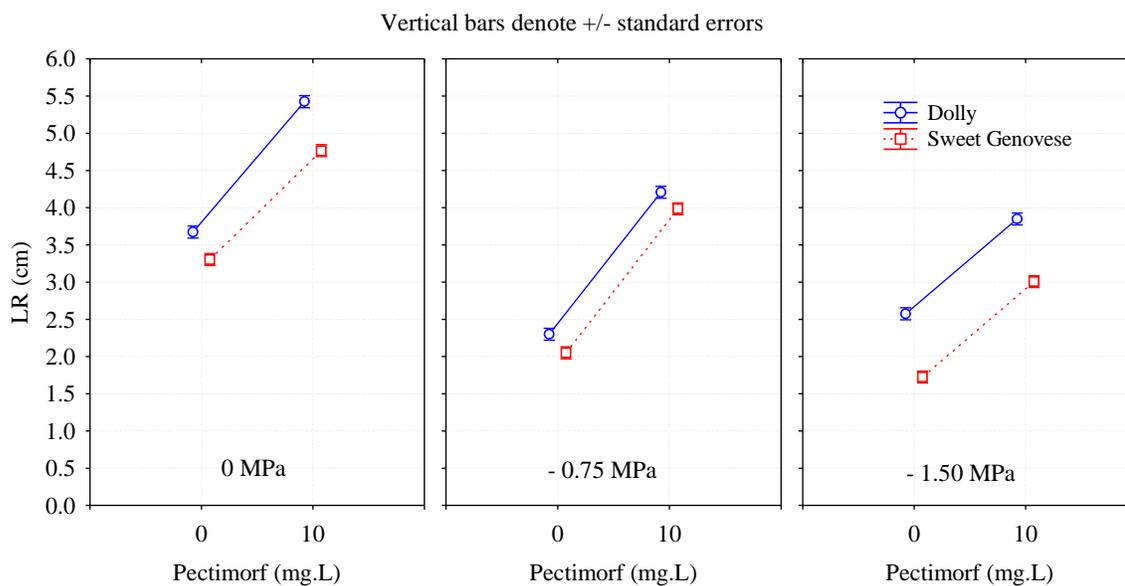


Figura 10. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de Pectimorf, en la longitud de la radícula en la etapa de germinación de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

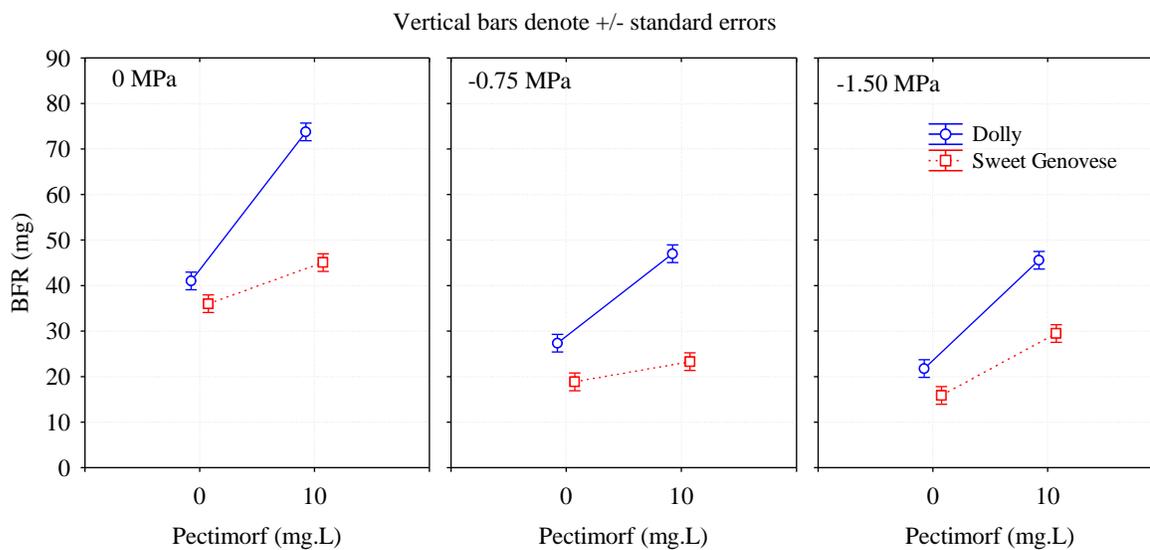


Figura 11. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf, en la biomasa fresca de la radícula en la etapa de germinación de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

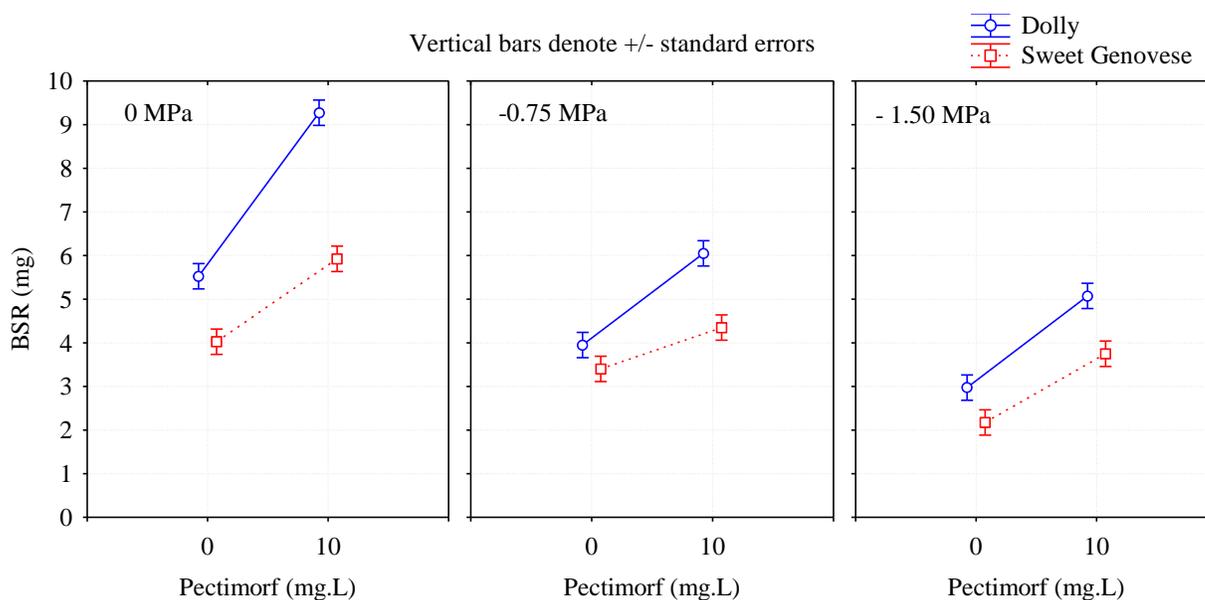


Figura 12. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf, en la biomasa seca de la radícula en la etapa de germinación de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

### **6.5 Efecto del pectimorf como atenuante del estrés hídrico en variedades de albahaca en la etapa de emergencia**

#### **6.5.1 Tasa y porcentaje de emergencia**

Para la tasa de emergencia (TE) se presentaron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=509.08$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=727.32$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=372.16$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=50.67$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=28.10$ ,  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=47.24$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=22.19$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico (Tabla 16) se observó que conforme el potencial hídrico fue más negativo, la tasa de emergencia disminuyó en ambas variedades, siendo *Dolly* la variedad de mayor TE cuando el potencial hídrico fue 0 (sin estrés) y *Sweet Genovese* la que mostró una menor tasa de emergencia cuando el potencial hídrico fue de -1.50 MPa (estrés severo). Para la interacción

variedades\*concentraciones de pectimorf (Tabla 17), ambas variedades presentaron los valores mayores cuando se aplicó el producto, pero *Dolly* fue la de mayor respuesta. La triple interacción reveló un aumento significativo de la tasa de emergencia para las dos variedades una vez que se aplicó el producto aún y cuando estaban sometidas a niveles de estrés hídrico, siendo la variedad *Dolly* la de mayor tasa de germinación para nivel de potencial hídrico cero y concentración de pectimorf de 10 mg L<sup>-1</sup> y la variedad *Sweet Genovese* la de menor respuesta cuando el estrés fue severo (-1.50 MPa) y no se le aplicó producto (Tabla 18).

Tabla 16. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico en la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	$\Psi_w$ MPa	TE	PE (%)	LR (cm)	AP (cm)	BFR (mg)	BSR (mg)	BFPA (mg)	BSPA (mg)
<i>Dolly</i>	0	5.74 <sup>a</sup>	99.16 <sup>a</sup>	5.13 <sup>a</sup>	2.76 <sup>a</sup>	703.75 <sup>a</sup>	43.0 <sup>a</sup>	2223.1 <sup>a</sup>	193 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	-0.75	3.33 <sup>b</sup>	85.41 <sup>b</sup>	4.01 <sup>b</sup>	1.63 <sup>b</sup>	465.50 <sup>b</sup>	28.87 <sup>b</sup>	746.37 <sup>c</sup>	86.50 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	-1.50	2.22 <sup>c</sup>	65.41 <sup>c</sup>	2.60 <sup>d</sup>	1.13 <sup>c</sup>	281.0 <sup>d</sup>	18.25 <sup>d</sup>	541.12 <sup>d</sup>	52.62 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	3.53 <sup>b</sup>	86.25 <sup>b</sup>	3.45 <sup>c</sup>	1.73 <sup>b</sup>	398.62 <sup>c</sup>	23.87 <sup>c</sup>	1146.0 <sup>b</sup>	90.0 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-0.75	2.17 <sup>c</sup>	60.83 <sup>c</sup>	2.77 <sup>d</sup>	1.13 <sup>c</sup>	234.25 <sup>e</sup>	16.0 <sup>e</sup>	557.37 <sup>d</sup>	42.0 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-1.50	1.46 <sup>d</sup>	40.83 <sup>d</sup>	1.71 <sup>e</sup>	0.86 <sup>d</sup>	74.0 <sup>f</sup>	6.75 <sup>f</sup>	197.87 <sup>e</sup>	18.75 <sup>e</sup>

$\Psi_w$ : potencial hídrico, TE: tasa de emergencia, PE: porcentaje de emergencia, LR: largo de raíz, AP: altura de la planta, BFR: biomasa fresca de raíz, BSR: biomasa seca de raíz, BFPA: biomasa fresca parte aérea, BSPA: biomasa seca parte aérea. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 17. Efecto de la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf en la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Pectimorf (mg L <sup>-1</sup> )	TE	PE (%)	LR (cm)	AP (cm)	BFR (mg)	BSR (mg)	BFPA (mg)	BSPA (mg)
<i>Dolly</i>	10	4.45 <sup>a</sup>	86.66 <sup>a</sup>	4.89 <sup>a</sup>	2.20 <sup>a</sup>	621.33 <sup>a</sup>	39.58 <sup>a</sup>	1516.5 <sup>a</sup>	143.41 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	3.08 <sup>b</sup>	80.0 <sup>b</sup>	2.94 <sup>c</sup>	1.48 <sup>b</sup>	345.50 <sup>b</sup>	20.50 <sup>b</sup>	850.50 <sup>b</sup>	78.0 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	10	2.83 <sup>b</sup>	71.66 <sup>c</sup>	3.40 <sup>b</sup>	1.45 <sup>b</sup>	319.83 <sup>c</sup>	19.75 <sup>b</sup>	799.25 <sup>c</sup>	62.66 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	1.90 <sup>c</sup>	53.61 <sup>d</sup>	1.88 <sup>d</sup>	1.03 <sup>c</sup>	151.41 <sup>d</sup>	11.33 <sup>c</sup>	468.25 <sup>d</sup>	37.83 <sup>d</sup>

TE: tasa de emergencia, PE: porcentaje de emergencia, LR: largo de raíz, AP: altura de la planta, BFR: biomasa fresca de raíz, BSR: biomasa seca de raíz, BFPA: biomasa fresca parte aérea, BSPA: biomasa seca parte aérea. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Para el porcentaje de emergencia (PE) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=167.76$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=204.60$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=59.85$ ;  $p\leq 0.0000$ ).

En el análisis de las interacciones se observaron diferencias significativas entre variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=5.92$ ;  $p\leq 0.0000$ ), siendo *Dolly* la variedad de menor afectación (Tabla 16), con un 13% de afectación cuando el potencial hídrico fue de -0.75 MPa (estrés moderado) y un 34% cuando el estrés fue severo ( $\Psi_w=-1.50$ ). Para la variedad *Sweet Genovese* la afectación fue mayor, resultando un 29.47% cuando se le aplicó estrés hídrico de -0.75 MPa y un 52.66% cuando el estrés hídrico fue de -1.50 MPa. Para variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=59.85$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se observó el mayor porcentaje de emergencia en la variedad *Dolly* cuando se le aplicó pectimorf a una concentración de 10 mg L<sup>-1</sup> y en menor porcentaje en *Sweet Genovese* con 0 mg L<sup>-1</sup> (Tabla 17).

En la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf, para el porcentaje de emergencia no hubo diferencias significativas; sin embargo, para ambas variedades cuando se aplicó el pectimorf a una concentración de 10 mg L<sup>-1</sup>, el PE incremento aún y cuando se encontraban a niveles de estrés hídrico de moderado a severo (Figura 13).

Tabla 18. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf en la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de plántulas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	$\Psi_w$ MPa	Pectimorf mg L <sup>-1</sup>	TE	LR (cm)	AP (cm)	BFR (mg)	BFPA (mg)	BSPA (mg)
<i>Dolly</i>	0	10	7.13 <sup>a</sup>	6.12 <sup>a</sup>	3.32 <sup>a</sup>	866.75 <sup>a</sup>	2907.75 <sup>a</sup>	260.50 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	0	4.36 <sup>b</sup>	4.15 <sup>c</sup>	2.20 <sup>b</sup>	540.75 <sup>c</sup>	1538.50 <sup>b</sup>	125.50 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	-0.75	10	3.75 <sup>c</sup>	5.20 <sup>b</sup>	2.07 <sup>b</sup>	632.75 <sup>b</sup>	988.25 <sup>d</sup>	107 <sup>d</sup>
<i>Dolly</i>	-0.75	0	2.90 <sup>d</sup>	2.82 <sup>e</sup>	1.20 <sup>cd</sup>	298.25 <sup>g</sup>	584.50 <sup>h</sup>	66 <sup>e</sup>
<i>Dolly</i>	-1.50	10	2.48 <sup>de</sup>	3.35 <sup>d</sup>	1.22 <sup>cd</sup>	364.50 <sup>e</sup>	653.75 <sup>g</sup>	62.75 <sup>e</sup>
<i>Dolly</i>	-1.50	0	1.97 <sup>ef</sup>	1.85 <sup>g</sup>	1.05 <sup>d</sup>	197.50 <sup>h</sup>	428.50 <sup>i</sup>	42.50 <sup>f</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	10	4.14 <sup>bc</sup>	3.97 <sup>c</sup>	2.05 <sup>b</sup>	479.0 <sup>d</sup>	1391.5 <sup>c</sup>	118.50 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0	2.91 <sup>d</sup>	2.92 <sup>e</sup>	1.42 <sup>c</sup>	318.25 <sup>f</sup>	900.50 <sup>e</sup>	61.50 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-0.75	10	2.67 <sup>d</sup>	3.95 <sup>c</sup>	1.20 <sup>cd</sup>	365.75 <sup>e</sup>	711.5 <sup>f</sup>	42.75 <sup>f</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-0.75	0	1.68 <sup>f</sup>	1.60 <sup>g</sup>	1.07 <sup>d</sup>	102.75 <sup>i</sup>	403.25 <sup>j</sup>	41.25 <sup>f</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-1.50	10	1.83 <sup>f</sup>	2.30 <sup>f</sup>	1.12 <sup>d</sup>	114.75 <sup>i</sup>	294.75 <sup>j</sup>	26.75 <sup>g</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	-1.50	0	1.09 <sup>g</sup>	1.25 <sup>h</sup>	0.60 <sup>e</sup>	33.25 <sup>j</sup>	101.0 <sup>k</sup>	10.75 <sup>h</sup>

$\Psi_w$ : potencial hídrico, TE: tasa de emergencia, LR: largo de raíz, AP: altura de la planta, BFR: biomasa fresca de raíz, BFPA: biomasa fresca parte aérea, BSPA: biomasa seca parte aérea. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

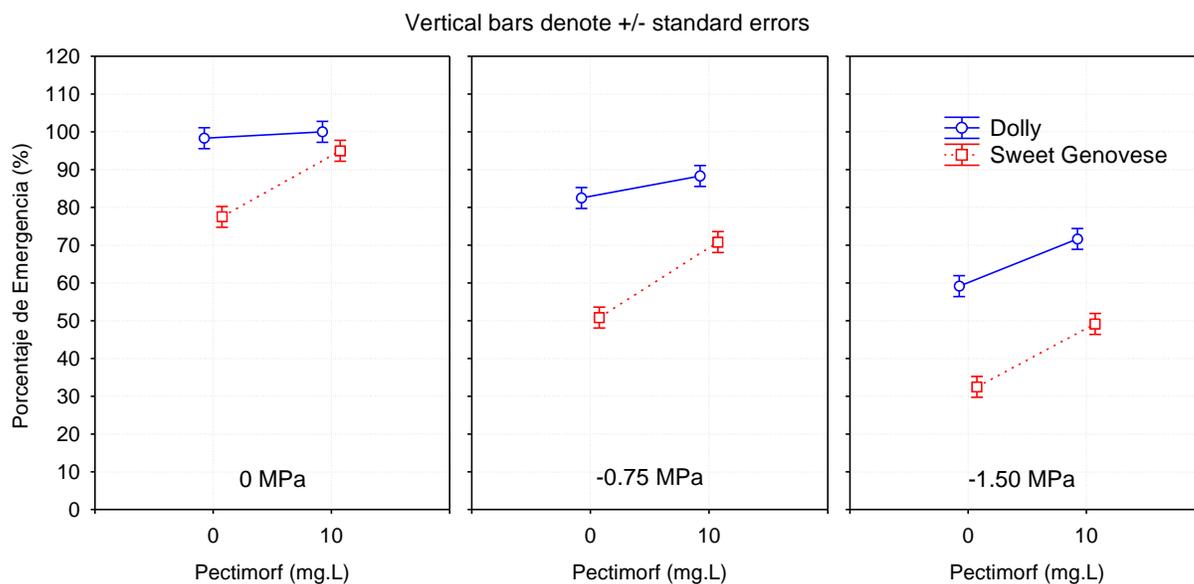


Figura 13. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf en el porcentaje de emergencia en la etapa de emergencia de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

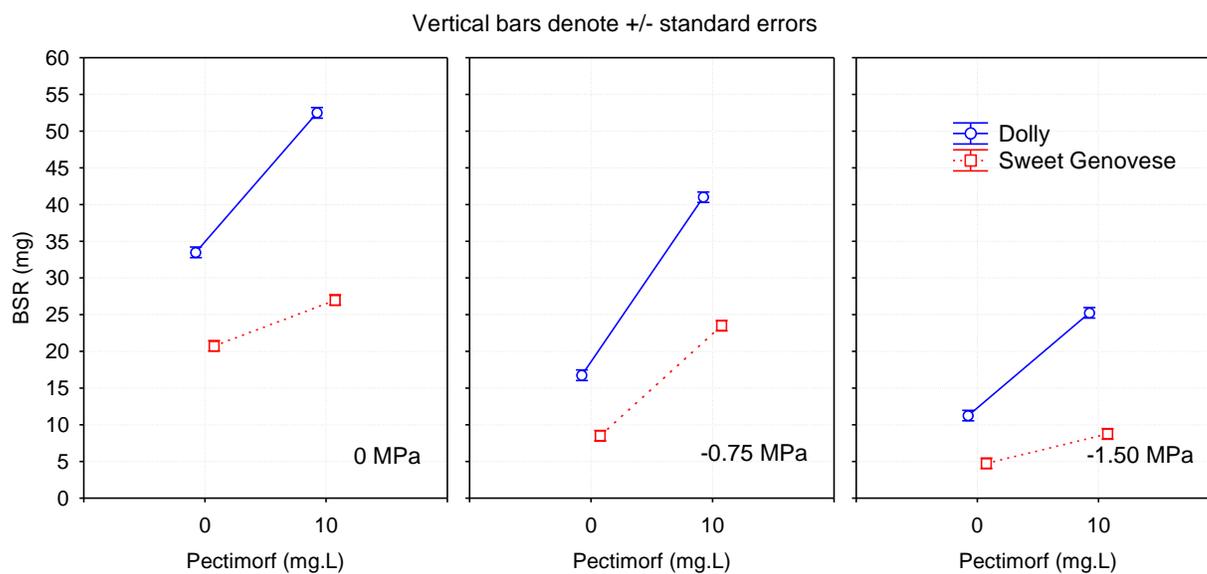


Figura 14. Efecto de la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf en la biomasa seca de raíz en la etapa de emergencia de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

### 6.5.2 Variables morfométricas

Se presentaron diferencias significativas para la variable longitud de la raíz (LR) entre variedades ( $F_{1,36}=713.75$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=678.66$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=1334.19$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=23.69$ ;  $p\leq 0.0000$ ) se observó que cuando el potencial hídrico fue más negativo, la longitud de la raíz fue menor, acentuándose más en la variedad *Sweet Genovese* (Tabla 16). Para la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=19.96$ ;  $p\leq 0.0000$ ) ambas variedades mostraron la mayor longitud de la raíz cuando fueron tratadas con pectimorf a una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabla 17). Para la triple interacción también se encontraron diferencias significativas ( $F_{2,36}=7.73$ ;  $p\leq 0.0000$ ), ambas variedades alcanzaron los valores mayores de longitud de raíz cuando recibieron el tratamiento con pectimorf a una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , siendo *Dolly* la variedad de mayor longitud y *Sweet Genovese* la de menor LR cuando se aplicó  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 18).

La altura de la planta (AP) mostro diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=426.08$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=646.11$ ;  $p\leq 0.0001$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=391.32$ ;  $p\leq 0.0001$ ). En el análisis de las interacciones se encontró diferencia significativa entre variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=58.44$ ;  $p\leq 0.0000$ ) observándose una disminución significativa de la AP para ambas variedades a medida que el potencial hídrico se hizo más negativo (Tabla 16). Para variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=26.63$ ;  $p\leq 0.0000$ ) se observó que ambas variedades aumentaron la altura de la planta cuando fueron tratadas con pectimorf a una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , siendo la variedad *Dolly* la que presentó mayor altura y la *Sweet Genovese* la de menor altura en el tratamiento control (Tabla 17). La triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=32.79$ ;  $p\leq 0.0001$ ) mostró a la variedad *Dolly* con la altura mayor en  $0 \text{ MPa}$  (sin estrés) y con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf; sin embargo, en ambas variedades, la AP incrementó

con respecto al control en la concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf en todos los niveles de potencial hídrico (Tabla 18). La menor AP fue para *Sweet Genovese* en  $-1.50 \text{ MPa}$  (estrés severo) y  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 18).

La biomasa fresca de raíz (BFR) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=13351.0$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=10141.5$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=10728.4$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=189.3$ ;  $p\leq 0.0000$ ). La variedad *Dolly* reveló la mayor BFR cuando el potencial hídrico fue igual a  $0 \text{ MPa}$  (Tabla 16). Para ambas variedades, la BFR disminuyó conforme el estrés se agudizó, llegando al valor menor en la variedad *Sweet Genovese* cuando el potencial hídrico fue de  $-1.50 \text{ MPa}$  (estrés severo). Para variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=627.1$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se observó que la variedad *Dolly* con una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf fue la que alcanzó mayor biomasa fresca de raíz y *Sweet Genovese* con  $0 \text{ mg L}^{-1}$  la de menor BFR (Tabla 17). En la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf también se encontraron diferencias significativas ( $F_{2,36}=46.3$ ;  $p\leq 0.0000$ ), siendo la variedad *Dolly* la de mayor BFR en un potencial hídrico de  $0 \text{ MPa}$  y una concentración de pectimorf de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  y la *Sweet Genovese* la de menor BFR cuando el estrés fue severo y la concentración de pectimorf aplicado fue  $0 \text{ mg L}^{-1}$ . Se observó que ambas variedades mostraron un incremento de esta variable cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, aún y cuando estaban sometidas a niveles de estrés de moderado a severo (Tabla 18).

La biomasa seca de raíz (BSR) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=1219.17$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=848.06$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=1096.31$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=31.92$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se observó que la variedad *Dolly* en el tratamiento control fue la de mayor BSR (Tabla 16) y cuando el nivel de potencial hídrico fue más negativo, esta variable disminuyó en ambas variedades, observándose el menor valor en la variedad

*Sweet Genovese* cuando el nivel de potencial hídrico fue de -1.50 MPa (estrés severo). Al evaluar la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=164.94$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se encontró que la variedad *Dolly* con una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf mostró el mayor valor de esta variable y el valor menor fue para *Sweet Genovese* en  $0 \text{ mg L}^{-1}$ . De manera general se observó que ambas variedades presentaron los valores mayores de BSR cuando se trataron con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 17). En la triple interacción no se encontraron diferencias significativas para BSR; sin embargo, hubo diferencias numéricas cuando ambas variedades se trataron con una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, aumentando la biomasa seca de raíz (Figura 14) aún y cuando se encontraban en condiciones de estrés hídrico de moderado (-0.75 MPa) a severo (-1.50 MPa).

La biomasa fresca de parte aérea (BFPA) mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=16327.2$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=34165.9$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=13429.1$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones se encontraron diferencias significativas para variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=3813.9$ ;  $p\leq 0.0000$ ) donde la variedad *Dolly* para un potencial hídrico de 0 MPa (sin estrés), obtuvo el valor mayor y *Sweet Genovese* en condiciones de potencial hídrico de -1.50 MPa (estrés severo) fue la más afectada en esta variable. De forma general, ambas variedades presentaron una disminución significativa en BFPA conforme el estrés hídrico se incrementó (Tabla 16). Para variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=1516.2$ ;  $p\leq 0.0000$ ) ambas variedades presentaron el valor mayor cuando se le aplicó pectimorf, pero *Dolly* fue la que obtuvo el valor mayor cuando la concentración del pectimorf fue de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  y *Sweet Genovese* mostró la menor BFPA cuando la concentración de pectimorf fue de  $0 \text{ mg L}^{-1}$ . Para la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentraciones de pectimorf ( $F_{2,36}=1000.6$ ;  $p\leq 0.0000$ ), los valores mayores fueron para *Dolly* en 0 MPa (sin estrés) y con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf. Sin embargo, en ambas variedades la BFPA

incrementó con respecto al control en la concentración de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, en todos los niveles de potencial hídrico (Tabla 18). La menor BFPA fue para *Sweet Genovese* en -1.50 MPa (estrés severo) y 0 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 18).

En la variable biomasa seca de parte aérea (BSPA) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,36}=7422.10$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=8113.03$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,36}=4134.74$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción variedades\*niveles de potencial hídrico ( $F_{2,36}=937.82$ ;  $p\leq 0.0000$ ), reveló que la variedad *Dolly* en 0 MPa fue la de menor BSPA y *Sweet Genovese* en -1.50 MPa fue la más afectada, observándose una disminución para ambas variedades en esta variable a medida que el potencial hídrico fue más negativo (Tabla 16). La interacción variedades\*concentración de pectimorf ( $F_{1,36}=836.08$ ;  $p\leq 0.0000$ ) reveló una mayor BSPA cuando se aplicó pectimorf a una concentración de 10 mg L<sup>-1</sup>, obteniendo la variedad *Dolly* un aumento de 43.41% y *Sweet Genovese* un 65.63% con respecto al control (Tabla 17). En la triple interacción variedades\*niveles de potencial hídrico\*concentración de pectimorf ( $F_{2,36}=230.24$ ;  $p\leq 0.0000$ ), se mostró la variedad *Dolly* con la mayor BSPA en 0 MPa (sin estrés) y con 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf; sin embargo, en ambas variedades, la BSPA incrementó con respecto al control en la concentración de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf en todos los niveles de potencial hídrico (Tabla 18). La menor BSPA fue para *Sweet Genovese* en -1.50 MPa (estrés severo) y 0 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 18).

## **6.6 Efecto del pectimorf como atenuante del estrés hídrico en variedades de albahaca en la etapa de crecimiento vegetativo inicial**

### **6.6.1 Variables fisiológicas**

#### **6.6.1.1 Fotosíntesis y transpiración**

En la fotosíntesis se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,64}=266.07$ ;  $p\leq 0.0000$ ), siendo la variedad *Dolly* la de mayor fotosíntesis (Tabla 19), entre niveles de estrés hídrico ( $F_{1,64}=777.55$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y entre las

concentraciones de pectimorf ( $F_{1,64}=219.6$ ;  $p\leq 0.0000$ ) (Tabla 20). En el análisis de las interacciones para esta variable se encontraron diferencias significativas entre variedades\*niveles de estrés ( $F_{1,64}=41.17$ ;  $p\leq 0.0000$ ), donde la variedad *Dolly* cuando el potencial hídrico fue igual a cero, fue la de mayor fotosíntesis, seguida de la variedad *Sweet Genovese* en igual potencial hídrico. Para ambas variedades, la fotosíntesis disminuyó cuando se presentó la pérdida de turgencia mantenida (PTM) siendo más visible en *Sweet Genovese* (Tabla 21). La interacción variedades\*concentraciones de pectimorf no mostró diferencias significativas; sin embargo, se observó un aumento de la fotosíntesis en ambas variedades cuando se trataron con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Figura 15). Para la triple interacción variedades\*niveles de estrés\*concentraciones de pectimorf, se encontró diferencia significativa ( $F_{1,64}=3.45$ ;  $p\leq 0.006$ ), observándose un mayor proceso fotosintético en la variedad *Dolly* sin estrés hídrico y con aplicación del pectimorf y menor fotosíntesis en la variedad *Sweet Genovese* en estrés hídrico y sin la aplicación del pectimorf. Para ambas variedades se observó que aún y cuando se encontraban en estrés hídrico, los valores más altos de fotosíntesis lo mostraron cuando se aplicó el pectimorf (Tabla 22).

Tabla 19. Fotosíntesis y transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.

Variedades	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
<i>Dolly</i>	7.01 <sup>a</sup>	4.27 <sup>a</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	4.78 <sup>b</sup>	3.65 <sup>b</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 20. Efecto del estrés hídrico y pectimorf en la fotosíntesis y transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Estrés	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
0	7.79 <sup>a</sup>	4.43 <sup>a</sup>
PTM	3.99 <sup>b</sup>	3.49 <sup>b</sup>

Pectimorf ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
0	4.88 <sup>b</sup>	3.76 <sup>b</sup>
10	6.90 <sup>a</sup>	4.16 <sup>a</sup>

PTM= Pérdida de turgencia mantenida. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 21. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico en la fotosíntesis de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento inicial.

Variedades	Estrés	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
<i>Dolly</i>	0	9.35 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	4.66 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	6.24 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	3.31 <sup>d</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 22. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés\*concentración de pectimorf en la fotosíntesis de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento.

Variedades	Estrés	Pectimorf ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
<i>Dolly</i>	0	10	10.54 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	0	8.15 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	10	5.70 <sup>d</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	0	3.63 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	10	6.98 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0	5.51 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	10	4.39 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	0	2.23 <sup>f</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ )

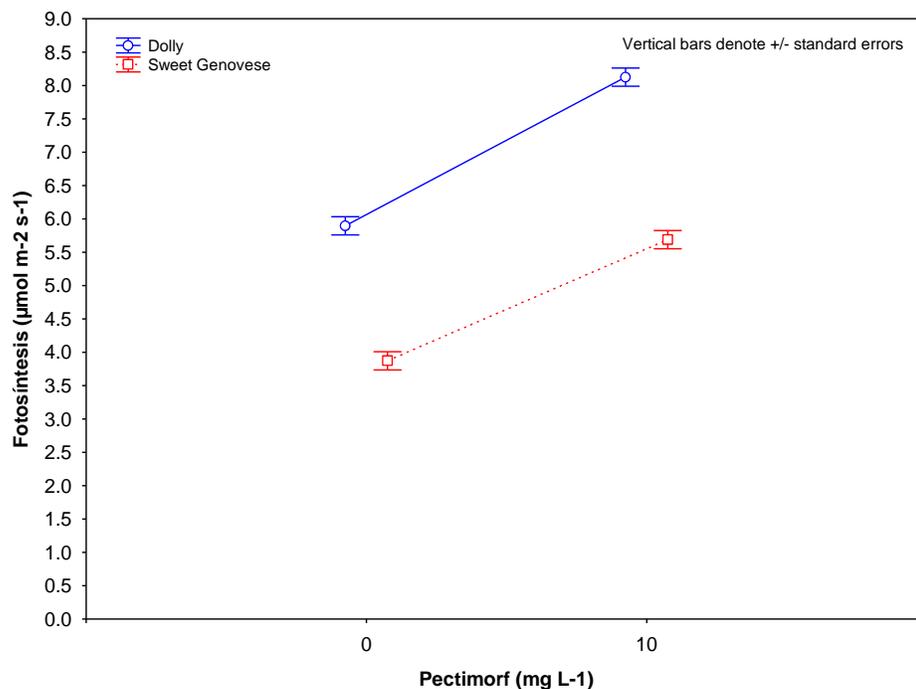


Figura 15. Efecto de la interacción variedades\*concentración de pectimorf en el promedio de fotosíntesis de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

En la transpiración, el análisis mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,64}=11.83$ ;  $p \leq 0.001$ ), siendo la variedad *Dolly* la de mayor transpiración (Tabla 19). También se encontraron diferencias entre niveles de estrés ( $F_{1,64}=27.05$ ;  $p \leq 0.0000$ ) y entre concentraciones de pectimorf ( $F_{1,64}=4.82$ ;  $p \leq 0.0031$ ) (Tabla 20). Para la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico no se encontró diferencia significativa; sin embargo, se observó en ambas variedades una disminución de la transpiración cuando se presentó la pérdida de turgencia mantenida (Figura 16).

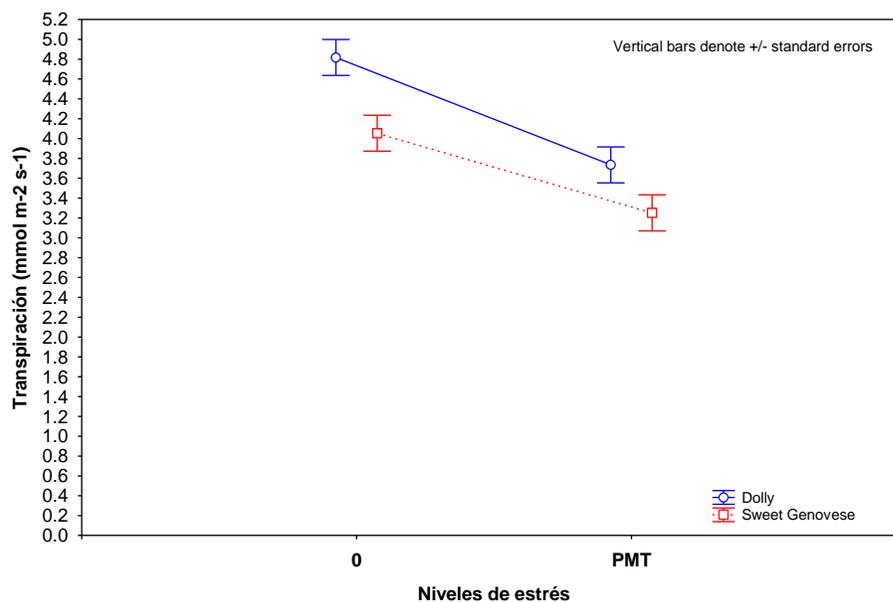


Figura 16. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico en la transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.

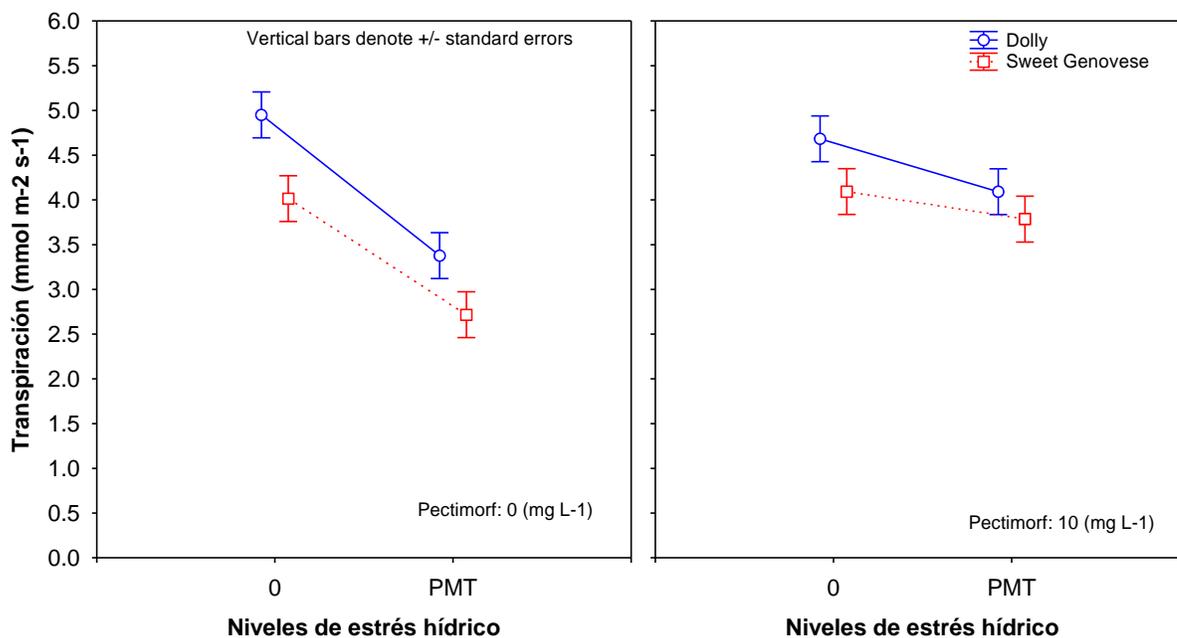


Figura 17. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf en la transpiración de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.

El análisis de la triple interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf, no mostró diferencia significativa, aunque se observó (Figura 17) que la disminución en la transpiración para ambas variedades en las plantas sometidas a estrés hídrico fue menor cuando se aplicó pectimorf.

### **6.6.2 Determinación de pigmentos fotosintéticos**

Para la clorofila a (CHL A) a los 58 días después del trasplante (DDT) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=51.0$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=817.18$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=83.81$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=10.37$ ;  $p\leq 0.0000$ ), siendo la variedad *Dolly* la de mayor CHL A, cuando la concentración de pectimorf fue de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  y *Sweet Genovese* la de menor CHL A cuando no se le aplicó pectimorf (Tabla 24). Para la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico y variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf no se encontró diferencia significativa en esta variable.

Se presentaron diferencias significativas para la clorofila b (CHL B) a los 58 DDT entre variedades ( $F_{1,16}=21.77$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=423.39$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=21.92$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=15.47$ ;  $p\leq 0.0000$ ), donde la variedad *Sweet Genovese* fue la de menor clorofila b en el tratamiento control y cuando se aplicó pectimorf a una dosis de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  no hubo diferencia en esta variable entre variedades (Tabla 24). Para la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico y en la triple interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf no se encontró diferencia significativa.

Para clorofila total (CHL total) se presentaron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=46.99$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=787.36$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=70.02$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones se mostró diferencias significativas para variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=13.55$ ;  $p\leq 0.0000$ ), siendo la variedad *Dolly* la de mayor CHL total cuando se le aplicó pectimorf a una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  y la variedad *Sweet Genovese* en el tratamiento control la que mostró menor clorofila total (Tabla 24). Para la triple interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf no reveló diferencia significativa; sin embargo, se observó que para ambas variedades, la clorofila total aumentó cuando se aplicó el pectimorf, aún y cuando se encontraban en condiciones de estrés hídrico (Figura 18).

Tabla 23. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico en el promedio de pigmentos fotosintéticos de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Clorofila A ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila B ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila Total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	
	0	PTM	0	PTM	0	PTM
58 DDT	Niveles de estrés hídrico					
<i>Dolly</i>	36.2 <sup>a</sup>	19.7 <sup>a</sup>	12.7 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	48.9 <sup>a</sup>	27.1 <sup>a</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	32.2 <sup>a</sup>	15.3 <sup>a</sup>	11.4 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	43.6 <sup>a</sup>	21.7 <sup>a</sup>
65 DDT	Clorofila A ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila B ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila Total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	
	Niveles de estrés hídrico					
<i>Dolly</i>	40.4 <sup>a</sup>	18.5 <sup>c</sup>	13 <sup>a</sup>	7.2 <sup>a</sup>	53.4 <sup>a</sup>	25.8 <sup>a</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	31.5 <sup>b</sup>	13.9 <sup>d</sup>	10.2 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	41.7 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>

PTM= Pérdida de turgencia mantenida. DDT: Dias después del trasplante; Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 24. Efecto de la interacción variedades\*concentración de pectimorf en el promedio de pigmentos fotosintéticos de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Clorofila A ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila B ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila Total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	
58 DDT	Concentraciones de pectimorf ( $\text{mg L}^{-1}$ )					
	0	10	0	10	0	10
<i>Dolly</i>	26.2b	29.7a	10a	10.1a	36.2b	39.9a
<i>Sweet Genovese</i>	20.2c	27.4ab	7.8b	10a	28c	37.4ab
65 DDT	Clorofila A ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila B ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Clorofila Total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	
	Concentraciones de pectimorf ( $\text{mg L}^{-1}$ )					
	0	10	0	10	0	10
<i>Dolly</i>	22.4a	36.5a	7.9a	12.3a	30.4a	48.8a
<i>Sweet Genovese</i>	16.5a	28.8a	5.6a	9.6a	22.2a	38.5a

DDT: Días después del trasplante; Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

La clorofila a (CHL A) a los 65 DDT mostró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=47.03$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=396.85$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=177.35$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=4.59$ ;  $p\leq 0.004$ ). Al analizar esta última, se observó que la variedad *Dolly* en el tratamiento control fue la que presentó mayor contenido de CHL A y la variedad *Sweet Genovese* cuando se presentó el PTM disminuyó la CHL A (Tabla 23). En la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf y en la triple interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf, no se encontró diferencias significativas para esta variable; sin embargo, se observaron los valores mayores de CHL A (Tabla 24) en ambas variedades cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf.

En la clorofila b (CHL B) a los 65 DDT se encontró diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=25.30$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=121.50$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=73.53$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones no se encontraron diferencias significativas; sin embargo, se observó que la CHL B disminuyó en ambas variedades cuando se presentó el PTM (Tabla 23) y aumentó para ambas variedades cuando se aplicó el pectimorf (Tabla 24).

Para la clorofila total (CHL total) a los 65 DDT, los resultados revelaron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=41.41$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de estrés hídrico ( $F_{1,16}=304.96$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=146.11$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar las interacciones, no se mostraron diferencias significativas para variedades\*niveles de estrés hídrico, pero se observó en ambas variedades una disminución de la CHL total cuando se presentó el PTM (Tabla 23). Para la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf, los resultados no revelaron diferencias significativas; sin embargo, numéricamente fue mayor la clorofila total en ambas variedades cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 24). La triple interacción no mostró diferencia significativa, pero se observó en ambas variedades un aumento de la CHL total en el tratamiento de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf aún y cuando se encontraron en condiciones de estrés hídrico (Figura 19).

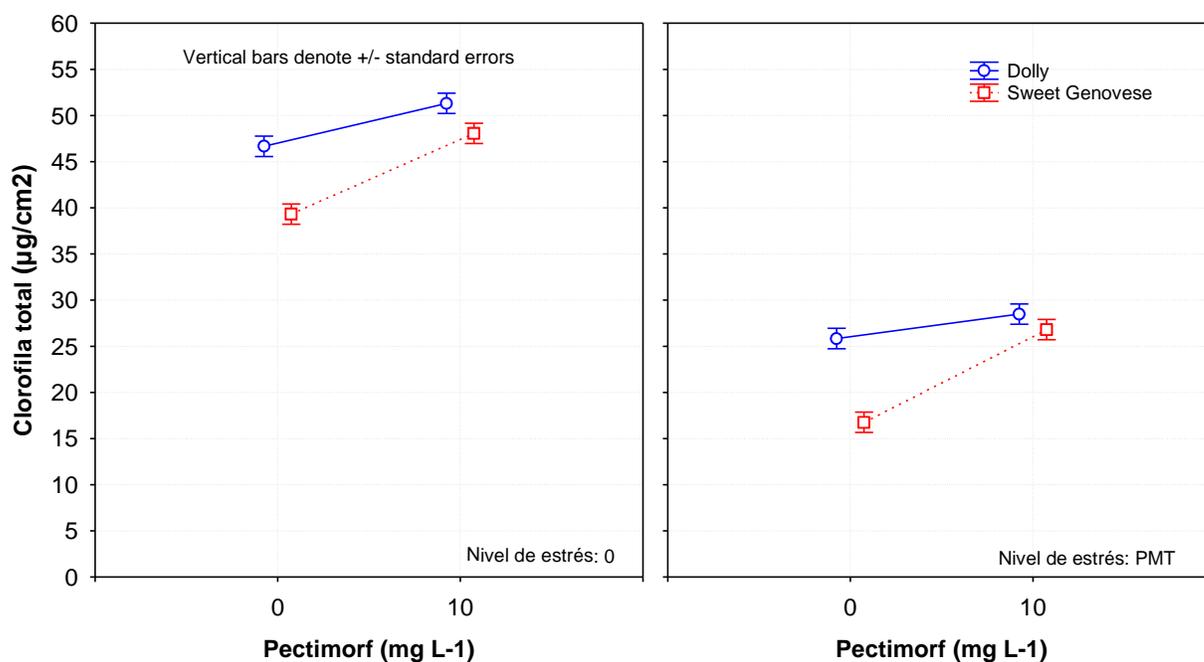


Figura 18. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf en la clorofila total a los 58 DDT en plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial.

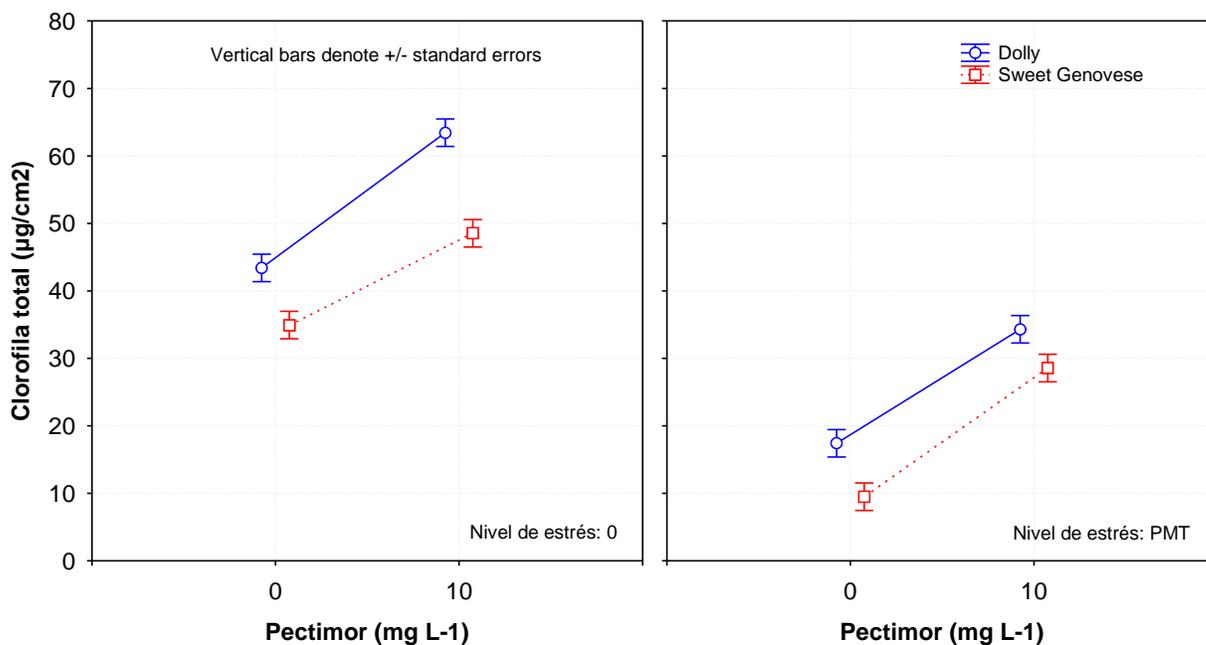


Figura 19. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico\*concentraciones de pectimorf en la clorofila total a los 65 DDT en plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.

### 6.6.3 Relaciones hídricas

#### 6.6.3.1 Contenido relativo de agua y potencial hídrico

Para el contenido relativo de agua (CRA) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=333.1$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=3455.8$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=10.54$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,16}=20.6$ ;  $p\leq 0.0003$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=12.5$ ;  $p\leq 0.0002$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=49.2$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar las interacciones, se observó que la variedad *Dolly*, presentó mayor CRA en el tratamiento control (Capacidad de campo -CC-), aunque en ambas variedades disminuyó el CRA cuando se presentó la PTM, siendo más notable en la variedad *Sweet Genovese* (Tabla 25). Ambas variedades incrementaron el CRA cuando se trataron con 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 26), siendo mayor en la variedad *Dolly*. La interacción variedades\*niveles de

humedad\*concentración de pectimorf mostró a la variedad *Dolly* sin estrés hídrico (CC) con la aplicación de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf con el mayor CRA (Tabla 27); sin embargo, en ambas variedades se observó un incremento en el CRA cuando se aplicó pectimorf, aún y cuando se encontraban en condiciones de estrés hídrico (PTM). El menor CRA se encontró en la variedad *Sweet Genovese*, en condiciones de estrés (PTM) y sin la aplicación de pectimorf.

Para el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=50.41$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=774.8$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=103.5$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,16}=26.79$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=14$ ;  $p\leq 0.0005$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=16.7$ ;  $p\leq 0.0002$ ). Al analizar las interacciones, se observó que al presentarse el PTM, el potencial hídrico se hizo más negativo (Tabla 25) para ambas variedades, siendo más marcado en la variedad *Dolly*, lo que demuestra que es una variedad potencialmente tolerante al manifestar los síntomas de estrés hídrico (PTM) a un potencial hídrico de -2.4 MPa. Los resultados revelaron que en ambas variedades, el potencial hídrico se incrementó positivamente cuando se aplicó pectimorf. En la triple interacción, se observó que ambas variedades, sin estrés hídrico y con la aplicación de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, el potencial hídrico fue mayor. El análisis de ambas variedades cuando se presentó el PTM, se observó que las plantas tratadas con el pectimorf llegaron al PTM cuando el potencial hídrico fue más negativo, siendo esto más asentado en la variedad *Dolly* (Tabla 27).

Tabla 25. Efecto de la interacción variedades\*niveles de humedad en el contenido relativo de agua y potencial hídrico de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	CRA (%)		$\Psi_w$ (MPa)	
	Niveles de humedad			
	CC	PTM	CC	PTM
<i>Dolly</i>	91.37 <sup>a</sup>	74.95 <sup>c</sup>	-0.63 <sup>a</sup>	-2.4 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	87.05 <sup>b</sup>	68.8 <sup>d</sup>	-0.53 <sup>a</sup>	-1.75 <sup>b</sup>

CRA: Contenido relativo de agua,  $\Psi_w$ : Potencial hídrico, PTM: Pérdida de turgencia mantenida. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 26. Efecto de la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf en el contenido relativo de agua y potencial hídrico de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	CRA (%)		$\Psi_w$ (MPa)	
	Concentración de pectimorf ( $\text{mg L}^{-1}$ )			
	10	0	10	0
<i>Dolly</i>	87.3 <sup>a</sup>	78.2 <sup>c</sup>	-1.14 <sup>ab</sup>	-1.89 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	82.7 <sup>b</sup>	71.4 <sup>d</sup>	-0.96 <sup>a</sup>	-1.31 <sup>b</sup>

CRA: Contenido relativo de agua,  $\Psi_w$ : Potencial hídrico. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 27. Efecto de la interacción variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf en el CRA y  $\Psi_w$  de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico.

Variedades	Niveles de humedad	Pectimorf ( $\text{mg L}^{-1}$ )	CRA (%)	(MPa)
<i>Dolly</i>	CC	10	93.69 <sup>a</sup>	-0.46 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	CC	0	89.05 <sup>b</sup>	-0.81 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	10	81.41 <sup>d</sup>	-3.33 <sup>e</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	0	68.48 <sup>f</sup>	-1.48 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	CC	10	88.27 <sup>b</sup>	-0.37 <sup>a</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	CC	0	85.83 <sup>c</sup>	-0.68 <sup>ab</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	10	76.56 <sup>e</sup>	-2.25 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	0	61.23 <sup>g</sup>	-1.25 <sup>c</sup>

CC: Capacidad de campo, PTM: Pérdida de turgencia mantenida, CRA: Contenido relativo de agua. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

#### 6.6.4 Variables bioquímicas

Para los carbohidratos reductores foliares (CHO-RED) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=50$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=22.58$ ;  $p\leq 0.0002$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=11.57$ ;  $p\leq 0.0036$ ). Al analizar las interacciones variedades\*niveles de humedad, no se encontró

diferencia significativa, pero se observó en ambas variedades una disminución de los CHO-RED (Tabla 28) cuando las plantas se encontraron en condiciones de estrés (PTM). Para variedades\*concentraciones de pectimorf, tampoco se encontró diferencias significativas (Tabla 29). Sin embargo, se observó en ambas variedades que las plantas tratadas con pectimorf presentaron mayor concentración de CHO-RED. En la triple interacción\*variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf, el análisis reveló diferencias significativas ( $F_{1,16}=7.08$ ;  $p\leq 0.0017$ ), observándose que la variedad *Dolly* sin estrés hídrico y aplicación de pectimorf de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  presentó la mayor cantidad de CHO-RED y la variedad *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico (PTM) y sin la aplicación del pectimorf fue la de menor cantidad de CHO-RED, notándose un incremento en esta última variedad en las mismas condiciones pero con la aplicación de pectimorf (Tabla 30).

Para proteína en hoja, se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=516.79$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=199.29$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=312$ ;  $p\leq 0.0000$ ). En el análisis de las interacciones también se encontraron diferencias significativas para variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,16}=71.11$ ;  $p\leq 0.0000$ ), observándose una mayor cantidad de proteína en la variedad *Dolly* sin estrés hídrico y menor cantidad en la variedad *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico (Tabla 28). Para la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf, no se encontraron diferencias significativas, pero se observó en ambas variedades, mayor proteína cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 29). En la interacción variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf, el análisis mostró diferencias significativas ( $F_{1,16}=19.04$ ;  $p\leq 0.0004$ ), siendo la variedad *Dolly* sin condiciones de estrés y con la aplicación del pectimorf la de mayor proteína en hoja y la variedad *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico y sin la aplicación del pectimorf la de menor proteína en hojas (Tabla 30). En ambas variedades se observó un incremento de la proteína en hoja cuando se aplicó el pectimorf, tanto en condiciones de estrés hídrico, como de no estrés.

Para proteína en raíz se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=516.4$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=215.4$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de Pectimorf ( $F_{1,16}=249.89$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,16}=225.79$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=178.27$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=14.19$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Analizando las interacciones se observó que *Dolly* mostró mayor proteína en raíz (Tabla 28) y *Sweet Genovese* menor contenido, disminuyendo en esta variedad cuando las plantas se sometieron a estrés hídrico (PTM). La variedad *Dolly* también mostró mayor proteína en raíz cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf. Aunque la variedad *Sweet Genovese* no mostró diferencia significativa cuando se aplicó pectimorf, se observó un aumento de proteína en raíz con la aplicación del pectimorf (Tabla 29). La interacción variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf mostró a *Dolly* con mayor proteína en 0 estrés hídrico y  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf; sin embargo, en ambas variedades el contenido de proteína en raíz aumentó cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf aún y cuando las plantas estaban en condiciones de estrés hídrico.

Para prolina en hoja se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=2845.27$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=1308.8$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=1508.7$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,16}=16.07$ ;  $p\leq 0.0010$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=369.65$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=42.59$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar las interacciones, se observó que *Dolly* en estrés hídrico, mostró mayor prolina en hoja, aunque en ambas variedades la prolina fue mayor en plantas en condiciones de estrés hídrico (Tabla 28). *Dolly* también mostró mayor prolina en hojas en las plantas tratadas con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf (Tabla 29). Ambas variedades mostraron un incremento de prolina en hojas en las plantas tratadas con  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf. Para la triple interacción se observó que *Dolly* en condiciones de estrés hídrico y aplicación de pectimorf, fue la que

mostró mayor prolina en hojas; sin embargo, en ambas variedades se incrementó la prolina en hojas cuando las plantas se sometieron a condiciones de estrés hídrico y tratadas con 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 30).

Para prolina en raíz se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,16}=1218.97$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,16}=1047.28$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=845.35$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,16}=301.07$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=182.50$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,16}=12.69$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción de los factores, se observó que en ambas variedades la prolina en raíz incrementó cuando las plantas se sometieron a condiciones de estrés hídrico, siendo aún mayor en la variedad *Dolly* (Tabla 28). También se observó un incremento de prolina en raíz en plantas tratadas con pectimorf (Tabla 29), siendo mayor en *Dolly*. Al analizar la triple interacción, los resultados revelaron que la variedad *Dolly* en condiciones de estrés hídrico y con aplicación de pectimorf fue la de mayor contenido de prolina en raíz, aunque en ambas variedades se observó un incremento de prolina cuando las plantas se encontraban en condiciones de estrés hídrico y tratadas con pectimorf (Tabla 30).

Tabla 28. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico en el promedio de las variables bioquímicas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.

Variedades	Estrés	CHO-RED	Proteína (hojas)	Proteína (raíz)	Prolina (hojas)	Prolina (raíz)
		mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
<i>Dolly</i>	0	0.86 <sup>a</sup>	449.9 <sup>a</sup>	404.6 <sup>a</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.29 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	0.64 <sup>a</sup>	368.1 <sup>b</sup>	405.9 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0.56 <sup>a</sup>	336.8 <sup>c</sup>	375.3 <sup>b</sup>	0.18 <sup>d</sup>	0.18 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	0.45 <sup>a</sup>	316.1 <sup>d</sup>	262.3 <sup>c</sup>	0.37 <sup>c</sup>	0.27 <sup>b</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 29. Efecto de la interacción variedades\*concentración de pectimorf en el promedio de las variables bioquímicas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento.

Variedades	Pectimorf	CHO-RED	Proteína (hojas)	Proteína (raíz)	Prolina (hojas)	Prolina (raíz)
	mg.L <sup>-1</sup>	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
<i>Dolly</i>	10	0.79 <sup>a</sup>	439 <sup>a</sup>	460.7 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	0.55 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	0.70 <sup>a</sup>	378 <sup>a</sup>	349.8 <sup>b</sup>	0.42 <sup>b</sup>	0.31 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	10	0.58 <sup>a</sup>	359 <sup>a</sup>	323.5 <sup>c</sup>	0.33 <sup>c</sup>	0.27 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0.43 <sup>a</sup>	293 <sup>a</sup>	314.2 <sup>c</sup>	0.22 <sup>d</sup>	0.18 <sup>d</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 30. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés \*concentraciones de pectimorf en el promedio de las variables bioquímicas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento.

Variedades	Estrés	Pectimorf	CHO-RED	Proteína (hojas)	Proteína (raíz)	Prolina (hojas)	Prolina (raíz)
		mg L <sup>-1</sup>	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
<i>Dolly</i>	0	10	0.98 <sup>a</sup>	469.7 <sup>a</sup>	483 <sup>a</sup>	0.53 <sup>b</sup>	0.36 <sup>c</sup>
<i>Dolly</i>	0	0	0.73 <sup>b</sup>	430.2 <sup>b</sup>	326.2 <sup>e</sup>	0.41 <sup>c</sup>	0.21 <sup>d</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	10	0.61 <sup>b</sup>	409.8 <sup>b</sup>	438.5 <sup>b</sup>	0.99 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	0	0.67 <sup>b</sup>	326.4 <sup>d</sup>	373.4 <sup>cd</sup>	0.43 <sup>c</sup>	0.40 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	10	0.62 <sup>b</sup>	375 <sup>c</sup>	388.6 <sup>c</sup>	0.17 <sup>e</sup>	0.20 <sup>de</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0	0.50 <sup>bc</sup>	298.5 <sup>e</sup>	362 <sup>d</sup>	0.19 <sup>e</sup>	0.17 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	10	0.53 <sup>bc</sup>	344.7 <sup>d</sup>	258.4 <sup>f</sup>	0.50 <sup>b</sup>	0.34 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	0	0.36 <sup>c</sup>	287.6 <sup>e</sup>	266.3 <sup>f</sup>	0.24 <sup>d</sup>	0.20 <sup>de</sup>

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

### 6.6.5 Variables morfométricas

Para longitud de la raíz (LR) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=647.57$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=600$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=1066.6$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=101.4$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*concentración de pectimorf ( $F_{1,40}=14.52$ ;  $p\leq 0.0004$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentración de pectimorf ( $F_{1,40}=52.02$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción de los factores se observó que la variedad *Dolly* en el tratamiento control ( $\Psi_w=0$ ) mostró mayor longitud de raíz (Tabla 31) y ambas variedades disminuyeron en las plantas en estrés hídrico (PTM). Se observó que al aplicar 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, incrementó la longitud de la raíz en

ambas variedades (Tabla 32) siendo mayor en *Dolly*. Para la triple interacción se mostró un efecto positivo del pectimorf en ambas variedades, las plantas que se encontraban en estrés hídrico, incrementaron la longitud de raíz cuando se aplicó 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf; llegando a ser aún mayor que el tratamiento control en la variedad *Dolly* (Tabla 33).

Para la longitud de tallo (LT) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=1108$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=1908$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=1504$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=8.4$ ;  $p\leq 0.0061$ ), variedades\*concentración de Pectimorf ( $F_{1,40}=80.5$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentración de pectimorf ( $F_{1,40}=72.2$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Los resultados revelaron que *Dolly* sin estrés hídrico fue la de mayor longitud de tallo y *Sweet Genovese* en condiciones de estrés (PTM) la de menor LT (Tabla 31). Para ambas variedades se observó una disminución de LT en las plantas que se encontraban en estrés hídrico. Al aplicar pectimorf, las plantas de las dos variedades mostraron un incremento significativo (Tabla 32) en LT, notándose aún mayor en la variedad *Dolly*. En la triple interacción se observó que *Dolly* sin estrés hídrico y 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, mostró mayor longitud de raíz y *Sweet Genovese* en condiciones de estrés y sin pectimorf mostró menor LT, pero en ambas variedades se observó un efecto estimulador positivo del pectimorf al incrementar LT aún y cuando las plantas se encontraban en estrés hídrico.

Para peso fresco de raíz (PFR) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=1365$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=2854$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=2086$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y en la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=123.22$ ;  $p\leq 0.0000$ ), donde *Dolly* mostró mayor PFR cuando se aplicó 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf y *Sweet Genovese* la de menor PFR sin la aplicación de pectimorf. En ambas variedades, el pectimorf incrementó el PFR (Tabla 32). Para la interacción variedades\*niveles de humedad y la triple interacción variedades\*niveles de humedad\*concentración de pectimorf,

no se encontraron diferencias significativas, aunque se observó que con la aplicación de pectimorf, en ambas variedades, el PFR incrementó aún en las plantas que se encontraban en condiciones de estrés hídrico.

Para peso seco de raíz (PSR) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=317.19$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=2058$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=1458$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=4.40$ ;  $p\leq 0.004$ ), donde la variedad *Dolly* en el tratamiento control (sin estrés hídrico) mostró el mayor PSR y *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico la de menor PSR, aunque en ambas variedades se observó una disminución del PSR cuando se sometieron a estrés hídrico (Tabla 31). La interacción variedades\*concentraciones de pectimorf no reveló diferencias significativas y en la triple interacción variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf si se encontraron diferencias significativas ( $F_{1,40}=68.23$ ;  $p\leq 0.0000$ ), donde la variedad *Dolly* sin estrés hídrico y  $10 \text{ mg L}^{-1}$  mostró mayor PSR y *Sweet Genovese* en estrés hídrico y sin pectimorf la de menor PSR; sin embargo, se observó que en ambas variedades, el PSR fue mayor cuando se aplicó pectimorf, aún cuando las plantas se encontraban en estrés hídrico (Tabla 33).

Para peso fresco de tallo (PFT), se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=527.42$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=1631$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=856$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=42.95$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=21.74$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Para la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf no se encontraron diferencias significativas. Al analizar las interacciones de los factores, se observó que *Dolly* tuvo mayor PFT en el control (sin estrés) y *Sweet Genovese* en estrés, mostró menor PFT (Tabla 31). Ambas variedades disminuyeron el PFT cuando las plantas se sometieron a estrés hídrico. En la triple interacción se comprobó que con la aplicación de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, el PFT incrementó en ambas

variedades, tanto en las plantas del tratamiento control (sin estrés), como en las plantas que se encontraban en estrés hídrico (Tabla 33).

Para peso seco de tallo (PST), se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=333.3$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=1500$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=520.1$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=16.20$ ;  $p\leq 0.0002$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=6.75$ ;  $p\leq 0.013$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=44.99$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción de los factores, se observó que *Dolly* en el tratamiento control (sin estrés) mostró mayor PST y *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico fue la de menor PST (Tabla 31). Ambas variedades disminuyeron el PST en las plantas que se encontraban en estrés hídrico. *Dolly* también mostró mayor PST cuando se aplicó  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf, aunque ambas variedades mostraron un incremento en esta variable al ser tratadas con pectimorf (Tabla 32). En la triple interacción, los resultados revelaron un incremento del PST en ambas variedades cuando se aplicó pectimorf, aún en las plantas que se encontraban en estrés hídrico, incrementaron el PST con la aplicación del pectimorf, siendo *Dolly* sin estrés hídrico y  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de pectimorf la de mayor PST y *Sweet Genovese* en estrés hídrico (PTM) y sin pectimorf la que presentó menor PST.

En el peso fresco de hojas (PFH) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=897.5$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=2570$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=900.2$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=21.9$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=116.7$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Para la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf no se encontraron diferencias significativas. Al analizar la interacción de los factores, los resultados revelaron que *Dolly* mostró mayor PFH en el control (sin estrés) y *Sweet Genovese* la de menor PFH en estrés hídrico (PTM). Ambas variedades

disminuyeron el PFH cuando se sometieron a estrés hídrico (Tabla 31). En la triple interacción, se observó que *Dolly* sin estrés y con la aplicación de 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf mostró mayor PFH y *Sweet Genovese* en estrés hídrico y sin la aplicación del pectimorf, presentó menor PFH. Se observó que ambas variedades incrementaron el PFH cuando se aplicó pectimorf, aún y cuando se encontraban en estrés hídrico (Tabla 33).

Para peso seco de hojas (PSH) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=2848$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=1816$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=1108$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=42.9$ ;  $p\leq 0.0000$ ), variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=950.3$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=24.8$ ;  $p\leq 0.0000$ ). Al analizar la interacción de los factores se observó que *Dolly* mostró mayor peso seco de hojas en el control (sin estrés) y *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico fue la de menor PSH (Tabla 31). Ambas variedades disminuyeron el PSH en las plantas sometidas a estrés hídrico (PTM). También *Dolly* mostró mayor PSH cuando se aplicó 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf (Tabla 32). Las dos variedades registraron un incremento del PSH cuando las plantas se trataron con pectimorf. Para la triple interacción se observó un incremento del PSH en ambas variedades tanto en las plantas sin estrés como las que estaban sometidas a estrés hídrico (Tabla 33), siendo la variedad *Dolly* sin estrés y con la aplicación de pectimorf la de mayor PSH y *Sweet Genovese* en estrés hídrico y sin la aplicación del pectimorf la de menor PSH.

Para área foliar (AF) se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $F_{1,40}=705$ ;  $p\leq 0.0000$ ), niveles de humedad ( $F_{1,40}=1857$ ;  $p\leq 0.0000$ ), concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=611$ ;  $p\leq 0.0000$ ), las interacciones variedades\*niveles de humedad ( $F_{1,40}=85.05$ ;  $p\leq 0.0000$ ) y variedades\*concentraciones de pectimorf ( $F_{1,40}=4.69$ ;  $p\leq 0.036$ ). Para variedades\*niveles de humedad\*concentraciones de pectimorf no se encontraron

diferencias significativas. Al analizar la interacción de los factores se observó que *Dolly* en el control (sin estrés) mostró mayor AF y *Sweet Genovese* en condiciones de estrés hídrico (PTM) fue la de menor AF. Ambas variedades disminuyeron el AF cuando se sometieron a estrés hídrico (Tabla 31). Los resultados revelaron que las plantas tratadas con 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, aumentaron el AF en cada variedad, siendo *Dolly* la que alcanzó mayor AF (Tabla 32). En el análisis de la triple interacción, aunque no se encontraron diferencias significativas, se observó en ambas variedades, un incremento del AF cuando se aplicó pectimor, aún y cuando las plantas se encontraban en estrés hídrico (Figura 20).

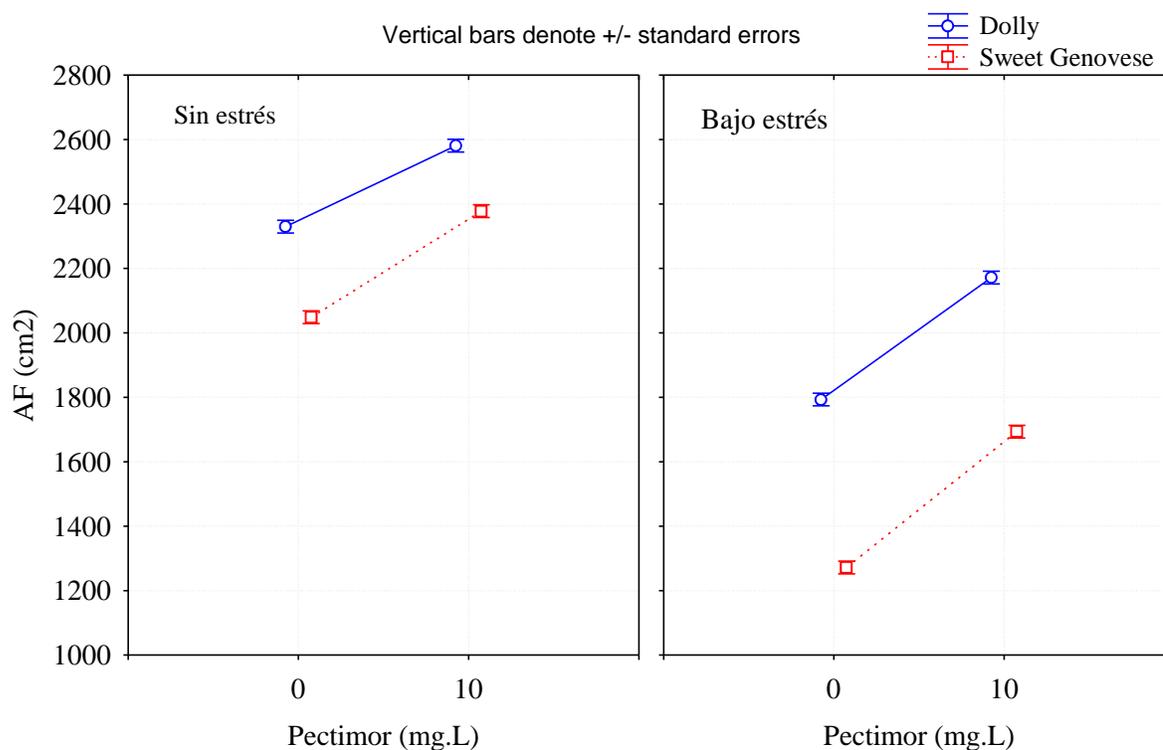


Figura 20. Efecto de la interacción variedades\*niveles de humedad \*concentraciones de pectimorf en el área foliar de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la fase de crecimiento vegetativo inicial.

Tabla 31. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés hídrico en el promedio de variables morfométricas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en la etapa de crecimiento vegetativo inicial.

Variedades	Estrés	LR (cm)	LT (cm)	PSR (g)	PFT (g)	PST (g)	PFH (g)	PSH (g)	AF (cm <sup>2</sup> )
<i>Dolly</i>	0	31.95 <sup>a</sup>	69.91 <sup>a</sup>	1.36 <sup>a</sup>	43.55 <sup>a</sup>	4.63 <sup>a</sup>	51.49 <sup>a</sup>	5.83 <sup>a</sup>	2455.4 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	27.54 <sup>b</sup>	58.45 <sup>c</sup>	0.74 <sup>c</sup>	34.27 <sup>c</sup>	3.11 <sup>c</sup>	39.83 <sup>c</sup>	4.79 <sup>b</sup>	1982.3 <sup>c</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	27.25 <sup>b</sup>	61.37 <sup>b</sup>	1.09 <sup>b</sup>	39.05 <sup>b</sup>	4.01 <sup>b</sup>	44.92 <sup>b</sup>	4.48 <sup>c</sup>	2213.3 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	16.66 <sup>c</sup>	48.29 <sup>d</sup>	0.52 <sup>d</sup>	26.18 <sup>d</sup>	2.14 <sup>d</sup>	31.32 <sup>d</sup>	3.07 <sup>d</sup>	1482.6 <sup>d</sup>

PTM: pérdida de turgencia mantenida, LR: largo de raíz, LT: Largo de tallo, PSR: peso seco de raíz, PFT: peso fresco de tallo, PST: peso seco de tallo, PFH: peso fresco de hojas, PSH: peso seco de hojas, AF: área foliar. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 32. Efecto de la interacción variedades\*concentraciones de pectimorf en el promedio de variables morfométricas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial.

Variedades	Pectimorf Mg.L <sup>-1</sup>	LR (cm)	LT (cm)	PFR (g)	PST (g)	PSH (g)	AF (cm <sup>2</sup> )
<i>Dolly</i>	10	35.33 <sup>a</sup>	68.37 <sup>a</sup>	13.03 <sup>a</sup>	4.31 <sup>a</sup>	5.58 <sup>a</sup>	2373.4 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	24.16 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup>	9.72 <sup>c</sup>	3.43 <sup>c</sup>	5.04 <sup>b</sup>	2061.4 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	10	26.37 <sup>b</sup>	61.54 <sup>b</sup>	10.56 <sup>b</sup>	3.63 <sup>b</sup>	4.93 <sup>c</sup>	2035.8 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	17.54 <sup>d</sup>	48.12 <sup>d</sup>	5.12 <sup>d</sup>	2.52 <sup>d</sup>	2.62 <sup>d</sup>	1660.2 <sup>c</sup>

LR: largo de raíz, LT: largo de tallo, PFR: peso fresco de raíz, PST: peso seco de tallo, PSH: peso seco de hojas, AF: área foliar. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

Tabla 33. Efecto de la interacción variedades\*niveles de estrés\*concentraciones de pectimorf en el promedio de variables morfométricas de plantas de dos variedades de albahaca sometidas a estrés hídrico en el crecimiento vegetativo inicial.

Variedades	Estrés	Pectimorf mg L <sup>-1</sup>	LR (cm)	LT (cm)	PSR (g)	PFT (g)	PST (g)	PFH (g)	PSH (g)
<i>Dolly</i>	0	10	35.16 <sup>a</sup>	73.58 <sup>a</sup>	1.71 <sup>a</sup>	48.6 <sup>a</sup>	5.23 <sup>a</sup>	55.7 <sup>a</sup>	6.11 <sup>a</sup>
<i>Dolly</i>	0	0	28.75 <sup>c</sup>	66.25 <sup>b</sup>	1.01 <sup>c</sup>	38.48 <sup>c</sup>	4.03 <sup>c</sup>	46.53 <sup>b</sup>	5.55 <sup>b</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	10	35.5 <sup>a</sup>	63.16 <sup>c</sup>	0.86 <sup>d</sup>	36.83 <sup>c</sup>	3.39 <sup>d</sup>	42.42 <sup>c</sup>	5.05 <sup>c</sup>
<i>Dolly</i>	PTM	0	19.58 <sup>e</sup>	53.75 <sup>e</sup>	0.61 <sup>e</sup>	31.72 <sup>e</sup>	2.83 <sup>e</sup>	37.24 <sup>d</sup>	4.54 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	10	31.50 <sup>b</sup>	65.16 <sup>b</sup>	1.36 <sup>b</sup>	43.24 <sup>b</sup>	4.43 <sup>b</sup>	47.05 <sup>b</sup>	5.51 <sup>b</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	0	0	23 <sup>d</sup>	57.58 <sup>d</sup>	0.82 <sup>d</sup>	34.86 <sup>d</sup>	3.59 <sup>d</sup>	42.80 <sup>c</sup>	3.46 <sup>e</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	10	21.25 <sup>de</sup>	57.91 <sup>d</sup>	0.78 <sup>d</sup>	30.41 <sup>e</sup>	2.83 <sup>e</sup>	36.74 <sup>d</sup>	4.36 <sup>d</sup>
<i>Sweet Genovese</i>	PTM	0	12.08 <sup>f</sup>	38.66 <sup>f</sup>	0.27 <sup>f</sup>	21.95 <sup>f</sup>	1.45 <sup>f</sup>	25.90 <sup>e</sup>	1.78 <sup>f</sup>

PTM: pérdida de turgencia mantenida, LR: largo de raíz, LT: Largo de tallo, PSR: peso seco de raíz, PFT: peso fresco de tallo, PST: peso seco de tallo, PFH: peso fresco de hojas, PSH: peso seco de hojas. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey,  $p=0.05$ ).

## 7. DISCUSIÓN

### ***7.1 Efecto del estrés hídrico en variedades de albahaca en la etapa de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial***

#### ***7.1.1 Germinación y emergencia***

Los resultados obtenidos en los ensayos de germinación y emergencia mostraron que el estrés hídrico se considera un principio complejo, integrado por una numerosa serie de procesos, algunos de los cuales son deletéreos y otros son adaptativos (Chaves *et al.*, 2003), por lo tanto, es difícil pormenorizar la totalidad de los procesos que son afectados por esta, pudiendo afectar prácticamente a todos los aspectos morfológicos y fisiológicos de los cultivos, que pueden variar en función de la especie y de su grado de tolerancia, pero también en función de la magnitud de la falta de agua y de la rapidez con que se experimente su carencia (Martin de Santa Olalla *et al.*, 2005).

Los efectos de los niveles de potencial hídrico en la germinación y tasa de germinación de las variedades estudiadas (Tabla 2 y Figura 1) muestran que el porcentaje de germinación disminuyó en todas las variedades conforme se incrementó la presión osmótica de la solución de PEG-8000. Esta tendencia mostrada en el proceso germinativo por las variedades estudiadas, demuestra que este carácter es altamente dependiente de las condiciones estresantes en las que se desarrolló el experimento, convirtiéndolo en un carácter con valor en la caracterización de una variedad como potencialmente tolerante al estrés por sequía. Aparecida y Zambillo (2003) indican que uno de los métodos más difundidos para determinar la tolerancia de las plantas al estrés hídrico, es la observación de la capacidad germinativa de las semillas en condiciones de sequía simulada en laboratorios, para lo cual se han usado soluciones acuosas de manitol y PEG, por ser estos compuestos inertes y no tóxicos. La disminución en el porcentaje de germinación de las variedades se atribuye a las concentraciones de PEG-8000, de acuerdo con Silmara y Juliano (2004), ya que impiden la absorción de agua por las semillas, debido al alto potencial

osmótico que se crea en la solución; es indiscutible que una de las causas que conspira contra el desarrollo normal del cultivo y posterior rendimiento es la sequía durante la germinación (Biasutti y Galiñanes 2001).

Resultados análogos reportaron Mohammadkhani y Heidari (2008) al estudiar la respuesta de la germinación al estrés inducido por PEG-6000 (-0.15, -0.49, -1.3 y -1.76 MPa) en dos cultivares de maíz, encontrando que la germinación fue inversamente proporcional a las concentraciones de PEG, es decir, los cultivares mostraron una reducción de la germinación con el aumento de las concentraciones de PEG. Por su parte, Gholami *et al.* (2010) encontraron respuestas similares al evaluar el efecto del estrés inducido por diferentes concentraciones de PEG (0.0, -0.05, -0.1 y -0.5 MPa) sobre la germinación de cuatro especies de *Prunus*, señalando que la germinación fue afectada severamente por la sequía, debido a que en todas las especies, las semillas en el control (0 de potencial osmótico), mostraron mayor capacidad de germinación, pero disminuyó significativamente al disminuir el potencial hídrico (más negativo). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los potenciales hídricos para la tasa de germinación, la cual redujo 65% en el tratamiento con potencial hídrico de -0.75 MPa y 85% cuando el potencial hídrico fue de -1.50 MPa, lo que está determinado por la insuficiencia hídrica simulada por PEG-8000, que le impide a las semillas una mayor eficiencia en los eventos involucrados en el proceso de germinación (Maldonado *et al.*, 2002; Aparecida y Zambillo, 2003). Según Bradford (1986) el PEG no sólo afecta el porcentaje de germinación, sino también la tasa de germinación, porque es una sustancia osmótica no penetrante que previene la absorción de agua por las células vegetales alargando la duración de la fase de latencia entre la imbibición y el crecimiento radicular, puesto que la absorción del agua por la semilla procede lentamente en este período llegando a extender la primera y segunda etapa de la germinación, dependiendo de la especie y el tamaño de la semilla, evidenciando una posterior afectación en el desarrollo de los órganos de las plantas, disminuyendo su tamaño y eficiencia en el metabolismo de las mismas.

Resulta evidente que la disponibilidad de agua es una condición esencial para la germinación y emergencia de las semillas (Dubrencq *et al.*, 2000) debido a que determina la imbibición y posterior activación de los procesos metabólicos, rehidratación, mecanismos de reparación, elongación celular y aparición de la radícula. Los resultados revelados en este trabajo (Tabla 5 y Figura 7) se sustentan en lo descrito anteriormente. Morgan (2004) y González *et al.* (2005) al trabajar con trigo, encontraron efectos similares. También Barros (1997) y Maldonado *et al.* (2002) en el cultivo del tomate, señalaron que los potenciales hídricos muy negativos impiden la absorción de agua provocando afectaciones en las secuencias de eventos involucrados en el proceso de germinación y emergencia.

### **7.1.2 Efecto del estrés hídrico en variables morfométricas**

Los resultados de las variables del crecimiento mostraron diferencias significativas entre los niveles de estrés, lo que puede estar influenciado por los cambios provocados por el déficit hídrico que causan la inhibición de la división celular y por ende, del crecimiento. La reducción del crecimiento relacionada con la inhibición de la elongación y la división celular da lugar a la modificación de los patrones de desarrollo y de la morfología vegetal. En condiciones de déficit hídrico, el crecimiento de la raíz es menos sensible que el crecimiento de la parte aérea, lo que conduce a un aumento de la relación parte aérea/raíz (Mullet y Whitssit, 1996). De acuerdo con Blum (2005) la raíz incrementa su longitud y profundidad en eventos de secamiento moderado del suelo, característica que se observó en el presente estudio cuando variedades como *Lemon* y *Sweet Dani*, lograron los valores mayores en la longitud de radícula en el tratamiento de estrés moderado (-0.75 MPa) en la etapa de germinación (Tabla 3). Variedades como *Thai*, *Dark Opal*, *Emily*, *Dolly*, *Dolce Vita* y *Napoletano* superaron el tratamiento control cuando el potencial hídrico fue igual a -0.75 MPa en la etapa de emergencia (Tabla 6) y variedades como *Lemon* y *Dolly* en la etapa de crecimiento vegetativo inicial (Tabla 9). Esta respuesta biológica inducida por el

estrés le permite a la planta una mayor zona de exploración en el suelo en busca del agua para desarrollar sus procesos fisiológicos de forma eficiente (Sharp *et al.*, 1988; Blum, 2005).

Un estrés hídrico moderado puede ser la causa de una disminución notable en la productividad de los cultivos, debido a la relación entre estrés hídrico y la disminución del crecimiento, la reducción del tamaño de las células que da lugar a un menor desarrollo de las hojas y como resultado, un desarrollo menor de la superficie fotosintética, sobre todo cuando este déficit ocurre en las primeras etapas del crecimiento vegetativo. Los elementos anteriores probablemente se asocian a que el estrés por sequía atrasa la división y elongación celular, aspectos señalados por Heidary y Heidary (2002) al trabajar con trigo, así como por Dell Amico *et al.* (2006) y Quintero *et al.* (2002) en tomate. Conociendo estos antecedentes, los resultados mostrados en altura de la planta y area foliar por las variedades de albahaca estudiadas, muestra que el déficit hídrico que se produce en los tejidos en crecimiento, disminuye la turgencia de la célula y por ende inhibe la elongación celular, afectando la división celular, lo que limita directamente el area foliar, aspectos corroborados por Martin de Santa Olalla *et al.* (2005), quienes señalaron que el proceso más sensible al déficit hídrico es el crecimiento celular, siendo especialmente sensible la división y la elongación celular y, como consecuencia, se observa una disminución en el crecimiento de las plántulas. Lo antes planteado explica los resultados de este estudio en la etapa de germinación (Tabla 3), cuando todas las variedades estudiadas disminuyeron la altura de las plántulas a medida que el estrés hídrico se incrementó, observándose una respuesta diferencial donde la variedad *Dolly* y *Purple Ruffle*, mostraron afectación menor para esta variable cuando el estrés fue severo (-1.50 MPa). Para la etapa de emergencia (Tabla 7) de igual manera se observó un efecto negativo del estrés hídrico al disminuir la altura de las plántulas en todas las variedades conforme se incrementó la severidad del estrés, siendo las variedades *Dolly* y *Sweet Dani* las que presentaron menor afectación para dicha

variable, mientras que para la etapa de crecimiento vegetativo inicial, se observó un patrón de respuesta similar (Tabla 10), aunque variedades como *Sweet Dani*, *Dolly* y *Genovese Italian*, mostraron menor afectación en esta variable, lo que denota que existe una respuesta diferencial que puede aprovecharse en función de la selección de variedades tolerantes a los efectos del estrés hídrico.

Los tratamientos de estrés hídrico afectaron significativamente la producción de biomasa fresca de la parte aérea y biomasa fresca de la raíz. De acuerdo con los resultados, una vez que las variedades se sometieron al tratamiento de deficiencia hídrica, la respuesta entre éstos es diferente, lo cual sugiere un posible carácter tolerante al mostrar las variedades *Red Rubin Purple Ruffles*, *Italian Large Leaf*, *Dolly* (Figura 2, etapa de germinación) y la variedad *Sweet Dani* (Tablas 6 y 7, etapa de emergencia) los valores mayores en la condición de estrés severo. En el crecimiento vegetativo inicial, la variedad de menor afectación en estas variables fue *Dolly* con solo 17% en la biomasa fresca de raíz, 24% en biomasa fresca de tallo y 26% en biomasa fresca de hoja (Tablas 9, 10 y 11). Pastenes *et al.* (2000) plantearon que el déficit hídrico en el suelo afecta algunos procesos fisiológicos, como es el caso de la hidratación de las plantas con disminución de la producción y la acumulación de biomasa en los cultivo. Estos resultados coinciden con lo expresado por Jerez (1998) quien señaló que los efectos del déficit hídrico en el suelo se manifiesta en la producción de biomasa. En el caso de la biomasa seca, los resultados obtenidos en la etapa de germinación revelaron diferencias estadísticas mostrándose los valores mayores en el estrés moderado para la biomasa seca de parte aérea, lo que coincide con los resultados obtenidos en este cultivo por Barroso y Jerez (2000), por lo que esta variable en la etapa de germinación no muestra susceptibilidad a los tratamientos empleados; sin embargo, en la etapa de emergencia la respuesta fue diferente, observándose una disminución conforme el estrés hídrico se agudizó (Tablas 6 y 7). Para la etapa de crecimiento vegetativo inicial, el patrón de respuesta también fue disminuir a medida que se incrementó el estrés hídrico

(Tablas 9, 10 y 11). Esto se sustenta en los principios planteados por Jones (2002) quien plantea que la acumulación de la biomasa en las plantas, se relaciona estrechamente con el grado de humedad del suelo debido al desencadenamiento de procesos adaptativos que traen una disminución evidente en la misma. Todo lo anterior puede brindar una alternativa para caracterizar genotipos tolerantes a la sequía basados en pruebas de ambientes controlados, como plantean Biasutti y Galiñanes (2001) y Gonzalez *et al.* (2005).

### **7.2 Selección de variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial**

Las plantas usan diferentes estrategias para contrarrestar los efectos del estrés biótico y abiótico en cada etapa de su desarrollo con el fin de asegurar su crecimiento y productividad (Munns, 1993). En la mayoría de las plantas cultivadas, las etapas iniciales de su ciclo vegetativo son las más susceptibles al estrés (Sekhar *et al.*, 2010; Mito *et al.*, 2011). Sin embargo, la selección de material vegetal tolerantes al estrés no es una tarea fácil ya que se considera un carácter muy variable, dependiendo de las condiciones del medio y de la especie en estudio (Castañón *et al.*, 2000).

La identificación de caracteres que permitan seleccionar materiales tolerantes a determinadas condiciones estresantes es de gran importancia, máxime si esta se realiza desde etapas tempranas del desarrollo del cultivo (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 1998). Por tal motivo, se han propuestos diferentes índices de selección como el de Fischer y Maurer (1978); Fischer *et al.* (1994); Muñoz y Rodríguez (1988); Fernández (1992); otras propuestas como la de Bolaños y Edmeades (1996) sugieren utilizar caracteres morfométricos como criterios de selección y más recientemente el utilizado por González (2005) que determina el índice de tolerancia relativa al estrés sobre la base de las variables morfométricas, basado en la propuesta de Udoenko (1976).

En el presente estudio se aplicó este último, para lograr una interpretación mejor de la respuesta de las variables analizadas ante el estrés en las diferentes variedades, encontrando resultados pioneros en este cultivo, donde la respuesta diferencial mejor de las variedades estudiadas, reveló una coincidencia en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial de la variedad *Dolly* como tolerante, al encontrarse en el grupo de mayor índice de tolerancia al estrés hídrico (Figuras 6, 8, 9 y Tablas 4, 8, 12). Estos resultados se deben al incremento de la longitud de la raíz en condiciones de estrés, característica que según Blum (2005) le permite a la planta mayor posibilidad de adaptarse a los ambientes con abastecimiento hídrico menor. Otro grupo de variedades donde se destaca coincidentemente en las tres etapas evaluadas la variedad *Sweet Genovese*, mostraron mayor susceptibilidad en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial, lo que está determinado por la incapacidad de estas variedades a desarrollar mecanismos adaptativos que minimicen el efecto detrimental del estrés, como lo fue el crecimiento del sistema radical en aquellas variedades con mayor índice de tolerancia.

### ***7.3 Efecto del pectimorf como mitigador del estrés hídrico en variedades de albahaca en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial***

#### ***7.3.1 Germinación y emergencia***

Los resultados indicaron un aumento tanto en la tasa de germinación (TG) como en el porcentaje de germinación (PG) cuando las plantas se trataron con una mezcla de oligogalacturónidos (Pectimorf), aún y cuando se encontraban sometidas a estrés hídrico de moderado a severo, estas variables mostraron un incremento (Tabla 15). Lo anterior se sustenta en la hipótesis planteada por Cabrera (2000) y Cabrera *et al.* (2003) que describen el efecto gelificante de los oligogalacturonidos, que le permiten la absorción de agua del medio, aunque esta sea escasa, facilitando de esta manera que tengan lugar los procesos involucrados con la

germinación y emergencia de las semillas de las plantas. Guevara *et al.* (2010), plantean que los oligogalacturonidos son capaces de desencadenar en las células vegetales una serie de estímulos que propician acelerar el metabolismo y mayor actividad enzimática de las mismas, dependiendo de la especie vegetal y las concentraciones empleadas así como del grado de polimerización. En la tasa y porcentaje de emergencia, la respuesta de las plántulas fue similar, registrándose un incremento cuando se trataron con pectimorf a una concentración de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabla 18), lo cual corrobora la acción atenuante de los efectos del estrés hídrico que tiene el pectimorf. Resultados similares obtuvieron Ramirez *et al.* (2003) en tomate, al utilizar diferentes concentraciones de pectimorf; también Benítez *et al.* (2006) encontraron una respuesta antiestrés del pectimorf en plantas de palma aceitera, al lograr un desarrollo de 20% superior al control en etapas iniciales del cultivo.

### **7.3.2 Variables morfológicas**

Las afectaciones en el crecimiento de las plantas en estrés hídrico encontradas en el presente estudio, coincide con lo reportado por autores como Nagafabadi *et al.* (2003) y González *et al.* (2005) quienes señalan que el efecto detrimental del estrés hídrico se explica por el déficit de agua que produce en los tejidos en crecimiento, al disminuir la turgencia de las células y por cambios en la permeabilidad de las membranas. También Méndez *et al.* (2010) demostraron que el proceso de elongación y de síntesis de la pared celular son altamente susceptibles a la deficiencia de agua, por lo que disminuye el crecimiento al disminuir la turgencia de estas células. Oueslati *et al.* (2010) y Nieves-Cordones *et al.* (2012) plantean que el déficit hídrico, además de limitar la expansión celular inhibe muchas actividades de las enzimas, provocando una afectación directa en el metabolismo. En investigaciones desarrolladas por Jerez y Barroso (2002) en albahaca aplicando reducciones en el riego en las diferentes fases de desarrollo, observaron una disminución evidente en el crecimiento conforme el déficit hídrico fue más intenso, debido a la consecuente afectación en el proceso de elongación y

división celular. Otra hipótesis plausible es la propuesta de Hamayun *et al.* (2010) al analizar el crecimiento de variedades de soya, consideraron que los efectos adversos del estrés hídrico inducido por potenciales hídricos muy negativos (-0.75, -1.50 y -2.25 MPa) condujeron a la disminución significativa del crecimiento debido a la disminución de la actividad enzimática (enzimas hidrolíticas) tales como la  $\alpha$ -amilasa, proteasas y lipasas, responsables de hidrolizar las reservas de los cotiledones requeridas para proveer energía en las primeras etapas del crecimiento. Sin embargo, las plántas de albahaca de las variedades estudiadas, cuando se sometieron a estrés hídrico y se aplicó 10 mg L<sup>-1</sup> de pectimorf, lograron incrementar las variables del crecimiento analizadas en la etapa de germinación (Tabla 15), emergencia (Tabla 18) y crecimiento vegetativo (Tabla 33). Lo anterior está sustentado en lo planteado por Cabrera (2000) quien asevera que una mezcla de oligogalacturonidos con grado de polimerización entre 9 y 16, desencadena a nivel celular una reacción en forma de cascadas, provocando que aumente la actividad enzimática, favoreciendo de esta manera el crecimiento y desarrollo vegetal. Mariña-de la Huerta *et al.* (2005) revelaron en caña de azúcar, la teoría del crecimiento de las plantas tratadas con oligogalacturonidos bioactivos con grado de polimerización entre 9 y 16 debido a un aumento de la turgencia celular que provoca elongación de las células, donde los tratamientos con OGAs indujeron un incremento significativo de los entrenudos, aumentando el tamaño de las plantas y su biomasa. Otra hipótesis descrita por Hématy *et al.* (2009) y Silipo *et al.* (2010) sobre la actividad biológica de los OGAs, como la estimulación de reacciones de protección y la regulación del crecimiento y desarrollo sustentan los resultados obtenidos en la presente investigación.

El aumento del área foliar en las plantas tratadas con OGAs (Tabla 32 y Figura 20) posibilitaría a éstas hacer un uso más eficiente de las radiaciones solares y por consiguiente incrementar aquellos procesos dependientes de la luz como son la fotosíntesis, la reducción del NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y la asimilación del NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Además, pudiera elevarse la actividad respiratoria producida por un aumento de sustratos

respiratorios emergentes de la fotosíntesis. El hecho de que se vean favorecidos los procesos antes mencionados traería como consecuencia un incremento en la producción de biomasa (Tablas 32 y 33).

### **7.3.3 Variables fisiológicas**

#### **7.3.3.1 Fotosíntesis y transpiración**

La fotosíntesis, al igual que otros procesos biológicos, está determinada por diferentes factores y su incremento esta condicionado por una concentración mayor de CO<sub>2</sub> en el interior de las células, ello contribuye a la apertura y cierre de los estomas que permiten el intercambio de gases con el medio que rodea a las plantas (Taíz y Zeigher, 2003). En este estudio, la fotosíntesis presentó en ambas variedades una disminución considerable cuando las plantas se sometieron a estrés hídrico (PTM) llegando a un 50% de afectación en la variedad *Dolly* y 47% en *Sweet Genovese* (Tabla 21). Estos resultados se explican por la afectación directa que provoca el estrés hídrico, debido a una reducción en la concentración de CO<sub>2</sub> subestomatal, por efecto del cierre de los estomas (Medrano *et al.*, 2009).

Otros autores como Azcon-Bieto *et al.* (2004) plantean que además de presentarse una disminución en la tasa fotosintética, también pueden ser a causa de una inhibición metabólica debido a la alteración del balance antioxidante de las plantas; sin embargo, en las plantas de las dos variedades estudiadas, cuando se aplico pectimorf, la fotosíntesis incrementó aún y cuando se encontraban bajo los efectos del estrés hídrico (Tabla 22). Estos resultados se explican dedido a la acción de los OGAs en la síntesis de sustancias que le proporcionan a las plantas un ajuste osmótico y por consiguiente menor afectación en dicho proceso. Además, puede tener una incidencia directa el incremento del area foliar que le permita a las plantas mayor superficie fotosintéticamente activa y por ende una fotosíntesis mayor (Cabrera 2000).

La transpiración en ambas variedades disminuyó y aunque no se encontraron diferencias significativas, se observó que a medida que las plantas experimentaron el estrés hídrico, la transpiración disminuyó debido al cierre estomático, inducido como mecanismos de defensa ante la pérdida de agua (Figura 17). Sin embargo, en las plantas tratadas con OGAs, la disminución en la transpiración fue menos acentuada, lo que denota una acción mitigadora de los OGAs ante los efectos del estrés hídrico. Resultados similares obtuvo Osorio *et al.* (2008) en investigaciones en el cultivo de fresas.

### **7.3.3.2 Pigmentos fotosintéticos**

La medida del contenido de clorofila de la hoja por el método de la extracción es un proceso lento, costoso, incómodo, laborioso, que no permite tomar decisiones inmediatas y totalmente destructivo (Murillo-Amador *et al.*, 2004) específicamente cuando se trata de especies cultivadas, que requieren en la primera etapa, de almácigos en cajas germinadoras para su posterior trasplante, como lo es la albahaca. De igual manera, limita su uso como herramienta de diagnóstico en la investigación de especies vegetales en busca de un contenido más alto de la clorofila (Murillo-Amador *et al.*, 2004). La capacidad para predecir el contenido de la clorofila en la hoja, con base en las lecturas medidas de la clorofila se ha demostrado en diferentes especies de plantas (Yamamoto *et al.*, 2002). Las investigaciones sobre el efecto que provoca el estrés hídrico en la concentración de pigmentos revelan que tales afectaciones se deben fundamentalmente a la destrucción de los cloroplastos y a un aumento de la actividad de la enzima clorofilasa, afectando la síntesis de clorofilas (Spyropoulos y Maurommatis, 1998). La concentración de pigmentos disminuyó numericamente en las hojas de las plantas cultivadas en condiciones de estrés hídrico tanto a los 58 y 65 DDT (Tabla 23), destacándose una afectación mayor en el contenido de clorofilas en la variedad *Sweet Genovese*, lo que corrobora lo revelado en las primeras etapas experimentales, describiéndose dicha variedad como sensible a los efectos del

estrés. Sin embargo, las plantas tratadas con OGAs, revelaron un incremento estadísticamente significativo a los 58 DDT y numérico a los 65 DDT (Tabla 24), resultados que demuestran la acción de los OGAs como mitigador de los efectos del estrés hídrico, mediante la estimulación de la síntesis de compuestos capaces de contrarrestar los aspectos negativos del déficit de agua. El aumento del contenido de pigmentos (Figuras 18 y 19) se relaciona con la inducción de la actividad enzimática de las clorofilasas (Yang *et al.*, 2004). Es probable que en el presente estudio, el aumento se relacione con la inducción de sistemas enzimáticos que aumentan estos pigmentos. En investigaciones recientes en el cultivo de la uva, se obtuvieron resultados similares al aumentar la concentración de pigmentos con la aplicación de OGAs (Martínez-Tellez y Vargas-Arispuro, 2010).

Resultados similares obtuvieron Calderín *et al.* (2012) quienes determinaron el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofilas y carotenoides) en plantas de arroz en condiciones de estrés hídrico tratadas foliarmente con un bioestimulante. Las plantas tratadas alcanzaron medias significativas superiores para los contenidos de clorofilas y carotenoides, indicando finalmente que el efecto puede explicarse por la acción mitigadora del bioestimulante aplicado.

### **7.3.4 Relaciones hídricas**

#### **7.3.4.1 Potencial hídrico y contenido relativo de agua**

Tanto *Dolly* como *Sweet Genovese* experimentaron una disminución significativa en el contenido relativo de agua (Tabla 25) cuando se presentó la PTM, lo cual se evidenció con la disminución del potencial hídrico de la hoja. El descenso del potencial hídrico foliar con el déficit de agua ocurrido por el estrés hídrico, es una respuesta común a otras especies de uso aromático con mayor o menor tolerancia al estrés hídrico, como *Cymbopogon martinii* (Fatima *et al.*, 1999) y *Cymbopogon winterianus* Jowit (Farooki *et al.*, 1998).

Los resultados mostrados se deben a que el rápido cierre de los estomas ante la deficiencia hídrica a causa del estrés hídrico, está en estrecha vinculación con la disminución del contenido hídrico de la planta, con el balance iónico dentro de la misma y con la disminución del contenido de agua en el sustrato. El órgano que recibe el estímulo del déficit hídrico en el suelo es la raíz, la cual sintetiza ácido abscísico (ABA), lo transporta vía xilema hasta las hojas y ahí induce cambios en la permeabilidad de las membranas de las células, las cuales liberan solutos (principalmente  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ ) hacia el citoplasma de las células acompañantes, y con ella, disminuye el potencial de turgencia, que hace que los estomas se cierren parcialmente, lo que justifica la respuesta mostrada por las plantas desarrolladas en los tratamientos, donde el suministro hídrico fue limitado. Según Alves y Setter (2000), Stoll *et al.* (2000), Zaharieva *et al.* (2001) y Maroco *et al.* (2002) ante condiciones estresantes por déficit hídrico, las plantas reducen rápidamente la apertura estomática, con lo que disminuyen así las pérdidas de agua por transpiración, a la vez que se reduce la entrada de  $CO_2$ , necesario para la fotosíntesis; se afectan los procesos enzimáticos, el transporte electrónico, el contenido de clorofila y disminuye la eficiencia fotoquímica de la fotosíntesis y con ella la producción de asimilatos y su traslocación a los órganos de consumo de la planta, fenómeno que fue reportado por Jiang y Huang (2000).

La aplicación de OGAs provocó un aumento en el CRA en las plantas en estrés hídrico (Tablas 26 y 27), lo que puede explicarse por las características gelificantes que presentan estas sustancias incidiendo positivamente en la absorción de agua, aún y cuando está en menor disponibilidad (Cabrera, 2000). Otros autores plantean que la acción mitigadora de los OGAs se debe a la estimulación del crecimiento del sistema radical de las plantas tratadas, que le permiten una mayor zona de exploración en el suelo logrando mayor absorción de agua (Ramirez *et al.*, 2003).

### **7.3.5 Variables bioquímicas**

Los carbohidratos reductores foliares (CHO-RED) disminuyeron cuando las plantas de ambas variedades se sometieron a estrés hídrico (Tabla 28) y aunque no se encontraron diferencias significativas, hubo una marcada diferencia numérica, lo que pudo estar determinado por la disminución de la fotosíntesis cuando se presentó la PTM, ocasionando de esta forma una producción menor de carbohidratos e incidiendo también en la síntesis de proteínas tanto en las hojas como en la raíz (Martin de Santa Olalla *et al.*, 2005). Sin embargo, cuando se aplicó OGAs, el contenido de CHO-RED y de proteínas aumentó (Tablas 29 y 30), lo que está directamente relacionado con el aumento de la fotosíntesis que presentaron las variedades de albahaca y con la estimulación directa que tienen los OGAs en el metabolismo celular, producto de su participación en la síntesis de moléculas precursoras de agentes antioxidantes, capaces de contrarrestar algunos de los efectos negativos del estrés hídrico (Zabotina *et al.*, 1998).

El estrés hídrico provoca en las plantas una reducción del potencial hídrico de sus tejidos, al cual responden sintetizando una gran cantidad de compuestos denominados osmoprotectores, que actúan bien como osmolitos, facilitando la retención de agua por el citoplasma o como verdaderos compuestos protectores que estabilizan la estructura de las membranas y de las macromoléculas. Los osmoprotectores son solutos compatibles con el funcionamiento celular; entre ellos se encuentran compuestos con átomos de nitrógeno en su molécula, como la prolina y los compuestos con grupos hidroxilo, como los polialcoholes y los azúcares (Tadeo, 2000). Se ha observado que las plantas resisten estrés hídrico cuando se les aplican aminoácidos que involucran respuestas fisiológicas, estructurales y modificaciones morfológicas a corto y largo plazo; estos cambios ayudan a minimizar el estrés en la planta y a maximizar los recursos externos e internos (Alarcón, 2000).

Una de las respuestas metabólicas al déficit hídrico es la acumulación del aminoácido prolina, el cual se utiliza ampliamente para muchas especies (Aspinall

y Paleg, 1981). Diversas funciones se atribuyen a la acumulación de este metabolito, entre ellas, la de actuar como compuesto de reserva de carbono y nitrógeno (Aspinall y Paleg, 1981; Barnett y Naylor, 1996; Samaras *et al.*, 1995), servir como desintoxicante del amonio durante el déficit hídrico, protector contra radicales hidroxilos, fuente de energía para la recuperación (Samaras *et al.*, 1995) y como estabilizador de las proteínas a valores bajos de potenciales hídricos, contribuyendo así a la sobrevivencia de las funciones celulares. La acumulación de prolina se ha evidenciado ante diversos estrés, por lo que se sugiere que ésta acumulación es ventajosa y podría utilizarse como indicador en la selección de cultivares resistentes a la sequía (Singh y Rai, 1982; Sánchez *et al.*, 2008). El contenido de prolina en ambas variedades se incrementó con la presencia de la PTM (Tabla 28) siendo más acentuado con la aplicación de OGAs (Tablas 29 y 30) lo cual se relaciona de manera directa con lo reportado por Martínez y Vargas (2010) quienes plantean que con la aplicación de OGAs, ocurre un reforzamiento de las barreras naturales de las células vegetales, mediante la disposición de macromoléculas como proteínas y glucoproteínas ricas en prolina.

## 8. CONCLUSIONES

El estrés hídrico afectó la germinación en un 20%, la tasa de germinación en 65% cuando el estrés fue moderado y en un 60% y 85%, respectivamente, cuando el estrés fue severo, siendo estos además de la altura de la planta, los indicadores más sensibles. Las variables de crecimiento y germinación representan indicadores complementarios para la evaluación de la tolerancia y sensibilidad de las diferentes variedades de albahaca estudiadas.

Se observó una gran diversidad en la respuesta del crecimiento de las distintas variedades de albahaca al someterlas a diferentes niveles de estrés hídrico en la etapa de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial, por lo que no se presentaron patrones claros que permitan la agrupación de las diferentes variedades dependiendo de su respuesta. Sin embargo, de los indicadores más significativos para la producción agrícola, se encuentra la producción de biomasa fresca y seca de parte aérea, ya que representa la parte de la planta que se comercializa. En este sentido, se observó que para todas las variables morfométricas medidas en cada una de las etapas, se encontraron diferencias significativas entre las variedades, el estrés hídrico y la interacción de variedades\*estrés hídrico, lo cual puede representar un cultivo alternativo para condiciones de estrés hídrico en ecosistemas semiáridos.

Existe una variabilidad considerable para la tolerancia al estrés hídrico de las variedades en estudio en cada una de las variables morfométricas, destacándose la variedad *Dolly* como la más tolerante y la variedad *Sweet Genovese* como la más sensible al estrés hídrico en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial.

El índice de tolerancia al estrés hídrico, calculado a partir de las variables morfométricas, resultó un indicador eficaz para describir la mejor respuesta de las

variedades de albahaca ante el estrés salino en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento.

Las variedades de albahaca clasificadas como tolerantes al estrés hídrico en germinación, también se clasificaron como tolerantes en emergencia y crecimiento vegetativo inicial, esto determina que la selección de materiales tolerantes y sensibles al estrés hídrico en estas etapas, puede efectuarse exitosamente y proporcionar una técnica efectiva para realizar selecciones y clasificaciones rápidas de material genético para tolerancia a este estrés.

Se observó una respuesta diferencial entre variedades de albahaca para tasa, porcentaje de germinación, emergencia y variables morfométricas en condiciones de estrés hídrico y la aplicación de pectimorf, destacándose la variedad *Dolly* como la más tolerante, mostrando los valores mayores en todas las variables con la aplicación del pectimorf en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento vegetativo inicial.

La aplicación de pectimorf estimuló la tasa, porcentaje de germinación, emergencia y variables morfométricas de variedades de albahaca en condiciones de estrés hídrico, permitiendo que la variedad tolerante mejore su germinación, emergencia y crecimiento y la variedad sensible incremente su tolerancia al estrés hídrico.

Se determinó que existe una respuesta diferencial entre variedades para las variables fotosíntesis, transpiración, potencial hídrico, contenido relativo de agua, contenido de clorofila total, proteína y prolina en condiciones de estrés hídrico y la aplicación de pectimorf, destacándose la variedad *Dolly* como la más tolerante, exhibiendo los valores mayores en todas las variables con la aplicación de OGAs.

El Pectimorf actúa como agente mitigador del estrés hídrico, permitiendo en la variedad *Dolly* mejorar su crecimiento y en la *Sweet Genovese* aumentar su tolerancia a través de variables morfométricas, bioquímicas y fisiológicas.

## 10. LITERATURA CITADA

- Abe H. 1989. Advances in brassinosteroid research and prospects for its agricultural application. *Japan Pesticide Information* 55:10-14.
- Alarcón, A.L. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. *Novedades Agrícolas S.A. Torres Pacheco (Murcia)*. Primera edición. pp. 175-186.
- Ali, M., Jensen C.R., Mogensen, V.O., Andersen, M.N., Henson, I.E. 1999. Root signalling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field. *Rownwheat. Field Crops Research*. 62 p.
- Almenares, J.C., Cuñarro, R., Ravelo, R., Fitó, E., Moreno, I. y Núñez, M. 1999. Influencia de diferentes dosis y momentos de aplicación del Biobras-16 en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Cultivos Tropicales*. 20:77-81.
- Alves, A.C., Setter T.L. 2000. Response of cassava to water deficit. Leaf area and abscisic acid. *Crop Science* 40:131-137.
- Aparecida, M.E, Zambillo de Pinho, S. 2003. Germination of Senra occidentales link: Seed at different osmotic potential levels. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 46:38-43.
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P, Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for *Annals of Botany*. 89:925-940.
- Asada, K. 2000. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 355, pp 1419-1431.
- Aspinall, D., Paleg, L.G. 1981. Proline accumulation: physiological aspects. In: Paleg, L. G. y D. Aspinall (Eds.). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plantas*. Academic Press, Australia, pp. 205-241.

- Azcón-Bieto J., Pardo A., Gómez-Csanovas N., Irigoyen J.J. Sánchez-Díaz M. 2004. Respuestas de la fotosíntesis y la respiración en un medio ambiente variable. Capítulo 28. Pag 873-900. En: Reigosa M. J. Pedrol N., Sánchez-Moreiras A. *La Ecofisiología Vegetal: Una Ciencia de Síntesis*. Parafino S.A.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 1ra Edición. McGraw-Hill Interamericana de España. Universidad de Barcelona. 651 p.
- Badger, Mr., Von Caemmerer, S., Ruska, S. Nakano, H. 2000. Electron flow to oxygen in higher plants and algae: rates and control of direct photoreduction (Mehler reaction) and Rubisco oxygenase. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B 355, pp. 1433-1446.
- Bardford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-Dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254.
- Barnett, N.M. Naylor, A.W. 1996. Amino acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress. *Plant Physiol.* 41: 222-1 230.
- Barros, T.S. 1997. Atrialacao do potencial fisiológico de sementes de tomate pelo teste de estresse hídrico. *Rev. P. Agropecuária Brasileira*. Brasília 26:11-20.
- Barroso, L. y Jerez, E. 2000. Comportamiento de las relaciones hídricas en la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) al ser irrigadas con diferentes volúmenes de agua. *Cultivos Tropicales*. 3:57-59.
- Barroso. L, 2002. Fenología de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) cultivada en diferentes fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*. 23:43-46
- Barteis, D. Salamani, F. 2001. Disecation tolerance in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. A contribution to the study of drought tolerance at the molecular level. *Plant Phisiology* 127:1346-1353.

- Bates, L.S., Waldren R.P., Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*. 39: 205-207.
- Beauchamp, C.; Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Anal. Biochem.* 44:276-287.
- Begg, J.E. Turner, N.C. 1976. Crop Water deficit. *Adv. Agronomy*. 28: 161-170
- Bellicampi, D., Brown, T.H., Shen, O. M. Parker, A 1995 Extracellular accumulation of an auxin-regulated protein in *Phaseolus vulgaris* L. cells is inhibited by oligogalacturonides. *J. Plant. Physiology*. 147:367-370.
- Benítez, B., Núñez, M., Yong, A. 2006. Efecto de aspersiones foliares con una mezcla de oligogalacturónidos en el crecimiento de plantas de palma areca (*Dyopsis lutescens* H. Wendel) Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales*. vol. 27, núm. 4, pp. 61-64.
- Biasutti. C.A. y Galiñanes. V.A. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz bajo estrés hídrico. *Relaciones entre carácter de plántula con el rendimiento a campo*. *Agrociencia*. 18:37-44.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56: 1159-1168.
- Bolaños, J. y Edmeades J. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. CIMMYT, El Batán, México. G. O. Technical Editors. pp. 355-368.
- Bown, D. 2001. *The Herb Society of America new herbs and their uses* . York: DK, (HSA Library\*). 351p.
- Boyer, J.S. 1995. *Measuring the water status of plants and soils*. 178 p. Academic Press, San Diego, California, USA.

- Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*. 21:1105-1112.
- Bray, E.A. 1997. Plant response to water deficit. *Trends in Plant Science*. 218:48-54.
- Bray, E.A. 2002a. Abscisic acid regulation of gene expression during water deficit stress in the era of *Arabidopsis* genome. *Plant, Cell and Environment*. 25:153-161.
- Bray, E.A. 2002b. Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. *Annals of Botany*. 89:803-811.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J. Weretilnyk, E. 2000. Responses to abiotic stresses. In: *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Edited by Gruissem W., Buchannan B., Jones R. American Society of Plant Physiologists. 1158-1249.
- Bruce, W.B., Edmeades, G.O. Barrer, T.C. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany* 53:13-25.
- Cabrera, J. C. 2000. Obtención de una mezcla de oligogalacturónidos bioactivos a partir de subproductos de la industria cítrica. [Tesis de doctorado]. INCA. 99 p.
- Cabrera, J.C.; Gómez, R.; Diosdado, E.; Hormaza, J.V.; Iglesias, R.; Gutiérrez, A.E.; González, S. J. 2003 Procedimiento de obtención de una mezcla de oligosacáridos pécticos estimuladora del crecimiento vegetal. Certificado Nro. 22 859. Concedido por resolución No. 155/2003. OCPI.Cuba.
- Calderín A, Louro R, Portuondo Liane, Guridi F, Hernández O, Hernández R, Castro Rosane. 2012. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway

- to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology*. 11:3125-3134.
- Castañon, G., Zetina, R., Arano, R. Raigosa, B. 2000. El AMMI y cluster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. *Agronomía mesoamericana*. 11:71-76.
- Chandra Babu, R., Zhang, J.X., Blum, A., Ho, DT-H., Wu, R. Nguyen, H.T. 2004. HVA1, a LEA gene from barley confers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection. *Plant Science*. 166: 855-862
- Chapin III, F.S. 1991. Effects of multiple environmental stresses on nutrient availability and use, In: Money, H. A., W. E. Winner, and E. J. Peli, eds. *Responses of plants to multiple stresses*. San Diego Academic Press.
- Chaves, M., Maroco, J.P. Pereira J.S. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol*. 30:239-264.
- Cid, M., González-Olmedo, J.L., Lezcano, Y., Nieves, N. 2006 Influencia del Pectimorf sobre la calidad de la semilla artificial de caña de azúcar (*Saccharum* sp.). *Cultivos Tropicales*. 27:31-34.
- Cisneros, R.A., Matos, V.P., Lemos, M.A., Reis, O.V. Queiroz, R.M. 2003. Qualidade fisiológica de semente de araçazeiro durante osmoazcondicionamiento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, Campina Grande. 7:513-518.
- Comstock, J.P. 2002. Hydraulic and chemical signaling in the control of stomatal conductance and transpiration. *Journal of Experimental Botany*. 53:195-200.
- Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J. Farquhar, G. D. 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science*. 42:122-131.

- Cornic, G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. In Photoinhibition of photosynthesis. From molecular mechanism to the field (Eds. NR Baker and JR Bowyer). pp. 297-313.
- Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture - not by affecting ATP synthesis. Trends in Plant Science. 5:187-188.
- Costales, D., Martínez, L y Núñez, M. 2007 Efecto del tratamiento de semillas con una mezcla de oligogalacturónidos sobre el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Cultivos Tropicales. 28: 85-91.
- Cote F, Hahn M.G. 1994 Oligosaccharins: structures and signal transduction. Plant Mol Biol. 26:1379-1411.
- Cushman, J. Bohnert, H. 2000. Genomic approaches to plant stress tolerance. Current Opinion in Plant Biology. 3:117-124
- Cussianovich, P. 2001. Una aproximación a la agricultura orgánica. IICA. 5:3-7.
- De Herralde, T.F. 2000. Estudio integral de las respuestas ecofisiológicas al estrés hídrico: "La fisiología de las plantas" Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Barcelona. 165 p.
- Dell Amico, J.M., Morales, D., Polon, R. Fernández, F. 2006. Respuestas adaptativas a la sequía en el tomate inducidas por osmocondicionamiento de plántulas. Revista Cultivos Tropicales. 27:34-37.
- Dominí, M.E. y Benítez, B. 2004. Uso de biopreparados como promotores de enraizamientos en margullos de Ficus (*Ficus benjamina*). Cultivos Tropicales. 25:45-48.
- Duarte. C., González, F., Campos. O., Pedroso. M, 2009. Velocidad de acumulación de biomasa en la dosificación de la bio-fertirrigación ecológica del tomate en organopónico. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.18:40-45.

- Dubrencq, B., Bergen, N., Vincent, E., Borsson, M., Caboche. M. Lepiniec, L. 2000. The Arabidopsis AT EDRI entensin-like gene is speerficolly expressed in endosperm during seed germination. *Plant Journal*. 23:643-652.
- Emmerich, W.E and Hardegree, S.P, 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Sci*. 31:454-458.
- Eric D. Hunt, Mark Svoboda, Brian Wardlow, Kenneth Hubbard, Michael Hayes, Tim Arkebauer. 2014. Monitoring the effects of rapid onset of drought on non-irrigated maize with agronomic data and climate-based drought indices. *Agricultural and Forest Meteorology* 191 (2014) 1–11.
- Escalona, J.M., Flexas, J. Medrano, H. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology*. 26:421-433
- Falcón, A.B. y Cabrera, J. C. 2007 Actividad enraizadora de una mezcla de oligogalacturónidos en pecíolos de violeta africana (*Saintpaulia ionantha* L.). *Cultivos Tropicales*. 28:87-90.
- Farooki AHA, Ansari SR, Kumar R, Sharma S, Fatima S. 1998. Response of different genotypes of Citronella Java (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) to water stress. *Plant Physiology Biochemistry*. 25:172-175.
- Fatima S, Farooqi AHA, Ansari AH, Sharma S. 1999. Effect of water stress on growth and essential oil metabolism in *Cymbopogon martini* cultivars. *Journal Essent. Oil Res*. 11:491-496.
- Febles J.M; A. Tolón; X, Lastra and X. Acosta 2011. Cuban agricultural policy in the last 25 years. From convetional to organic agriculture. *Land Use P*. 28:723-735.
- Fenech L, 2008. Efectos de los ácidos húmicos en la germinación, generación de plántulas y parámetros fisiotécnicos de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en

- condiciones salinas. Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S. México.
- Fernández, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant tolerance. Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an International. Taiwan, C. George Kua, Editor pp. 257-270.
- Fischer, K., Jhonson, E.C. Edmeades, G.O. 1994. Mejoramiento y selección del maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. México. 20 p.
- Fischer, R.A. R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. Aust. J. Agric. Res. 29:897-912.
- Flexas, J. Medrano, H. 2002a. Energy dissipation in C<sub>3</sub> plants under drought. Functional Plant Biol. 29: 1209-1215.
- Flexas, J. Medrano, H. 2002b. Drought-inhibition of photosynthesis in C<sub>3</sub> plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. Annals of Botany 89:183-190.
- Flexas, J., Bota, J., Escalona, J.M., Sampol, B. Medrano, H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. Functional Plant Biology. 29:461-471.
- Flexas, J., Escalona, J. M. Medrano, H. 1998. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. Australian Journal of Plant Physiology. 25:893-900.
- Foyer, Ch. 1988. Feedback inhibition of photosynthesis through source-sink regulation in leaves. Plant Physiol Biochem. 26:483-492.
- Gholami, M.; M. Rahemi and B. Kholdebarin. 2010. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4:785-791.

- Gibson, A.C. 1996. Structure-function relations of warm desert plants. Adaptations of desert organisms. Springer-Verlag Berlin.
- González, L.M., Argente, L., Estrada, A., Zaldívar, N. Ramírez, R. 2005. Evaluación de la tolerancia a la sequía en genotipos de trigo (*Triticum saetivum* L.) obtenidos en Cuba por inducción de mutaciones. Cultivos Tropicales. 26:65-69.
- Guevara, E., Enrique, A., Hernández, A., Arispuro, I., Téllez, M. 2010. Oligosacarinas Derivadas de Pared Celular: Actividad Biológica y Participación en la Respuesta de Defensa de Plantas. Revista Mexicana de Fitopatología, Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad Obregón, México vol. 28, núm. 2, 2010, pp. 144-155.
- Gutiérrez-Rodríguez, M., San Miguel-Chávez, R. Larqué-Saavedra, A. 1998. Physiological aspects in Tuxpeño maize with improved drought tolerance. Maydica. 43:137-141.
- Hamayun, M.; S. Afzal Khan, Z. Khan Shinwari, A. Latif Khan, N. Ahmad and In-Jung Lee. 2010. Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. Pakistan Journal of Botany. 42:977-986.
- Hanson, A.D. Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Ann. Rev. Plant Physiol. 33:163-203.
- Heidary, R. Heydary, M. 2002. Evaluation of resistance for salinity, drought, cold and pH changes in four Iranian wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 9:32-38.
- Hématy, K., Cherk, C., and Somerville, S. 2009. Host-pathogen warfare at the plant cell wall. Current Opinion in Plant Biology. 12:406-413.

- Hernández, Loracnis; Benítez, B.; Soto, F.; Dominí, M.E. 2007b. Efecto de una mezcla de oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo de *Anthurium andreanum*. Cultivos Tropicales. 28: 83-86.
- Hernández. R.M.; Lara R. M.; Diosdado, E.; Cabrera, J. C.; González, C.; Valdés, M.; Xiqués, X. 2007a. Evaluación de la actividad del Pectimorf en el cultivo de la mandarina 'Cleopatra' (*Citrus reshni* Hort. et Tan.) mediante marcadores isoenzimáticos. Cultivos Tropicales. 28: 25-31.
- Hinojosa-Huerta Osvel, PamelaL.Nagler, YamilettK.Carrillo-Guererro, Edward.Glenn. 2013. Reprint of: Effects of drought on birds and riparian vegetation in the Colorado River Delta, Mexico. Ecological Engineering 59 (2013) 104–110.
- Hsiao, T.C y Bradfor, K. 1983. Physiological consequences of celular water déficits. Limitations to efficient water in crop production (H. M. Taylor, W. R. Jordan y T. R. Sinclair, eds.) Published by ASA, CSSA and SSA. Madison. Wisconsin. USA. 227-265.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24, pp. 519-570.
- Hsiao, T.C., Acevedo, E., Fereres, E. Henderson, D.W. 1976. Water stress, growth, and osmotic adjustment. Philos Trans R Soc. Lond B Biol. Science, pp. 273-479.
- Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. The Institute of Biology's studies in biology No. 96. Ed. Edward Arnold, London.
- Inngjerdingen, K., Debes, S., Inngjerdingen, M., Hokputsa, S., Harding, S., Rolstad, B., Michaelsen, T., Diallo, D., Paulsen, B. 2005. Bioactive pectic polysaccharides from *Glinus oppositifolius* (L.) Aug. DC., a Malian medicinal

- plant, isolation and partial characterization. *Journal of Ethnopharmacology*. 101:204-214.
- ISTA. 1999. *International Rules for Seed Testing*. Zurich, Switzerland. 321p.
- Jackson, R.B., Sperry, J.S. Dawson, T.E. 2000. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends in Plant*. 5:482-488.
- Jerez, E. 1998. Estrés por déficit de humedad en el suelo y desarrollo de las plantas. INCA, Conferencia Internacional, La Habana, Cuba. 28 p.
- Jerez, E., Barroso, L y Cartaya, O. 2004. Efectos de periodos cortos de estrés e inoculación micorrízica en el comportamiento de la albahaca blanca (*O. basilicum* L). *Cultivos Tropicales*. 2:29-35.
- Jerez, E., Barroso, L. 2002 Comportamiento de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L) ante reducciones de las cantidades de agua aplicada por fases del desarrollo. *Cultivos Tropicales*. 23:39-46.
- Jiang Y, Huang B. 2000. Effects of drought or heat stress Alone and in Combination on Kentucky bluegrass. *Crop Science*. 40:1358-1362.
- Jones, H.G., Stoll, M., Santos, C., Chaves, M.M., Grant, O.M. 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*. 53: 2249-2260.
- Knight, H. Knight, M. 2001. Abiotic stress signalling pathways: specificity and cross-talk. *Trends in Plant Science*. 6:262-267.
- Lambers, H., Chapin III, F.S. Pons, L. 1998. *Plant Physiological Ecology*, Springer, New York. USA.
- Lawlor, D.W. Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25: 275-294.

- Lawlor, D.W. 1995. The effects of water deficit on photosynthesis. pp. 129-160.
- Lawlor, D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*. 89:871-885.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. New York. USA.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. 2nd. Ed. New York. Academic Press.
- Lichtenthaler, H.K. 1996. Vegetation Stress: an Introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology*. 148:4-14.
- Little, T.M., Hills F.J. 1989. 'Statistical methods in agricultural research'. Versión en español. 'Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura'. Ed. Trillas. México.
- Loughrin, John and Michael J. Kasperbauer 2001. Light reflected from colored mulches affects aroma and phenol content of *Sweet Basil (Ocimum basilicum L.)* Leaves. *J. Agri. Food Chem.* 49:1331-1335.
- Low, P.S. y Merida, J. R. 1996 The oxidative burst in plant defense: function and signal transduction. *Plant Physiology*. 96:533-542.
- Lu, C. Zhang, J. 1998. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 25: 883-892.
- Maggio, A., Hasegawa, P. M., Bressan, R.A., Consiglio, M.F. Joly, R.J. 2001. Unraveling the functional relationship between root anatomy and stress tolerance. *Functional Plant Biology*. 28:999-1004.
- Maguire JD. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2:176-177.

- Maldonado, C., Oujado, E. Squeo, F. 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilensis* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75:651-660.
- Mann, C. 1999. Crop scientists seek a new revolution. Genetic engineers aim to soup up crop photosynthesis. *Science*. 283:310-316.
- Marcaida III Manuel, Tao Li, Olivyn Angeles, Gio Karlo Evangelista, Marfel Angelo Fontanilla, Jianlong Xu, Yongming Gao, Zhikang Li, Jauhar Ali. 2014. Biomass accumulation and partitioning of newly developed GreenSuper Rice (GSR) cultivars under drought stress during thereproductive stage. *Field Crops Research* 162 (2014) 30–38.
- Marfá, V., Gollin, D.J., Eberhard, S., Mohnen, D., Darvill, A., Albershein, P.1991 Oligogalacturonides are able to induce flowers to form in tobacco explants. *Plant J*.1:217-225.
- Mariña-de la Huerta, C., Fernández, L., Saborit, M., Castillo P. y Nieto, M. 2005. Comportamiento de la planta de caña de azúcar tratada con ENERPLANT cultivada en suelos vertisoles. *Revista Electrónica Granma Ciencia* 9:1-6.
- Maroco J.P., Rodríguez M.L., Lopes C., Chaves M.M. 2002. Limitations to leaf phothosynthesis in grapevine under drought-metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Physiol*. 29:1-9.
- Martin de Santa Olalla. M, F., Fuster, P. L. Belmonte, A. C. 2005. Agua y Agronomía. Universidad de Castilla- La Mancha. Edit. Mundi Prensa. España. p. 606.
- Martínez, T.T., Vargas, A.T., Muñoz, O. J. López, V.T. 2002. Respuesta al déficit hídrico. Consumo de agua y crecimiento en plantas de diferentes poblaciones. *Agrociencia*. 36:365-372.

- Martínez-Téllez, M.A. Vargas-Arispuro, I. 2010. Method for controlling colouration in table grapes based on oligogalacturonides. Patente Internacional WO/2010/044649.
- Medrano H., Flexas J., Galmés J. 2009. Variability in water use efficiency at the leaf level among Mediterranean plants with different growth forms. *Plant Soil* 317: 17-29.
- Medrano, H. Flexas, J. 2002. Capítulo 1. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal* 377p. (eds. J. Azcón-Bieto y M.Talón). Ed. McGraw-Hill Interamericana-Ediciones de la Universidad de Barcelona, Madrid-Barcelona. España.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J. Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*. 89:895-905.
- Méndez Natera, J.; Ybarra, F.; Merazo Pinto, J. 2010. Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. *Tecnológica ESPOL-RTE*. 1:55-60.
- Messiaen, J.; Van Cutsem, P. 1999. Defense gene transcription in carrot cells treated with oligogalacturonides. *Plant Cell Physiology*. 34:111-112.
- Michel, B.F. Kauffman, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol-6000. *Plant Physiology*. 51:914-916.
- Mithethowan, R.M., Ginkel, M.V. Rajaram, S. 2002. Progress in breeding wheat for yield and adaptation in global drought affected environments. *Crop Science*. 42:1441-1446.
- Mito, T., M. Seki, K. Shinozaki, M. Ohme-Takagi, K. Matsui. 2011. Generation of chimeric repressors that confer salt tolerance in *Arabidopsis* and rice. *Plant Biotechnology Journal*. 9 (7):736-746.

- Mittler, R. 2005. Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends plant Sci. 11:15-19.
- Moerschbacher, B.M., Mierau, M., Graebner, B., Noll, U. Mort, A.J. 1999 Small oligomers of galacturonic acid and endogenous suppressors of disease resistance reaction in wheat leaves. J. Exp. Bot. 50:605-612.
- Mohammadkhani, N. R., Heidari. 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Science.11:92-97.
- Montes, S., Aldaz, J.P., Cevallos, M., Cabrera, J.C. y López, M. 2000 Uso del biorregulador Pectimorf en la propagación acelerada del *Anthurium cubense*. Cultivos Tropicales. 21:29-31.
- Morgan, J. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. Australian Journal of Plant Physiology. 19:67-76.
- Morgan, J. 2004. Osmoregulation as selection criterion for drought tolerante in weath. Australian J. of Agricultural Research. 34:607-614.
- Mullet, J.E. Whitsit, M.S. 1996. Plant cellular responses to water deficit. Plant Growth Regulation. 20:41-46
- Munné-Bosch, S. Alegre, L. 2000a. The xanthophyll cycle is induced by light irrespective of water status in field-grown lavender (*Lavandula stoechas*) plants. Physiologia Plantarum. 108:147-151.
- Munné-Bosch, S. Alegre, L. 2000b. The significance of  $\beta$ -carotene,  $\alpha$ -tocopherol and the xanthophyll cycle in droughted *Melissa officinalis* plants. Australian Journal of PlantPhysiology. 27:139-146.

- Munns R. 1993. Physiological processes limiting plant-growth in saline soils. Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16:15-24.
- Muñoz, A., Rodríguez, J.L. 1988. Models to evaluate drought resistance. International Conference on dryland farming, Amarillo/Bushland, Texas. USA p.60.
- Murillo-Amador, B., Avila SN, García HJL, Lopez AR, Troyo DE, Kaya C. 2004, Relationship between a nondestructive and an extraction method for measuring chlorophyll contents cowpea in leaves. *Journal Plant Nutrition Soil Science.* 35:162-167.
- Nagafabadi, M.F., Ghanadha, M.R., Zali, A.A., Yazdi, B. 2003. Inheritance of bread wheat seed germination at drought conditions. Consultado: Disponible en: <<http://www.treebuotech2003.noonod.se/s10-p.htm>>.
- Nieves, N., Poblete, A., Cid, M., Lezcano, Y., González-Olmedo, J. L., Cabrera, J. C. 2006 Evaluación del Pectimorf como complemento del 2,4-D en el proceso de embriogénesis somática de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Cultivos Tropicales.* 27:25-30.
- Nieves-Cordones, M., F. Alemán, M. Fon, V. Martínez, F. Rubio. 2012. N<sup>+</sup> nutrition, uptake, and its role in environmental stress in plants. En: Ahmad, P., Prasad, M.N.V. (eds), *Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change.* Springer. EE. UU., New York. 85-112 p.
- Nilsen, E.T. Orcutt, D.M. 1996. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors.* John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Nobel, P.S. 1991. *Physiochemical and environmental plant physiology.* Academic Press. San Diego.
- Núñez, M., L.M, Mazorra., Y, Reyes., L, Martínez, 2010. Los brasinoesteroides y la respuestas de las plantas a estrés abióticos. Una visión actualizada. *Cult. Trop.* 31:56-75.

- Núñez, M. 1994. Influencia de análogos de brasinoesteroides en el rendimiento de cultivos hortícolas. / IX Seminario Científico Internacional INCA. Cultivos. Tropicales. 15:87-88.
- Núñez, M. 1996. Influencia de un análogo de Brasinoesteroide en el crecimiento y la actividad metabólica de plantas jóvenes de tomate. Cultivos. Tropicales. 20:63-72.
- Núñez, M. 1998. Efecto de tratamientos con brasinoesteroides sobre las relaciones hídricas y el crecimiento de plantas de tomate bajo estrés hídrico. Actas del 4º Simposium Hispano-Portugués. Relaciones hídricas en las plantas, Murcia, España: p. 206-209.
- Núñez, M. 2000. Análogos de brasinoesteroides cubanos como biorreguladores en la agricultura. CITMA.1:27-29.
- Oliver, M.J. 1996. Desiccation tolerance in vegetative plant cells. Physiologia Plantarum. 97:779-787.
- Osmond, C.B. Grace, S.C. 1995. Perspectives on photoinhibition and photorespiration in the field: quintessential inefficiencies of the light and dark reactions of photosynthesis?. Journal Experimental Botany. 46:1351-1362.
- Osorio, S., Castillejo, C., Quesada, M.A., Medina-Escobar, N., Brownsey, G.J., Suau, R., Heredia, A., Botella, M.A. Valpuesta, V. 2008. Partial demethylation of oligogalacturonides by pectin methyl esterase 1 is required for eliciting defence responses in wild strawberry (*Fragaria vesca*). The Plant Journal. 54:43-55.
- Oueslati, S., N. Karray-Bouraoui, H. Attia, M.Rabhi, R. Ksouri, M. Lachaal, 2010. Physiological and antioxidant responses of *Mentha pulegium* (Pennyroyal) to salt stress. Acta Physiologiae. 32(2):289-296.

- Paleg, L.G. Aspinall, D. 1981. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press, Sydney.
- Passioura, J.B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*. 20:79-83.
- Passioura, J.B. 2002. Environmental plant biology and crop improvement. *Funct. Plant Biol.* 29:537-546.
- Pastenes, C., Porter, V.H., Baginsky, C. 2000. Efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento de los cultivos. *Investigación Agrícola*, 20:1-13.
- Pérez, G.R. 2003. Estimación de parámetros genéticos para tolerancia a sequía en chile cora (*Capsicum annuum* L.). Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas y Forestales. México, p. 163.
- Pérez, T., Núñez, M. Alfonso, L. 2000. Efecto de estimuladores cubanos en la producción y calidad de hortalizas. UNAH. P. 32.
- Petit, J., Jouzel, J. Barkov, N. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420000 years from the Vostok ice core, an Antarctica. *Nature*. 399:429-436.
- Pomares, F., Baixauli, C., Aguilar, J.M., Ribó, M. 2008. Respuesta de una rotación de hortalizas ecológicas y de producción integrada a diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivo. *Agrícola Vergel*, enero 25-30.
- Quintero, F., Otha, M., Shi, H., Zhu, J. K. Pardo, J. M. 2002. Reconstitution in yeast of the Arapidopsis SOS signaling pathway for Na<sup>+</sup> homeostasis. *PNAS*, pp. 23-34.
- Ramírez, A., Cruz, N. y Franchialfaro, O. 2003. Uso de bioestimuladores en la reproducción de guayaba (*Psidium guajava* L.) mediante el enraizamiento de esquejes. *Cultivos Tropicales*. 24:59-63.

- Rao, I.M., Beebe, S., Ricaurte, J., Terán, H., Gracia, R., Jara, C. Mahuku, E. 2001. Bean improvement for sustainable productivity, input use efficiency, and poverty alleviation. In: Annie L. Jones (Ed.). CIAT Annual Report, Project IP-1. CIAT, Cali. Colombia, p 188. (Working doc. No.189).
- Richards, R.A., Condon, A.G. Rebetzke, G.J. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: 'Application of physiology in wheat breeding' (Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JI, McNab A eds.), CIMMYT, México DF. pp. 88-100. Riga.
- Riga, P., Vartanian, N. 1999. Sequential expression of adaptive mechanisms is responsible for drought resistance in tobacco. *Australian Journal of Plant Physiology*. 26:211-220.
- Robichaux, R.H., Holsinger, K.E. Morse, S.R. 1986. Turgor maintenance in Hawaiian *Dubautia* species: the role of variation in tissue osmotic and elastic properties. En: T.T. Givnish (ed.) *On the economy of plant form and function*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K. pp. 353-380.
- Robinson, D.G. 1985. *Plant membranes. Endo- and Plasma Membranes of plant Cells*. John Wiley. Sons, Nueva York. EUA.
- Rodríguez, R. y Núñez, M. 1999. Efecto de dos tipos de brasinoesteroides sobre algunas variables morfológicas y del rendimiento en el maíz. En: *Convención Internacional de Productos Bioactivos (4:1999:La Habana)*, Cuba.
- Rozlowski, T.T., Kramer, P.J. Pallardy, S.G. 1991. *The physiological ecology of woody plants*. San Diego Academic Press.
- Samaras, Y., Bressan, R.A., Csonka, L.N., García-Río, M.G., D'Urso P. & Rhodes, D. 1995. Proline accumulation during drought and salinity. In: *Environment and Plant Metabolism*. Ed. N. Smirnov. Bio Scientific Publisher Oxford. pp. 161-187.

- Samper, C.M. Adams, M.W. 1985. Geometric mean of stress and control yield as selection criterion for drought tolerance. Annual Report of Bean Improvement Cooperative. 28: 53-54.
- Samperio, R.G.1997. Hidroponía Básica. Editorial Diana. 176 p
- Sánchez, D.M. Aquirreolea, J. 1993. Relaciones hídricas. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal (eds. J. Azcón-Bieto y M. Talón), Ed. McGraw-Hill Interamericana. Ediciones de la Universitat de Barcelona, Madrid-Barcelona, p. 49-90.
- Sánchez, D.M. Aquirreolea, J. 2000. Capítulo 2. El agua en la planta. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal (J. Azcón-Bieto, M. Talón), Ed. McGraw-Hill Interamericana Ediciones de la Universitat de Barcelona, Madrid-Barcelona, pp. 17-82.
- Sánchez, E Gardea, A y Romero, L. 2008. Biosynthesis of proline in fruits of green vean plants. *Phyton*, 76:290-298.
- Savé, R., Olivella, C., Biel, C., Adillón, J. Rabella, R. 1994. Seasonal patterns of water relationships, photosynthetic pigments and morfology of *Actinidia deliciosa* plants of the Hayward and Tomuri cultivars. *Agronomie*. 2:121-126.
- Sekhar, K., B. Priyamka, V.D. Reddy, k.V. Rao. 2010. Isolation and caracterizacion of a pigeonpea cyclophilin (CcCYP) gene, and its over-expression in *Arabidopsis* confers multiple abiotic stress tolerancepce. *Plant, Cell and Evironment*. 33(8):1324-1338.
- Sharp, R.E., Silk, W. and T.C. Hsiao, 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology*. 87:50-57.
- Shibuya, N. Minami, E. 2001 Oligosaccharide signalling for defence responses in plant. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 59:223- 233.

- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. Seki, M. 2003. Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses. *Curr Opin. Plant Biol* 6:410-417.
- Silipo, A., Erbs, G., Shinya, T., Dow, J.M., Parrilli, M., Lanzetta, R., Shibuya, N., Newman, M.A. Molinaro, A. 2010. Glycoconjugates as elicitors or suppressors of plant innate immunity. *Glycobiology*. 20:406-419.
- Silmara, C.F. Juliano, S.C. 2004. Processo germinativo de sementes de Paneira sob estresses hidrico e salino. *Agropecuária Brasileira*. 39:24-31.
- Singh, G. Raí, V.K. 1982. Responses to two differentially sensitive *Cicer arietinum* L. cultivars to water stress: protein content and drought resistance. *Plant Biol*. 24, pp. 7-12.
- Slafer, G.A., Satorre, E. H. Andrade, F. H. 1994. Increases in grain in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: 'Genetic improvement of field crops' (Slafer GA ed.). pp. 1-68. New York. USA.
- Smeeckens, S. 1998. Sugar regulation of gene expresión in plants. *Curr Opin. Plant Biol*.1, pp. 203-204.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1994. 'Biometry. The principles and practice of statistics in biological research'. W.H. Freeman & Co: New York. USA.
- Sperry, J.S., Hacke, U.G., Oren, R. Comstock, J.P. 2002. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell and Environment*. 5:251-263.
- Spyropoulus CG and Maurommatis M. 1998. Effect of water stress on pigment formation in *Quercus* species. *Journal Experimental Botany*. 29:273-477.
- StatSoft Inc. 2011. STATISTICA, v. 10. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 p.

- Steel GDR, Torrie JH. 1995. 'Bioestadística. Principios y procedimientos'. Ed. McGraw Hill. México.
- Stoll M, Loveys B, Dry P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal Experimental of Botany*. 51:1627-1634.
- Strain, H.H., Svec, W. 1966. Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls . In: VERNON, L. P. and SEELY, G. R. (Eds .): *The Chlorophylls*, 21-66. Academic Press, London.
- Subbarao, G.V., Nam, N.H., Chauhan, Y.S., Johansen, C. 2000. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water deficits. *Journal of Plant Physiol*. 157:651-659.
- Tadeo, F. 2000. Fisiología de las plantas y el estrés. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (J. Azcón-Bieto, M. Talón), Ed. McGraw-Hill Interamericana-Ediciones de la Universidad de Barcelona, Madrid-Barcelona, pp. 481-490.
- Taiz, L. Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. 3ª ed. Sinauer Associates, (Versión electrónica) Inc. Sunderland, MA, EEUU. p.690.
- Tambussi, A.E. 2004. Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Tesis presentada para optar al grado de Doctor en Biología. Barcelona. España.
- Tang, A.C., Kawamitsu, Y., Kanechi, M. Boyer, J.S. 2002. Photosynthetic oxygen evolution at low water potential in leaf discs lacking an epidermis. *Annals of Botany*. 89:861-870.
- Tezara, W., Mitchell, V.J., Driscoll, S.D. Lawlor, D.W. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature* 401, pp. 914-917.

- Tuberosa, R. Salvi, S. 2006. Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. *Trends in Plant Science*. 11:25-29.
- Tucker, A and Thomas De Baggio. 2000 *The Big Book of Herbs*. Loveland, CO: Interweave Press. 345 p.
- Turner, N.C. Kramer, P.J. 1980. Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. John Wiley & Sons, U.S.A.
- Turner, N.C. 1986. Adaptation to water deficits: a changing in perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13:175-190.
- Turner, N.C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Science*. 9:289-308.
- Udovenko. 1976. Métodos de evaluación de la resistencia de plantas a los factores adversos del medio. Editorial Kolos, Leningrado, 318 pp.
- Valladares, F. Percy, K.W. 1997. Interactions between water stress, sunshade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll. *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell and Environment*. 20:25-30.
- Wu, Y., Thorne, E.T., Sharp, R.E. Cosgrove, D.J. 2001. Modification of expansion transcript levels in the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology* 126:1471-1479.
- Yamamoto A, Nakamura T, AduGyami JJ, Saigusa M. 2002. *Journal Plant Nutrition* 25:2295-62301.
- Yamasaki, S. Dillenburg, L. 1999. Measurements of leaf relative water content in *araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 11:69-75.
- Yang CM, Chang IF, Lin SJ, Chou CH. 2004. Effects of three allelopathic phenolics on the chlorophyll accumulation of rice (*Oryza sativa*) seedlings: II. Stimulation of consumption orientation. *Bot. Bull. Acad. Sin.*

- Yordanov, I., Velikora, V. Tsoner, A. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*. 38:171-186.
- Zabotina, O.; Gurjanov, O.; Ibragimova, N. y Ayupova, D. 1998 Rhizogenesis in buckwheat thin-cell-layer explants: Effect of plant oligosaccharides. *Plant Science*. 135:195-201.
- Zaharieva M, Gaulin E, Havaux M, Acevedo E, Monneveux P. 2001. Drought and heat responses in the wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth. *Crop Science* 41:1321-1329.