



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS**

**ESTUDIO DEL DESARROLLO RADICAL DEL CULTIVO DEL  
TRIGO (*Triticum aestivum* L. var. TRIUNFO F2004)  
APLICANDO ÁCIDO SALICÍLICO VÍA FOLIAR**

**JUAN CARLOS HERNÁNDEZ LÓPEZ**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

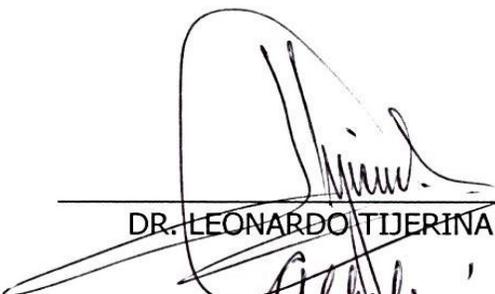
2012

La presente tesis titulada: Estudio del desarrollo radical del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L. var. Triunfo F2004) aplicando ácido salicílico vía foliar realizada por el alumno: Juan Carlos Hernández López bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

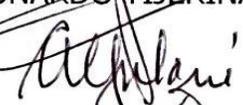
CONSEJERO



---

DR. LEONARDO TIJERINA CHÁVEZ

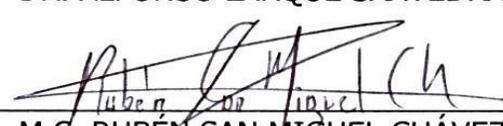
ASESOR



---

DR. ALFONSO LARQUE SAAVEDRA

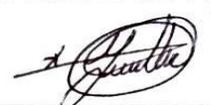
ASESOR



---

M.C. RUBÉN SAN MIGUEL CHÁVEZ

ASESOR



---

M.C. GUILLERMO CRESPO PICHARDO

ASESOR



---

DR. MARTINIANO CASTRO POPOCA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2012

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Consejo Particular, por su colaboración y valiosas sugerencias para el mejoramiento de este trabajo de investigación.

A todos los Profesores y técnicos de Hidrociencias; por su gran contribución en mi nuestra formación profesional.

A mis amigos, por la confianza y amistad: Carlos Estrada, Benjamín Sexto, Samuel García, Ángel Rivera, Cesar Estrada, Vicente Pacheco, Ismael Talamantes, Saulo Talamantes, Azael Zamora, Iván López, Ma. Eugenia Delgadillo.

Sinceramente... Reciban un cordial agradecimiento.

J. Carlos Hernández López

## DEDICATORIA

Jamás existirá una forma de agradecerte en esta vida de lucha y superación, deseo expresarte que mis ideas, esfuerzos y logros han sido también tuyos, gracias por enseñarme a crecer a través de todas las adversidades, por tu cariño, confianza, guía y a poyo he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de la vida. Por lo que ha sido y será, mi orgullo y fuente de inspiración:

*Alba Paulina López Carlos... Con admiración y respeto gracias mamá.*

*A mi hermano Alejandro, por su ejemplo de superación incansable.*

*A mis hermanas: Adriana, Rubí, Esmeralda y Anylu, por su amistad y cariño, por alentarme a seguir adelante con mi formación profesional.*

*A Consuelo Acuayte Valdés, por su gran apoyo y cariño.*

Sinceramente: J. Carlos Hernández López.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
HIPOTESIS .....	3
<b>1. REVISION DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
1.1. Antecedentes .....	4
1.1.1. Producción de trigo en México .....	5
1.2. Situación actual de la producción de trigo en México .....	7
1.2.1. Producción .....	7
1.2.2. Superficie sembrada .....	9
1.2.3. Costo de producción de trigo .....	10
1.2.4. Situación mundial de la producción de trigo .....	12
1.3. Características del trigo .....	13
1.3.1. Clasificación botánica .....	13
1.3.2. Características climatológicas y edáficas .....	14
1.3.2.1. Temperatura .....	14
1.3.2.2. Humedad .....	14
1.3.2.3. Suelo .....	14
1.4. Morfología de la planta de trigo .....	15
1.4.1. Raíz .....	15
1.4.2. Tallo .....	16
1.4.3. Hoja .....	17
1.4.4. Inflorescencia .....	18
1.4.5. Fruto .....	20
1.5. Desarrollo de la planta de trigo .....	20
1.5.1. Crecimiento vegetativo .....	23
1.5.2. Fase reproductiva .....	24
1.5.3. Antesis .....	24
1.5.4. Llenado de grano .....	25
1.6. Trigo de riego y trigo de temporal .....	25
1.6.1. Habito de crecimiento y respuesta al fotoperiodo .....	26
1.7. Disponibilidad de agua en el suelo .....	27
1.7.1. Disponibilidad de agua del suelo para la planta .....	27
1.7.2. Contenido de humedad del suelo sobre el cultivo del trigo .....	28
1.8. Importancia de las raíces en las plantas .....	29

1.8.1. Funciones básicas. ....	29
1.8.2. Desarrollo radical. ....	30
1.8.3. Clasificación de los sistemas radicales. ....	31
<b>2. REGULADORES DE CRECIMIENTO. ....</b>	<b>32</b>
2.1. Crecimiento y desarrollo. ....	32
2.1.1. Auxinas (AIA). ....	34
2.1.1.1. Naturaleza química. ....	34
2.1.1.2. Efectos fisiológicos producidos por las auxinas. ....	35
2.1.2. Citocininas. ....	35
2.1.2.1. Naturaleza química. ....	36
2.1.2.2. Efectos fisiológicos producidos por las citocininas. ....	37
2.1.3. Giberelinas (AG). ....	37
2.1.3.1. Naturaleza química. ....	38
2.1.3.2. Efectos fisiológicos producidos por las giberelinas. ....	39
2.1.4. Ácido abscísico (ABA). ....	39
2.1.4.1. Naturaleza química. ....	39
2.1.4.2. Efectos fisiológicos producidos por el ácido abscísico. ....	40
2.1.5. Ácido Jasmónico. ....	41
2.1.5.1. Naturaleza química. ....	41
2.1.5.2. Efectos fisiológicos producidos por el ácido jasmónico. ....	41
2.1.6. Etileno. ....	42
2.1.6.1. Naturaleza química. ....	43
2.1.6.2. Efectos fisiológicos producidos por el Etileno. ....	43
2.2. Nuevos reguladores del crecimiento vegetal. ....	44
2.3. Ácido salicílico una hormona vegetal. ....	45
2.3.1. Naturaleza química. ....	45
2.3.2. Efectos fisiológicos producidos por el ácido salicílico. ....	46
2.4. Estudios realizados con ácido salicílico. ....	47
2.4.1. La bioproduktividad de las plantas. ....	47
2.4.2. Efecto de los salicilatos en las raíces. ....	47
2.4.3. Efecto de los salicilatos en los rebrotes. ....	49
2.4.4. Efecto de los salicilatos en el rendimiento de las plantas hortícolas. ....	50
2.4.5. Efecto del ácido salicílico en el rendimiento en tres variedades de trigo. ....	53
2.4.6. Efecto del ácido salicílico en la floración de <i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat. ....	54
<b>3. MATERIALES Y METODOS. ....</b>	<b>55</b>
3.1. Descripción del trigo utilizado en el experimento. ....	55
3.2. Ubicación del sitio experimental. ....	57
3.3. Preparación del área experimental. ....	57
3.4. Obtención de plántula y trasplante. ....	58

3.5. Unidades experimentales.....	58
3.6. Fertilización.....	58
3.7. Riego.....	59
3.8. Preparación de las soluciones.....	59
3.8.1. Tratamientos evaluados en el experimento.....	59
3.8.2. Aplicación de los tratamientos.....	60
3.9. Diseño experimental.....	61
3.10. Fases fenológicas observadas del trigo Triunfo F2004.....	62
3.11. Medición de variables respuesta.....	63
3.11.1 Variables fisiológicas.....	63
3.11.2 Índice de clorofila.....	63
3.11.3 Transpiración.....	64
3.11.4 Variables morfológicas.....	64
3.11.5 Número de espigas por planta.....	64
3.11.6 Altura de planta.....	64
3.11.7 Materia seca.....	65
3.11.8 Longitud radical.....	65
3.11.9 Biomasa.....	65
3.11.9.1 Biomasa radical.....	66
3.11.10 Rendimiento de grano.....	67
3.12 Metodología de análisis.....	67
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>69</b>
4.1 Índice de clorofila.....	69
4.2 Transpiración.....	70
4.3 Número de espigas por planta.....	71
4.4 Altura de planta.....	72
4.5 Materia seca.....	73
4.6 Biomasa radical.....	74
4.7 Longitud radical.....	76
4.8 Rendimiento de grano.....	77
4.9 Índice de cosecha.....	78
4.10 Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa radical.....	79
4.11 Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total.....	80
4.12 Temperatura observada fuera y dentro del invernadero.....	82
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Calendario agrícola para la producción de trigo en México.....	6
<b>Cuadro 2.</b> Superficie, producción y rendimiento del trigo en México, 1945 – 1990. ....	7
<b>Cuadro 3.</b> Costo de producción de una hectárea de trigo.....	11
<b>Cuadro 4.</b> Nuevos reguladores del crecimiento de naturaleza lipídica. Se resaltan las estructuras de las alcamidas, NAEs y AHLs, el organismo que las produce y sus posibles funciones fisiológicas. ....	44
<b>Cuadro 5.</b> Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de <i>Sinningia speciosa</i> (Gloxinia) los valores son la media de 25 muestras por tratamiento, $\pm$ error estándar. ....	50
<b>Cuadro 6.</b> Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de <i>Lonanthe saintpaulia</i> (violeta) los valores son la media de 20 muestras por tratamiento, $\pm$ error estándar. ....	50
<b>Cuadro 7.</b> Descripción de la variedad de trigo Triunfo F2004.....	56
<b>Cuadro 8.</b> Tratamientos evaluados en el experimento.....	60
<b>Cuadro 9.</b> Fechas de aplicación de los tratamientos .....	61
<b>Cuadro 10.</b> Fases fenológicas del trigo Triunfo F2004, observadas durante el experimento. ....	62
<b>Cuadro 11.</b> Relación entre rendimiento de grano y rendimiento de materia seca .....	78
<b>Cuadro 12.</b> Relación entre rendimiento de grano y la biomasa radical.....	79
<b>Cuadro 13.</b> Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total.....	81
<b>Cuadro 14.</b> Biomasa aérea y radical.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Producción nacional de trigo.....	8
Fig. 2. Principales productores de trigo en México.....	9
Fig. 3. Superficie sembrada nacional de trigo.....	10
Fig. 4. Producción mundial de trigo.....	12
Fig. 5. Principales países productores de trigo.....	13
Fig. 6. Planta de trigo y su sistema radical en el momento de la floración.....	16
Fig. 7. Hoja de trigo y sus partes.....	18
Fig. 8. Detalle de una espiguilla de trigo compuesta por cinco antecios.....	19
Fig. 9. Sección de una espiga de trigo.....	19
Fig. 10. Corte transversal de una semilla de trigo.....	20
Fig. 11. Fases fenológicas de la escala Zadoks.....	22
Fig. 12. Sistema radical alorrizo.....	32
Fig. 13. Sistema radical homorrizo.....	32
Fig. 14. Estructura química del ácido indolacético (Auxina).....	34
Fig. 15. Estructura química de la cinetina (Citocinina).....	36
Fig. 16. Estructura química del ácido giberélico (GA <sub>3</sub> ).....	38
Fig. 17. Estructura química del ácido abscísico.....	40
Fig. 18. Estructura química del ácido jasmónico.....	41
Fig. 19. Estructura química del Etileno.....	43
Fig. 20. Estructura química del ácido salicílico.....	46
Fig. 21. Efecto del ácido salicílico (10 <sup>-8</sup> M) en la longitud de la raíz de <i>Glycine max</i> , en condiciones de campo, 7 días después del tratamiento.....	48
Fig. 22. Efecto del ácido salicílico en la masa fresca y seca de <i>Tagetes erecta</i> .....	49
Fig. 23. Efecto de la aplicación de ácido salicílico en el rendimiento de <i>Lycopersicum esculentum</i> (A), <i>Cucumis sativum</i> (B) y <i>Carica papaya</i> (C).....	52
Fig. 24. Forma de aplicación de los tratamientos.....	60
Fig. 25. Distribución de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales.....	62
Fig. 26. Biomasa aérea y radical del trigo.....	66
Fig. 27. Efecto del AS en el Índice de Clorofila de la hoja bandera del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, α=0.05).....	69
Fig. 28. Efecto del AS en la transpiración del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, α=0.05).....	70
Fig. 29. Efecto del AS en el número de espigas por planta de trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, α=0.05).....	71

<b>Fig. 30.</b> Planta de trigo enferma ( <i>Ustilago tritici</i> ).....	72
<b>Fig. 31.</b> Efecto del AS en la altura del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $\alpha=0.05$ ).....	73
<b>Fig. 32.</b> Efecto del AS en el peso de materia seca del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $\alpha=0.05$ ).....	74
<b>Fig. 33.</b> Efecto del AS en la biomasa radical del trigo triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $\alpha=0.05$ ).....	75
<b>Fig. 34.</b> Efecto del AS en la longitud radical del trigo triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $\alpha=0.05$ ).....	76
<b>Fig. 35.</b> Efecto del AS en el rendimiento de grano del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $\alpha=0.05$ ).....	77
<b>Fig. 36.</b> Relación entre rendimiento de grano y materia seca. ....	79
<b>Fig. 37.</b> Relación entre biomasa radical y rendimiento de grano.....	80
<b>Fig. 38.</b> Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total. ....	81
<b>Fig. 39.</b> Temperaturas medias registradas dentro y fuera del invernadero en febrero de 2011. Con datos de la Estación Meteorológica de Montecillo, Hidrociencias, Colegio de Postgraduados.....	83
<b>Fig. 40.</b> Temperaturas medias registradas dentro y fuera del invernadero en Abril de 2011. Con datos de la Estación Meteorológica de Montecillo, Hidrociencias, Colegio de Postgraduados.....	83

**ESTUDIO DEL DESARROLLO RADICAL DEL CULTIVO DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L. var. TRIUNFO F2004) APLICANDO ÁCIDO SALICÍLICO VÍA FOLIAR**

**Juan Carlos Hernández López, 2012**

**RESUMEN.**

El trigo es un cultivo importante en la vida económica y social de México, ya que es parte importante de la dieta alimenticia de su población. El avance de la tecnología agrícola trata de satisfacer la demanda alimentaria, en el caso del trigo se busca incrementar su producción junto con otros productos agrícolas. También es importante realizar estudios fisiológicos que permitan incrementar la producción en el trigo. Dichos estudios indican; que las plantas producen diversas sustancias que regulan su crecimiento y desarrollo, estas sustancias se llaman hormonas vegetales o reguladores de crecimiento. Dentro de estos reguladores se encuentra el Ácido Salicílico. Se tienen evidencias científicas que la aplicación de Ácido Salicílico (AS) en las plantas, altera fenómenos de transpiración, favorece el desarrollo de frutos, e incrementa su productividad. Por tal motivo en el presente trabajo se evaluó el efecto de cuatro diferentes concentraciones de AS ( $10^{-4}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-8}$  y  $10^{-10}$  M) sobre el cultivo del trigo Triunfo F2004 (*Triticum aestivum* L.) bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental fue completamente al azar. Las variables estudiadas fueron: índice de clorofila, transpiración, número de espigas por planta, altura de planta, materia seca, longitud radical, biomasa radical y rendimiento de grano. Los resultados obtenidos indicaron que la aplicación foliar de AS incremento el índice de clorofila ( $10^{-6}$  M) y la tasa de transpiración ( $10^{-8}$  M) en 4.14% y 8.75% respectivamente, la biomasa ( $10^{-8}$  M) y longitud radical ( $10^{-8}$  M) aumento en un 17.04% y 4.72% y el rendimiento de grano ( $10^{-10}$  M) tuvo un incremento de 37.22% debiéndose este incremento a la mayor producción de espigas por planta.

**Palabras clave:** *ácido salicílico, biomasa radical, productividad, rendimiento, Triticum aestivum.*

**DEVELOPMENT STUDY OF RADICAL WHEAT CROP (*Triticum aestivum* L.  
var. TRIUNFO F2004) SALICYLIC ACID APPLYING LEAF AREA**

**Juan Carlos Hernández López, 2012**

**ABSTRACT.**

Wheat is an important crop in the economic and social life of Mexico as an important part of the diet of the population. The progress of agricultural technology is to meet food demand, in the case of wheat is looking to increase its production with other agricultural products. It is also important physiological studies which increase in wheat production. These studies indicate, that plants produce various substances that regulate growth and development, these substances are called plant hormones or growth regulators. Among these regulators is Salicylic Acid. They have scientific evidence that the application of salicylic acid (SA) in plants, altering phenomena of transpiration, promotes fruit development and increases productivity. Therefore in the present study evaluated the effect of four different concentrations of AS (10-4, 10-6, 10-8 and 10-10 M) on the cultivation of wheat Triumph F2004 (*Triticum aestivum* L.) under greenhouse conditions. The experimental design was completely random. The variables studied were: chlorophyll index, transpiration, number of ears per plant, plant height, dry matter, root length, root biomass and grain yield. The results obtained indicated that foliar application of AS increased the rate of chlorophyll (10-6 M) and transpiration rate (10-8 M) in 4.14% and 8.75% respectively, biomass (10-8 M) and length radical (10-8 M) increased by 17.04% and 4.72% and grain yield (10-10 M) increased 37.22% of this increase being due to increased production of spikes per plant. With respect to the variable number of spikes per plant, plant height and dry matter, we found no statistically significant differences.

***Index words:*** productivity, root biomass, salicylic acid, *triticum aestivum*, yield.

## INTRODUCCIÓN.

El trigo ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo el cereal más cultivado. Es considerado un alimento para consumo humano, aunque gran parte se destina a la alimentación animal, así como a subproductos de transformación industrial.

El avance de la tecnología agrícola trata de satisfacer la demanda alimentaria, pero el personal técnico debe esforzarse más para enfrentar el aumento de la población. En el caso del trigo, su producción debe incrementarse cada vez más en relación a otros productos agrícolas, tanto a nivel nacional como mundial.

Para aumentar la producción del cultivo del trigo se tienen dos opciones: una es incrementar las áreas sembradas e introducirlo en zonas nuevas y dos aumentar las productividades unitarias del cultivo. Para incrementar la producción agrícola del trigo de acuerdo a las dos formas mencionadas es necesario profundizar en el conocimiento del cultivo, ya que el entendimiento del mismo facilitara comprender los factores limitantes del cultivo bajo una condición dada.

Las plantas producen diversas sustancias que regulan su crecimiento y desarrollo. Estas sustancias son denominadas hormonas vegetales o reguladores del crecimiento y ejercen sus funciones mediante programas de señalización intracelular específicos que activan o desactivan los genes. Por sus efectos biológicos y por su distribución amplia en el reino vegetal se consideran 6 clases principales de reguladores de crecimiento: auxinas, citocininas, giberelinas, etileno, ácido abscísico y los brasinoesteroides. Todos estos compuestos son requeridos para la viabilidad celular, participan en procesos específicos de desarrollo y como integradores de señales ambientales (Ortiz y López – Bucio, 2010).

El ácido salicílico es considerado un regulador de crecimiento. Se tienen evidencias en el ámbito científico que la aplicación de salicilatos altera fenómenos de transpiración, inhibe la producción de etileno, favorece el amarre de órganos

reproductores, incrementa la productividad en plantas cultivadas, etc., por mencionar solo algunos de sus efectos.

Hoy día se tiene información para lograr altos rendimientos en el campo. Sin embargo, estudios a nivel fisiológico que contribuyan a incrementar la producción en el trigo es deseable. La finalidad de este trabajo consistió en evaluar el efecto del ácido salicílico sobre los parámetros de biomasa radical, crecimiento de la planta y rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L. var. Triunfo F2004).

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo general.**

El presente proyecto de investigación tiene como propósito principal realizar un estudio del desarrollo radical del trigo (*Triticum aestivum* L. var. Triunfo F2004) producido por diferentes tratamientos de ácido salicílico.

### **Objetivos particulares.**

1. Determinar el efecto de las diferentes concentraciones con ácido salicílico, sobre el desarrollo radical del trigo a través del análisis de diferentes parámetros fisiológicos de la planta a lo largo de su ciclo vegetativo.
2. Determinar el tratamiento óptimo más adecuado que promueva el desarrollo radical del trigo en invernadero aplicándolo vía foliar.

## **HIPOTESIS.**

Para los anteriores objetivos se han planteado las siguientes hipótesis a comprobar.

1. La aplicación foliar del ácido salicílico estimula significativamente el crecimiento de la raíz.
2. Aspersiones de diferentes concentraciones de ácido salicílico aumenta tanto la biomasa radical como el rendimiento agronómico del trigo bajo condiciones de invernadero.

## **1. REVISION DE LITERATURA.**

### **1.1. Antecedentes.**

El cultivo del trigo se extiende ampliamente en muchas partes del mundo, quizás por ser una especie que tiene un amplio intervalo de adaptación y por su gran consumo en muchos países (Martín, 1979). En el mundo se siembra trigo en alrededor de 75 países y en el mercado internacional se registra que participan 121. En México la importancia del trigo no pasa desapercibida, y sigue ganando preferencia en la alimentación humana, además de ser el cultivo anual extensivo más tecnificado (Villaseñor y Espitia, 1994).

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Iraq. Hace alrededor de 8 milenios, una mutación o una hibridación ocurrieron en el trigo silvestre, dando por resultado una planta con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento y sugiere la intervención del hombre. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicocoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo (Iraq septentrional), que datan del año 6700 A. C.

El trigo produjo más alimento al ser cultivado por iniciativa de los seres humanos, pues de otra manera éste no habría podido tener éxito en estado silvestre, simultáneamente, se desarrolló la domesticación de la oveja y la cabra, especies silvestres que habitaban la región, lo cual permitió el asentamiento de la población y, con ello, la formación de comunidades humanas más complejas, como lo demuestra también el surgimiento de la escritura, concretamente la Escritura cuneiforme, creada por los sumerios, y, por tanto, el principio de la historia y el fin de la prehistoria (Oeidruss, 2005).

Los españoles introdujeron el trigo a México a principios de la década de 1520, poco después de su llegada. No obstante, el maíz que ya era cultivado

extensamente por los indígenas cuando llegaron los españoles se mantuvo al trigo como el único cereal para la elaboración de pan (Borlaug, 1969). Los Frailes y Jesuitas difundieron el trigo ampliamente en el territorio nacional con el objetivo de dar a conocer este nuevo grano.

Los cultivares introducidos fueron mezclas de plantas de diferentes características, como por ejemplo el porte, duración del ciclo y el grano, incluso diferentes especies del género donde los tipos más hábiles fueron predominando después de muchos ciclos del cultivo, y así se fueron aclimatando a las condiciones de siembra y que posteriormente la gente identificó como criollos (Villaseñor y Espitia, 1994).

La importancia del trigo no solo queda plasmada en la historia, ya que también se remonta a nuestros días, donde se ubica como el grano que se cultiva en mayor superficie en el mundo, su producción supera a la de cualquier otro grano, en la dieta mundial contribuye con más calorías y proteínas y su comercio mundial excede la comercialización de todos los demás granos combinados (Hanson et al, 1982). Su cultivo se extiende a todo el mundo, desde áreas relativamente secas como la cuenca del Mediterráneo, hasta ambientes lluviosos como el Cono Sur de América y Norte de Europa.

### **1.1.1. Producción de trigo en México.**

La producción primaria de trigo en México se concentra principalmente en dos regiones del país, el noroeste y el Bajío. La primera, representa aproximadamente el 55% del total nacional y agrupa a los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa; en tanto que el 20% lo conforma la región Bajío a través de los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro. El principal ciclo agrícola para la producción de trigo corresponde al de Otoño–Invierno (O – I), en el cual destacan los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán, Chihuahua y Jalisco. En el ciclo de Primavera–Verano (P – V), los principales estados productores son Tlaxcala, México, Puebla, Hidalgo y Jalisco (ASERCA,

2010). En el cuadro 1, se muestra el calendario agrícola para la producción de trigo en México.

**Cuadro 1. Calendario agrícola para la producción de trigo en México.**

Ciclo actividad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
O-I																		
Siembra	Siembra de Otoño - Invierno																	
Cosecha							Cosecha de Otoño - Invierno											
P-V																		
Siembra							Siembra de Primavera - Verano											
Cosecha													Cosecha de primavera - Verano					

Fuente: Centro de Estadísticas Agropecuario, SAGARPA, 2010.

La superficie cosechada durante las primeras cinco décadas del siglo XX fue alrededor de 500 mil hectáreas y la productividad se incrementó ligeramente, lo cual repercutió en importar mayores volúmenes de grano, por ejemplo fueron importadas 62 mil toneladas en 1925 mientras que en 1950 se compraron 277 mil toneladas como consecuencia de un consumo nacional de 690 mil toneladas ese año (Rodríguez, 1992). En aquellos tiempos los cultivos de trigo cada vez fueron más afectados por las enfermedades conocidas como “chahuixtles”, principalmente el del tallo que en ocasiones llegaba a devastar campos completos, mientras que la demanda nacional de este grano cada vez era mayor como consecuencia del crecimiento de la población y del consumo per capita (Villaseñor y Espitia, 1994).

En el cuadro 2, se presenta la evolución de la superficie cultivada en el país, producción total y productividad de 1945 a 1990. De acuerdo con Villaseñor y Espitia (1994) para 1955 el impacto de apertura de tierras al cultivo de riego en el Noroeste se reflejó en el incremento de la superficie cultivada en casi 250 mil hectáreas y en la duplicación de la producción; para 1960 la mayor productividad de las nuevas variedades permitió cosechar cerca de 1.2 millones de toneladas y de esta forma lograr el abasto nacional. En el año de 1985 se obtuvo la producción récord para el país.

**Cuadro 2. Superficie, producción y rendimiento del trigo en México, 1945 – 1990.**

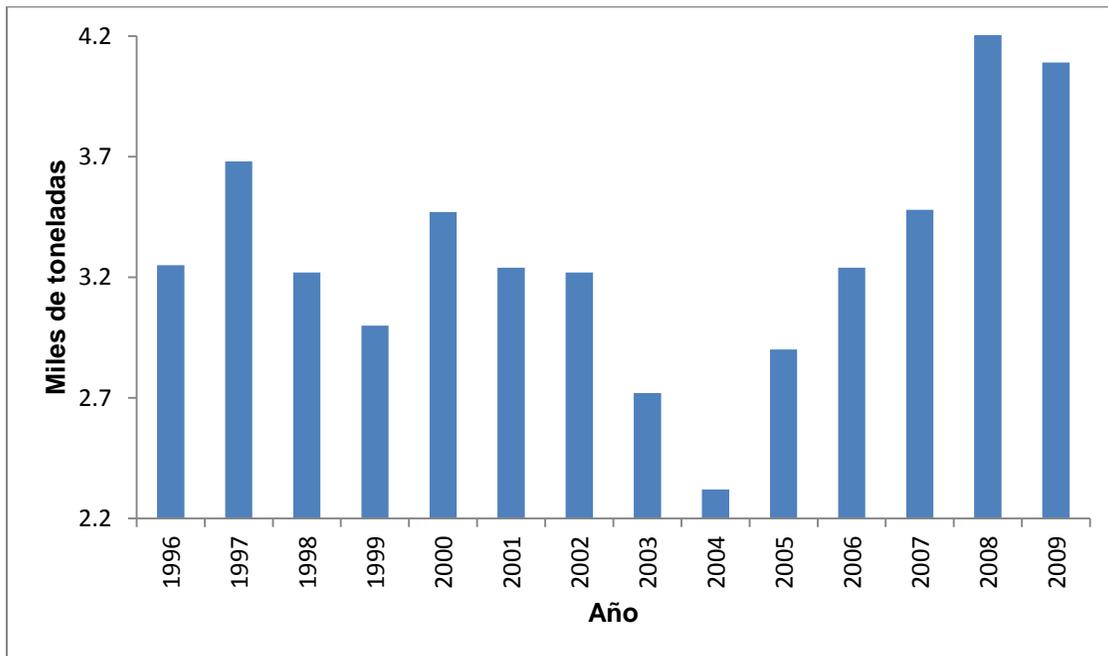
<b>Año</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción total (ton)</b>	<b>Productividad (ton/ha)</b>	<b>Incremento de la Productividad (%)</b>
1945	468 491	346 757	0.740	---
1950	498 921	417 981	0.838	13
1955	749 887	849 988	1.063	44
1960	839 814	1 189 979	1.417	91
1965	858 259	2 150 354	2.505	338
1970	886 169	2 676 451	3.020	408
1975	778 237	2 798 219	2.596	485
1980	723 804	2 784 914	3.848	520
1985	1 218 253	5 208 085	4.275	577
1987	1 049 210	4 388 390	4.182	565
1990	920 100	3 735 200	4.060	548

Fuente: Villaseñor y Espitia, 1994.

## **1.2. Situación actual de la producción de trigo en México.**

### **1.2.1. Producción.**

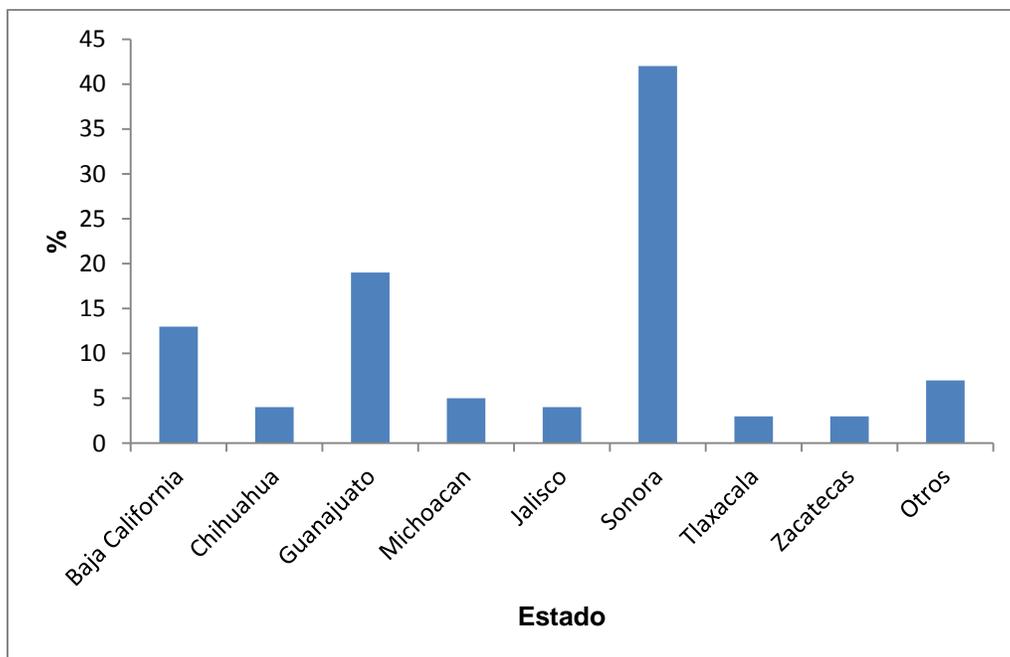
Según cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2011), la producción promedio de trigo durante el periodo de 1996-2009 fue de 3.265 millones de toneladas (fig. 1), siendo los años 2003 y 2004 los que registraron la menor producción, ubicándose en 2.72 y 2.32 millones de toneladas respectivamente. La menor producción observada en 2004 (394 mil toneladas), se debió a una menor superficie sembrada (-14%) en comparación con 2003, tal situación obedeció principalmente a la escasez de agua que se registró en Sonora, principal estado productor, observándose una superficie sembrada de solo 58.5% con respecto a la de 2003, al pasar de 251,335 ha a tan sólo 104,268 ha, lo que repercutió en un decremento de la producción obtenida de 55.6%.



**Fig. 1. Producción nacional de trigo.**

**Fuente: ASERCA, 2011, con datos del Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera con cifras del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).**

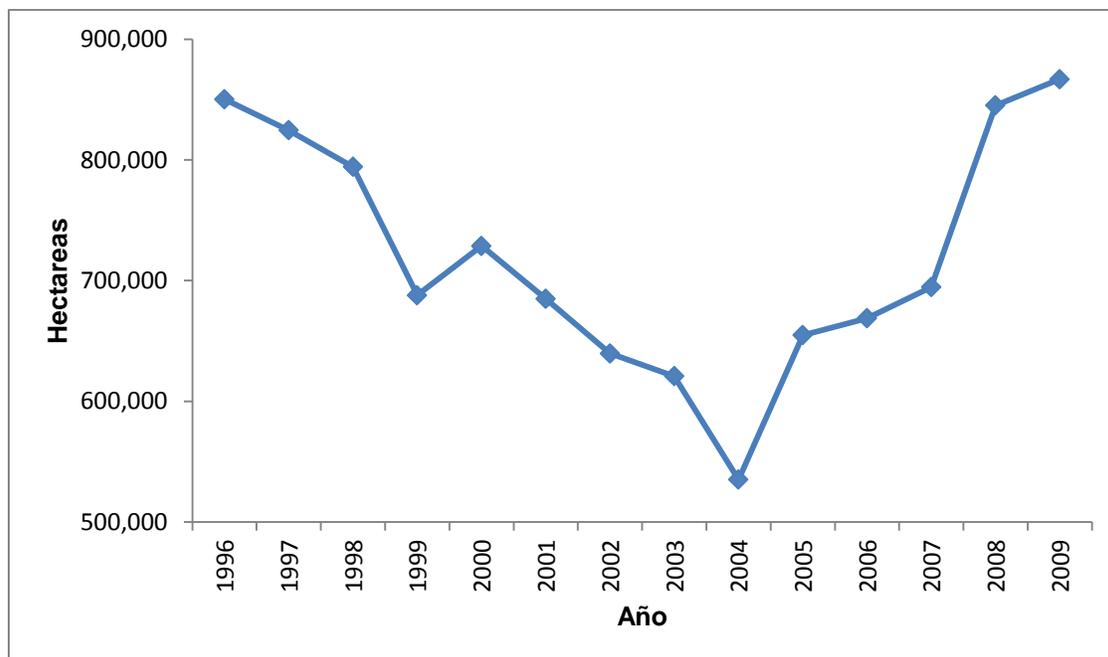
Sonora es el principal productor de trigo y su contribución en la producción durante 2008 se ubicó en 41.9% (fig. 2); seguido por Guanajuato que contribuyó con el 19.2% y Baja California con el 12.7% en promedio anual (ASERCA, 2011).



**Fig. 2. Principales productores de trigo en México.**  
**Fuente: ASERCA, 2011 con datos del Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera con cifras del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).**

### 1.2.2. Superficie sembrada.

En lo referente a la superficie sembrada (fig. 3), ésta ha tenido una tendencia creciente a partir del 2005, y en 2008 la cifra se ubicó en 845,084 hectáreas en 2009 la superficie sembrada se situó en 866,829 hectáreas esto representa un aumento de 21,744 hectáreas. Recuperando el nivel sembrado, ya que en 2004 tuvo una baja considerable llegando solamente a 535,121 hectáreas, debido a la sequía en el norte del país. En el periodo de 1996-2009 en promedio, la superficie sembrada se ubicó 726,118 hectáreas (ASERCA, 2001).



**Fig. 3. Superficie sembrada nacional de trigo.**

**Fuente:** ASERCA, 2011 con datos del Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera con cifras del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).

### 1.2.3. Costo de producción de trigo.

De acuerdo con la oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable en Sonora, los costos de producción de una hectárea de trigo (2011) es de \$15,054.00, en el cuadro 3, se desglosan los costos de producción por concepto.

**Cuadro 3. Costo de producción de una hectárea de trigo.**

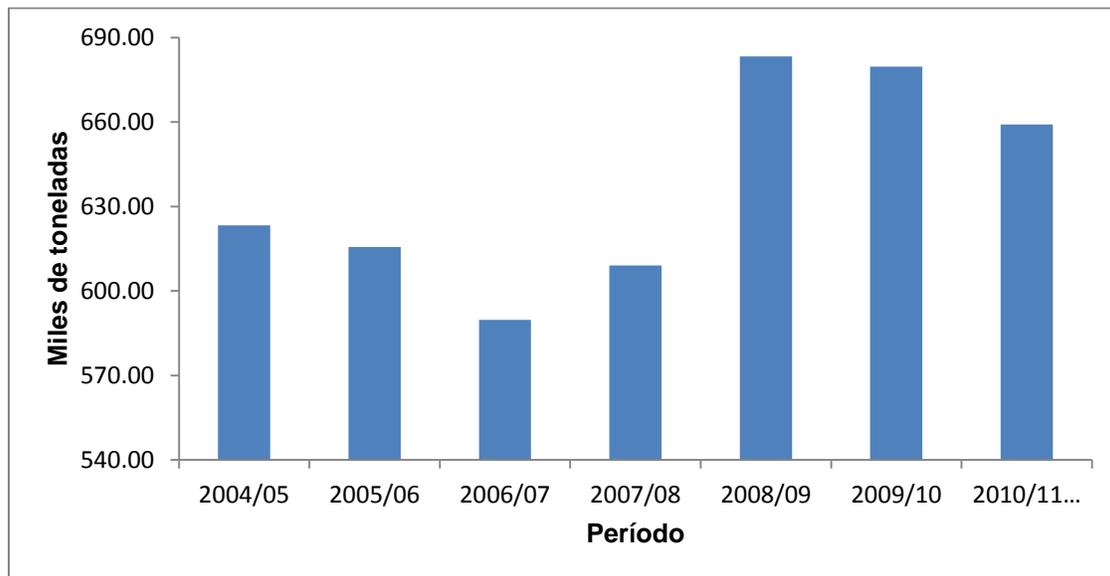
ACTIVIDAD O LABOR	IMPORTE TOTAL	ACTIVIDAD O LABOR	IMPORTE TOTAL
<b>1. PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>	1,820.00	<b>5. RIEGO Y DRENAJE</b>	1,940.00
Limpia de terrenos	0.00	Costo de agua	920.00
Barbecho	650.00	Riegos	720.00
Rastreo	700.00	Otros	300.00
Otros	470.00		
		<b>6. CONTROL DE PLAGAS Y ENF.</b>	2,390.00
<b>2. SIEMBRA O PLANTACIÓN</b>	1,230.00	Adq. De Ins. Y Fung.	1,390.00
Adquisición de semilla o planta	40.00	Aplic. De Ins. Y Fung.	800.00
Siembra	230.00	otros	200.00
Otros	460.00		
		<b>7. COSECHA</b>	1,615.00
<b>3. FERTILIZACIÓN</b>	3,830.00	Cosecha	0.00
Adquisición de fertilizantes	3,410.00	Acarreo	885.00
Aplicación de fertilizantes	180.00	Otros	730.00
Otros	240.00		
		<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	13,055.00
<b>4. LABORES CULTURALES</b>	230.00		
Escarda o cultivo	230.00	<b>8. COSTOS INDIRECTOS</b>	1,999.00
Deshierbe manual	0.00	Seguro agrícola	693.00
Adquisición de herbicidas	0.00	Costo financiero	0.00
Aplicación de herbicidas	0.00	Asistencia técnica	1,305.00
Otros	0.00	Otros	0.00
		<b>COSTO TOTAL</b>	<b>15,054.00</b>

Fuente: Elaborado por la OEIDRUS en base a los datos proporcionados por los Distritos de Desarrollo Rural.

En el caso de incluir la aplicación de ácido salicílico al paquete tecnológico de producción del cultivo del trigo, el incremento del costo es muy bajo, de acuerdo con Larque – Saavedra es un incremento de \$12.80 (1 dólar por hectárea), de tal forma que si se suma el costo de la maquinaria (aspersora) que es de \$180.00, tenemos que el costo de producción de una hectárea de trigo utilizando ácido salicílico es de **\$15,246.80**, lo cual hace viable el uso de este regulador de crecimiento en el cultivo del trigo.

#### 1.2.4. Situación mundial de la producción de trigo.

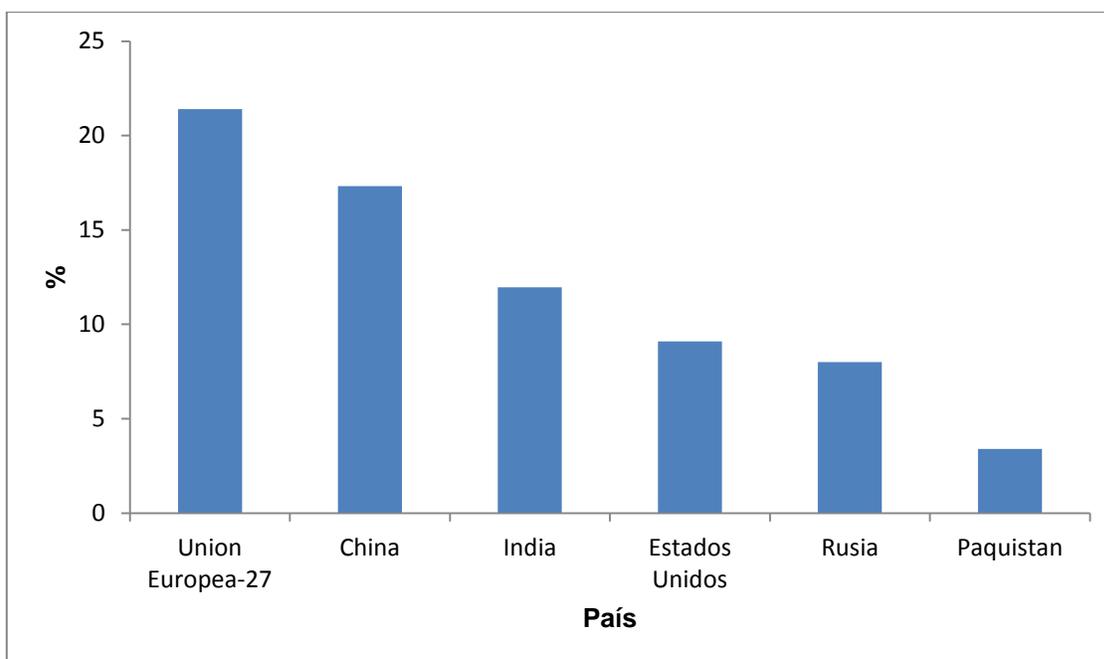
En el período 2004/05 - 2010/11, de acuerdo a datos del Foreign Agricultural Service (FAS- USDA), la producción promedio de trigo a nivel mundial se ubicó en 639.4 millones de toneladas, observándose que en dichos años, el que mayor producción registró fue 2008/09, con una oferta mundial de 683.3 millones de toneladas (Fig. 4).



**Fig. 4. Producción mundial de trigo.**

**Fuente: Foreign Agricultural Service/USDA Office of Global Analysis, Jul. 2010.**

Durante el periodo, los principales países productores fueron la Unión Europea con 21.4% de la producción mundial, seguido por China con 17.32%, India con 11.96%, Rusia con 8%, Estados Unidos con 9.1% y Paquistán con 3.4%.



**Fig. 5. Principales países productores de trigo.**  
**Fuente: Foreign Agricultural Service/USDA Office of Global Analysis, Jul. 2010.**

El pronóstico de la producción mundial de trigo en 2010/11 se espera que sea de casi 661 millones de toneladas, 2.76% menos que en 2009/10, debido principalmente al mal tiempo imperante en algunos de los principales países productores y exportadores (FAS – USDA, 2011).

### **1.3. Características del trigo.**

#### **1.3.1. Clasificación botánica.**

Las variedades más cultivadas son: *Triticum durum* y *Triticum compactum*. El trigo harinero llamado *Triticum aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo (Oeidrus, 2005).

De acuerdo con Robles (1979) la clasificación botánica del trigo es la siguiente:

Reino	Vegetal
División	Espermatofita
Clase	Monocotiledónea
Orden	Glumiflorae
Familia	Gramínea
Genero	<i>Triticum</i>
Especie	<i>aestivum</i>

### **1.3.2. Características climatológicas y edáficas.**

#### **1.3.2.1. Temperatura.**

En México se siembra trigo en casi todos los estados de la República y se adapta tanto a tierras pobres en nutrientes, como a tierras ricas, zonas húmedas, semihúmedas y secas. Las condiciones de temperatura varían considerablemente, pero las temperaturas óptimas para una buena producción de trigo oscilan entre 10° y 25°C bajo las condiciones de temperatura en las zonas trigueras de México.

El trigo se produce en regiones templadas y frías situadas desde los 15° a 60° latitud norte y de 27° a 40° de latitud sur, pero esto no quiere decir que no se pueda cultivar en otras regiones, (Robles, 1979).

#### **1.3.2.2. Humedad.**

De acuerdo con Villaseñor y Espitia (2000) los requerimientos de agua del cultivo de trigo oscilan entre 400 mm y 600 mm anuales de agua, siendo la cantidad óptima de 400 a 500 mm por ciclo agrícola.

#### **1.3.2.3. Suelo.**

El trigo requiere suelos profundos, para el buen desarrollo del sistema radical. Al ser poco permeables los suelos arcillosos conservan demasiada humedad durante los inviernos lluviosos. El suelo arenoso requiere, en cambio, abundante lluvia durante la primavera, dada su escasa capacidad de retención. En general se

recomienda que las tierras de secano dispongan de un buen drenaje, El trigo prospera mal en tierras ácidas; las prefiere neutras o algo alcalinas. También los microorganismos benéficos del suelo prefieren los suelos neutros o alcalinos. (Salazar y Álvarez, 2008).

La baja fertilidad del suelo es el principal factor limitante en la producción de cultivos en todo el mundo. Las variedades mejoradas de trigo con alto potencial de rendimiento significan poco, a menos que se cultiven en suelos fertilizados adecuadamente (Robles, 1979). Los mejores suelos para un buen desarrollo del cultivo deben de ser sueltos, profundos, fértiles y libres de inundaciones, y deben tener un pH entre 6.0 y 7.5; en terrenos muy ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento (Villaseñor y Espitia, 2000).

#### **1.4. Morfología de la planta de trigo.**

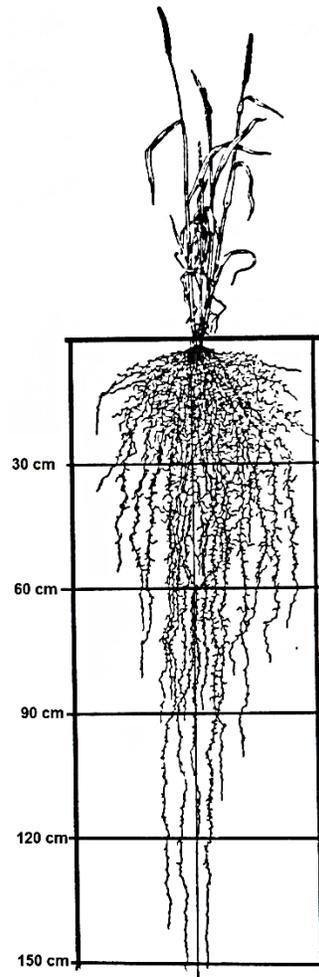
La planta de trigo consta de un rizoma con varios tallos y hojas axilares, que pueden crecer alrededor de un metro de altura. El número de tallos varía según el cultivar, densidad y profundidad de siembra y en general de las condiciones ambientales (Espitia y Villaseñor, 2000). A continuación se hace una descripción de cada una de las partes que conforman la planta de trigo.

##### **1.4.1. Raíz.**

Cuando la semilla germina, emite la plúmula y produce las raíces temporales. Las raíces permanentes nacen después de que emerge la plántula, éstas nacen de los nudos que están cerca de la superficie del suelo, que son las que sostienen a la planta en el aspecto mecánico y en la absorción del agua y los nutrientes hasta su maduración (Robles, 1979).

La planta de trigo presenta un sistema radical difuso (fig. 6), el cual consta de raíces adventicias que se ramifican repetidamente hasta formar varias órdenes de raicillas. Las raíces principales, que son muy numerosas, se concentran mayoritariamente en los primeros 20 a 30 cm, siendo lo normal que alcancen una profundidad aproximada de 50 cm; bajo condiciones muy favorables, pueden

penetrar hasta aproximadamente 150 m. algunas raíces se extienden horizontalmente 30 a 35 cm justo debajo de la superficie del suelo, otras crecen diagonalmente hacia abajo del suelo alrededor de 30 cm. Para el trigo puede considerarse como óptima una profundidad de suelo de 60 cm (Lersten, 1987).



**Fig. 6. Planta de trigo y su sistema radical en el momento de la floración.**  
Fuente: Lersten, 1987.

#### **1.4.2. Tallo.**

El tallo del trigo crece de acuerdo con las variedades, normalmente de 60 a 120 cm; sin embargo en la actualidad existen trigos enanos que tienen una altura de 25 a 30 cm y trigos muy altos de 120 a 180 cm que dan una relación paja – grano muy alta y viceversa para los trigos enanos. Desde el punto de vista comercial, los

trigos semi – enanos de 50 a 70 cm son los más convenientes. En estado de plántula, los nudos están muy juntos y cerca de la superficie del suelo; a medida que va creciendo la planta esta se alarga, además emite brotes que dan lugar a otros tallos que son los que constituyen los macollos variables en número de acuerdo con el clima, variedad y tipo de suelo (Robles, 1979).

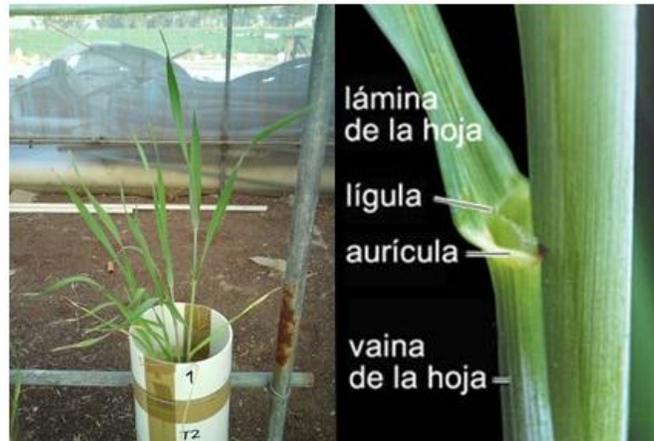
El tallo es hueco, excepto a nivel de los nudos, tiene forma cilíndrica y termina en una espiga. El número de internudos en el tallo principal fluctúa, en promedio, entre seis y siete, brotando de cada nudo una hoja en forma alterna. Una vez que la planta desarrolla su primer nudo en el tallo principal, se inicia la etapa de encañado; a partir de esta etapa se va desarrollando la espiga en el extremo apical del tallo (Lersten, 1987).

#### **1.4.3. Hoja.**

Las hojas del trigo se componen básicamente de dos partes: una vaina hendida longitudinalmente, que envuelve una porción del tallo sobre el nudo, y una lámina relativamente larga y angosta, cuya dirección sigue más o menos la horizontal. Las primeras dos hojas, una vez ocurrida la emergencia, aparecen en forma relativamente rápida.

En la base de cada lámina se presentan dos apéndices conocidos con el nombre de aurículas; estos apéndices se proyectan como prolongaciones de la lámina, a través de un plano horizontal imaginario, circundando el tallo. La presencia o ausencia de aurículas y el tamaño de ellas, son características fundamentales para lograr diferenciar las distintas especies de cereales durante los estados vegetativos. En el caso del trigo las aurículas son cortas y se entrecruzan ligeramente (fig. 7); en la cebada, en cambio, se cruzan completamente, en tanto que en la avena estas estructuras están ausentes. Entre la lámina y la porción envainadora de la hoja aparece la lígula, que corresponde a una lengüeta membranosa y transparente; su forma y tamaño también son útiles para diferenciar las especies de cereales durante los estados vegetativos.

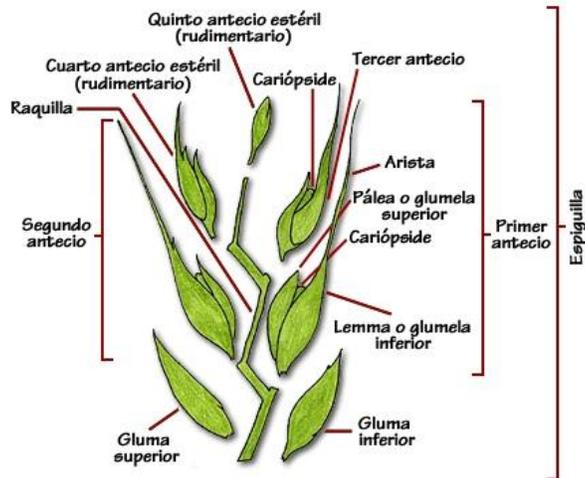
La hoja tiene una longitud que varía de 25 a 30 cm y de 0.5 a 3 cm de ancho. El número de hojas varia de 4 a 6 y en cada nudo nace una hoja, excepto los nudos que están debajo del suelo que en lugar de hojas producen brotes o macollos (Robles, 1979).



**Fig. 7. Hoja de trigo y sus partes.**

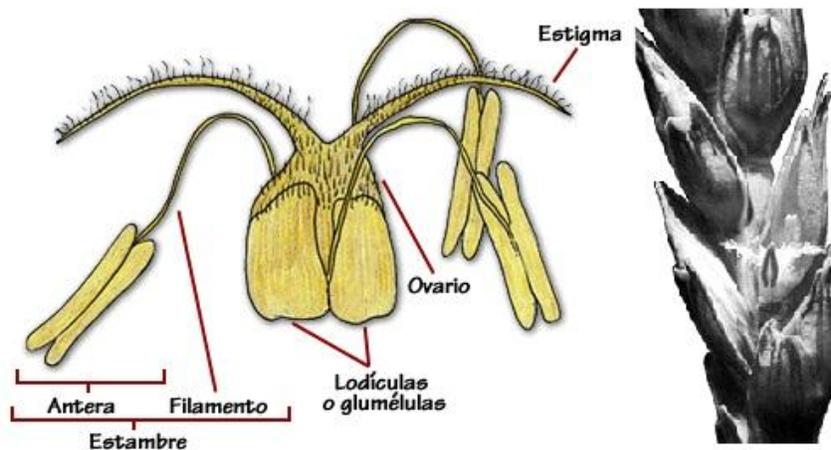
#### **1.4.4. Inflorescencia.**

La inflorescencia es una espiga que está formada por espiguillas dispuestas alternadamente en un eje central denominado raquis. Las espiguillas contienen de 2 a 5 flores que posteriormente formarán el grano que queda inserto entre la lemma (envoltura exterior del grano que en algunas variedades tiene una prolongación que constituye la barba o arista), y la pálea o envoltura interior del grano. La primera y segunda flor está cubierta exteriormente por las glumas. El número de espiguillas varía de 8 a 12 según sean las variedades y separación entre ellas es variable, lo que da la longitud total de la espiga (fig. 8).



**Fig. 8. Detalle de una espiguilla de trigo compuesta por cinco antecios.**  
 Fuente: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/trigo/inflores.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/trigo/inflores.htm)

La flor del trigo se compone de un estigma (fig. 9) y alrededor nacen las anteras que tienen un filamento que se alarga conforme va desarrollándose el estigma hasta que adquiere un aspecto plumoso que es precisamente cuando se encuentra receptivo. Cuando llega a este estado, las anteras están próximas a reventarse soltando el polen sobre el estigma. La polinización se efectúa en su mayor parte estando las anteras dentro de la pálea y la lemma (Robles, 1979).



**Fig. 9. Sección de una espiga de trigo.**  
 Fuente: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/trigo/inflores.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/trigo/inflores.htm)

#### 1.4.5. Fruto.

La semilla de trigo es parte de un fruto llamado cariósipide (fig. 10), en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y la testa, están estrechamente unidas siendo inseparables. El fruto es de carácter indehiscente y contiene una sola semilla.

La forma de la semilla es ovoide, algo aplastada en un extremo y provista de pilosidades cortas en el otro, siendo acanalada en toda su longitud. En la extremidad no aguzada se aloja el embrión o germen, el cual está constituido por la coleorriza, la radícula, la plúmula, el coleoptilo y el escutelo o cotiledón . Las hojas embrionarias, cuyo conjunto recibe el nombre de plúmula, están cubiertas por el coleoptilo. La radícula, por su parte, está envuelta por otra estructura llamada coleorriza. El escutelo, que constituye una parte relativamente grande del embrión, se encuentra en estrecho contacto con el endosperma amiláceo; este último, que ocupa la mayor parte de la semilla, corresponde a la fuente de obtención de harina.

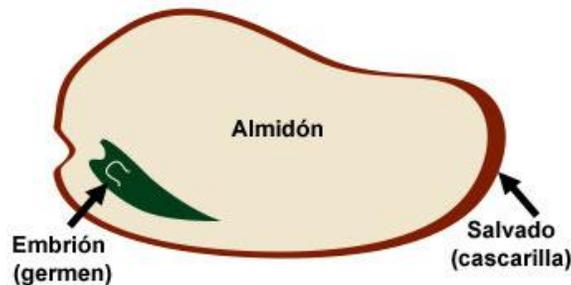


Fig. 10. Corte transversal de una semilla de trigo.

Fuente: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/trigo/inflores.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/trigo/inflores.htm)

#### 1.5. Desarrollo de la planta de trigo.

La planta de trigo completamente desarrollada consiste de un tallo principal con una espiga, entrenudos y nudos, hojas, raíces y tallos secundarios; los tallos secundarios a su vez presentan las mismas partes que el tallo principal y tienen potencialmente la capacidad de originar tallos terciarios. El proceso de desarrollo de la planta completa ha sido descrito mediante la utilización de designaciones numéricas a las diferentes etapas. Las escalas más utilizadas son las de Feeks, la

de Haun y la de Zadoks (Anexo 3). En general el desarrollo de la planta se divide en etapas o fases fenológicas, que varían de acuerdo al autor. Las más importantes son crecimiento vegetativo, fase de reproducción, fase de antesis y llenado de grano (Espitia y Villaseñor, 2000).

La escala de Zadoks nos permite entonces, por medio de una apreciación de la morfología exterior del cultivo, tener idea del estado de desarrollo que se sucede. La figura 11, relaciona las fases externas de la escala Zadoks (en rojo) y los dos estados internos observables en el ápice, doble arruga y espiguilla terminal (ver el texto vertical de la figura).

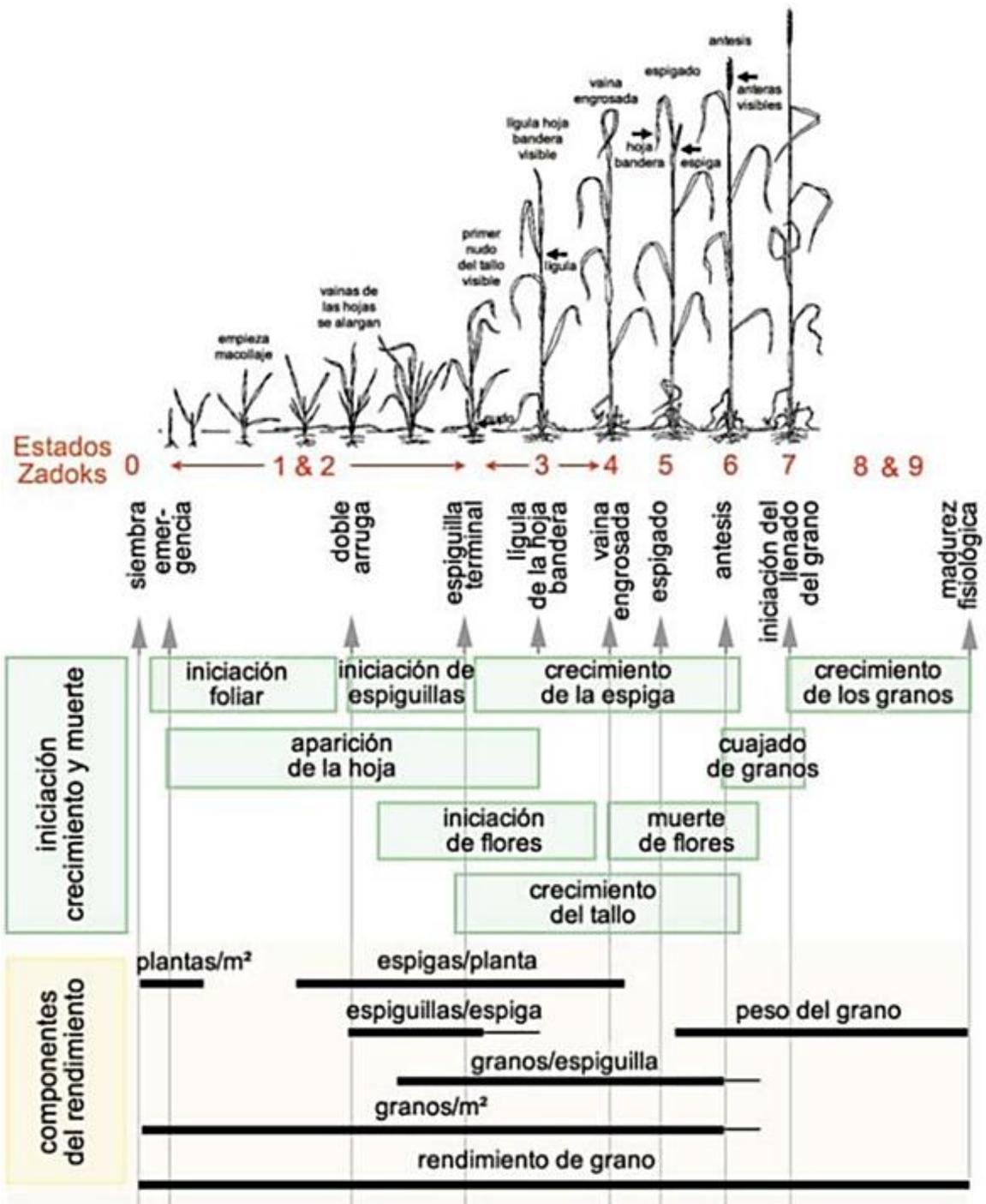


Fig. 11. Fases fenológicas de la escala Zadoks.  
Fuente: FAO.

A continuación se hace una breve descripción de las fases fenológicas más importantes y se mencionan algunos eventos importantes.

### **1.5.1. Crecimiento vegetativo.**

El crecimiento se inicia con la imbibición de la semilla y la consecuente activación del embrión. Posteriormente emerge la radícula y enseguida el coleoptilo; después se tiene el desarrollo de las hojas. A nivel microscópico el ápice de crecimiento cuando la primera hoja está emergiendo, (09 – 10 Zadoks) mide unos 0.2 mm de longitud; de forma cónica hacia el ápice está localizado el domo meristemático, el cual es redondo y suave. El domo está envuelto por otras formas crecientes a los lados del ápice, los cuales son los primordios florales. El crecimiento vegetativo continua hasta la aparición de cuatro hojas en trigos de primavera y unas ocho hojas en trigos de invierno (14 – 18 Zadoks); conforme la planta crece el domo se torna cada vez más cilíndrico hasta que da origen al primordio de la espiga. Alrededor de la aparición de la quinta hoja en trigos de primavera se inicia la elongación de los tallos, iniciándose así también la aparición de los nudos, lo cual ocurre del 15 al 36 en la escala Zadoks.

El desarrollo de las partes vegetativas como las hojas, tallo principal, tallos secundarios y raíces, pueden ser identificados numerando cada nudo, iniciando con el nudo de la primera hoja (cuarto nudo del embrión). Esta hoja posee una gluma axilar que se convertirá en el primer tallo secundario. La segunda hoja visible está unida al segundo nudo y tiene también una gluma axilar que dará origen al segundo tallo secundario. En el nudo coleoptilar, designado como cero, se desarrolla el tallo secundario coleoptilar.

La fase de crecimiento vegetativo comprende también el desarrollo de raíces. Las raíces originadas en los nudos escutelar y epiblasticos junto con la radícula son las primeras raíces capaces de absorber agua y nutrientes. Cuando esto sucede se inicia la elongación del coleoptilo. Posteriormente se desarrollan raíces en los nudos inferiores del tallo principal y en los tallos secundarios conocidas como raíces de la corona. Normalmente se desarrollan cuatro raíces por nudo, primero un par de raíces alternas y posteriormente el par subsecuente (Espitia y Villaseñor, 2000).

### **1.5.2. Fase reproductiva.**

La fase reproductiva se inicia cuando la planta tiene cuatro hojas expandidas o justo antes de la aparición del primer nudo. La fase reproductiva ocurre de cierta manera al mismo tiempo en todos los tallos reproductivos.

El ápice de crecimiento (domo) en el tallo principal y en los secundarios cesa de producir nudos vegetativos y da lugar a nudos reproductivos. En primer lugar el ápice de crecimiento se elonga y luego se desarrollan estructuras semejantes a hojas (surcos) en los nudos de las espiguillas; esta fase es conocida como surco sencillo. Una segunda serie de primordios se desarrolla en las axilas de los primordios de la primera serie para formar un doble surco. El máximo número de espiguillas es definido en este momento, cada espiga puede rendir menos pero nunca más del rendimiento definido por el número de espiguillas. Un estrés hídrico en esta etapa afectaría el número de espiguillas por espiga y consecuentemente el número de granos por metro cuadrado y finalmente el rendimiento de grano.

### **1.5.3. Antesis.**

Antesis es la fase en la que aparecen las anteras y se inicia la extrusión de polen. Ocurre poco después de la emergencia de la espiga y dura unos 3 a 5 días. La antesis se inicia primero en la parte media de la espiga, continua hacia el ápice y hacia la base de la misma. La antesis ocurre ligeramente después en los tallos secundarios que en el tallo principal, debido a su atraso normal en el desarrollo.

La meiosis ocurre en la fase conocida como antera verde, en la cual la antera mide 1 mm de longitud. Esta ocurre casi al mismo tiempo que en las anteras y en el carpelo. La fase conocida como antera amarilla es cuando la antesis y la fertilización son eminentes. Un estrés hídrico o un golpe de calor en esta etapa suelen afectar la viabilidad del polen y el número de flores fértiles, lo cual afectará directamente el número de granos por espiga (Espitia y Villaseñor, 2000).

#### **1.5.4. Llenado de grano.**

El periodo de llenado de grano se inicia justo después de la fertilización de los óvulos por el polen. El patrón de crecimiento de grano consta de una fase inicial de lento crecimiento, luego sigue una de crecimiento constante y finalmente la tasa de crecimiento disminuye a cero, al alcanzar la fase de crecimiento máximo. Un estrés de humedad durante el llenado de grano ocasionaría una reducción en el peso de grano (Espitia y Villaseñor, 2000).

#### **1.6. Trigo de riego y trigo de temporal.**

El trigo de riego corresponde al cultivo al cual es necesario proporcionarle el agua en el momento oportuno para que se complete su ciclo biológico y logre buena productividad, independientemente de la época del año. El trigo de riego en nuestro país se cultiva durante los meses que corresponden al ciclo otoño – invierno en áreas donde la precipitación es mínima durante estas estaciones, como lo es el Noroeste, Norte y parte del Bajío. El trigo de temporal en México se cultiva en el ciclo primavera – verano y que en muchas regiones coincide con la época de lluvias, es decir, es un cultivo que está supeditado en 100% a la cantidad y distribución de las lluvias para cumplir su ciclo biológico y lograr buena productividad. Dentro de las áreas destinadas al trigo de temporal, existen algunas con una baja y errática precipitación, otras con precipitación intermedia y áreas con temporal favorable que se distinguen por su mayor precipitación (Huerta y González, 2000).

Aun cuando no existen genes que determinen o definan a una variedad para riego o para temporal, si existen caracteres controlados genéticamente que son importantes y que se pueden manipular.

Una variedad de riego se caracteriza principalmente por su alto potencial de rendimiento, su resistencia al acame y su buena respuesta a la aplicación de insumos. Dentro de estas se puede encontrar variedades precoces, intermedias y

tardías que se adaptan bien a los diferentes sistemas de siembra de cada región. El tipo de planta por su altura para siembras de riego puede ser doble enanas, enanas y semi – enanas y raramente se cultivan variedades altas. Una variedad para temporal crítico, aparte del buen nivel de rendimiento, debe ser de ciclo precoz, responder satisfactoriamente bajo condiciones de sequía y debe ser de porte alto, espigas y granos grandes. Una variedad de trigo para ambientes intermedios además de lo anterior, debe ser resistente a enfermedades, incluyendo las royas y otras enfermedades foliares. Mientras las variedades de temporal para ambientes favorables deben de tener alto potencial de rendimiento, resistencia a royas y resistencia a enfermedades foliares, de la espiga y de la raíz. (Huerta y González, 2000).

#### **1.6.1. Hábito de crecimiento y respuesta al fotoperiodo.**

El trigo se puede clasificar de acuerdo a su hábito de crecimiento y su respuesta al fotoperiodo. Por su hábito existen trigos invernales, facultativos y trigos de primavera. En general los trigos requieren de un periodo de vernalización a temperaturas de 1 a 10 °C. Los trigos invernales requieren de seis a ocho semanas de vernalización a temperaturas de 4 a 6 °C, siendo la óptima de 3 °C para poder pasar de la fase vegetativa a la reproductiva, y generalmente son tolerantes al frío antes de la floración. Cuando los requerimientos de vernalización no se completan, los trigos permanecen en estado vegetativo (Huerta y González, 2000).

Los trigos facultativos son aquellos con requerimientos cortos de vernalización y se caracterizan por ser sensibles al fotoperiodo, pues aun cuando los requerimientos de frío han sido alcanzados, las plantas permanecen en estado vegetativo hasta que se empiezan a alargar la duración de los días. Los trigos de primavera no requieren de un periodo frío para poder inducir su floración. Dentro de este tipo de trigos existen aquellos sensibles e insensibles al fotoperiodo. Las variedades insensibles son las que prácticamente se desarrollan en cualquier ambiente y época del año en México. Por el contrario, una variedad sensible al fotoperiodo permanecerá en estado vegetativo hasta que los días largos del año

se inicien. Estos genotipos en nuestro medio se caracterizan por ser muy tardíos. (Huerta, 2000)

### **1.7. Disponibilidad de agua en el suelo.**

Kramer (1974) menciona que ha habido mucha discusión acerca de la disponibilidad de agua para la planta entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, afirma que el agua este o no disponible, el crecimiento y la transpiración se reducen cuando el contenido hídrico del suelo se abate a casi el punto de marchitez permanente.

El agua está menos disponible para la planta a medida que el contenido de humedad del suelo decrece por debajo de capacidad de campo. También afirma que la disponibilidad de agua en el suelo depende principalmente de su potencial y de la conductividad hidráulica, ya que ambos están estrechamente relacionados con el contenido de humedad (Adame, 1989).

El crecimiento radicular es importante para mantener el balance de agua durante la etapa vegetativa. Un crecimiento vertical de las raíces puede proveer de suficiente agua a cultivos durante el riego, ya que al extenderse la zona radical, puede suplementarse las necesidades de la planta por todo el ciclo vegetativo hasta la cosecha. El crecimiento de las raíces y su funcionamiento como superficie absorbente depende de varios factores en el ambiente que las rodea; alguno de ellos afectan su resistencia mecánica limitando su crecimiento, el abastecimiento de agua, la aireación y la modificación de la composición química de la disolución del suelo (Adame, 1989).

#### **1.7.1. Disponibilidad de agua del suelo para la planta.**

Hillel citado por Nagayo (1971), reporta que la cantidad de absorción del agua por la planta y la velocidad de absorción no solo dependen del contenido de agua del suelo y del potencial del agua. La cantidad y la velocidad de agua absorbida dependen no solo de la habilidad de absorción de agua de las raíces, sino también de la habilidad del suelo para abastecer, transportar el agua a las raíces a la

misma velocidad de la demanda de la transpiración. Estas habilidades están relacionadas a las características de la planta (la densidad de raíces, profundidad de raíces, coeficiente de crecimiento de las raíces y la habilidad de la planta para aumentar la presión de succión para absorber agua), y a las características del suelo (relación de conductividad hidráulica, potencial matricial y contenido de agua del suelo)

### **1.7.2. Contenido de humedad del suelo sobre el cultivo del trigo.**

En México se han realizado varios trabajos para estudiar el efecto de la humedad del suelo sobre el cultivo del trigo, se ha llegado a concluir que las etapas de acuerdo a sus exigencias de agua para su máxima producción de grano son las siguientes etapas: vegetativa, floración y maduración.

Marinato (1978), reporta que el rendimiento de grano del trigo depende básicamente del tamaño de las espigas y del número de granos por espiga, señala también que la etapa crítica del cultivo del trigo es la etapa comprendida entre la gametogénesis y formación del grano en estado lechoso. Los valores óptimos de tensión de humedad del suelo, en diferentes etapas del ciclo vegetativo del trigo que proporciona el máximo rendimiento de grano son: 5.65, 1.02 y 3.25 atmosferas para la etapa vegetativa, de floración y maduración, respectivamente.

Escobosa (1983), también concluye que la etapa de floración del cultivo del trigo, es la etapa crítica en las necesidades hídricas del cultivo. Reporta que la tensión de humedad en el suelo para que el rendimiento de grano sea máximo es de 3.42, 1.32 y 1.81 atmosferas, para la etapa vegetativa, de floración y maduración, respectivamente.

Sandoval (1983), de igual forma reporta las siguientes tensiones de humedad y son referidos a la profundidad del suelo 40 – 60 cm para todas las etapas: 6.10, 1.87 y 3.76 atmosferas para la etapa vegetativa, de floración y maduración respectivamente, lo que significa que la tensión de humedad del suelo debe mantenerse inferior a dichos valores. Como era de esperarse y coincidiendo con estudios anteriores, encuentra que la etapa de floración del cultivo es cuando

debe mantenerse la tensión de humedad del suelo mas bajo, seguida por la etapa de maduración y finalmente la vegetativa con la tensión mas alta.

De acuerdo con los resultados ya mencionados para las tres etapas criticas de exigencia de agua en el cultivo del trigo, obteniendo el promedio de dichos valores, se recomienda regar cuando la tensión de la humedad del suelo se encuentre a 5.05, 1.40 y 2.94 atmosferas, para la etapa vegetativa, de floración y maduración respectivamente.

## **1.8. Importancia de las raíces en las plantas.**

### **1.8.1. Funciones básicas.**

Un aspecto de la fisiología vegetal que frecuentemente es poco estudiado es lo referente al desarrollo de las raíces, ya que frecuentemente los estudios sobre las plantas se concretan a las partes aéreas de las mismas. Sin embargo, es necesario un entendimiento completo de los parámetros que regulan el desarrollo de la raíz, ya que esta juega un papel importante en el desarrollo global de la planta.

Es a través de las raíces que las plantas superiores están en contacto con los suelos, que contribuyen a la fuente de mayor parte de sus elementos nutricionales y minerales esenciales (Fuller, 1984). Según Menguel y Kirkby (1982), las raíces cumplen tres funciones fundamentales para el desarrollo de las plantas, estas son (a) el anclaje de la planta, (b) la absorción y la translocación de agua y nutrientes y (c) la síntesis de fitohormonas y otros compuestos orgánicos.

Para cumplir estas funciones las plantas necesitan aumentar la superficie de absorción por parte de las raíces. Según Stratburger (2000), el aumento de la superficie se produce por el hecho de que la epidermis no cutinizada (rizodérmis) de las raíces jóvenes producen un denso revestimiento de pelos radicales. Dichos pelos pueden alcanzar una gran longitud, son unicelulares y cada uno de ellos correspondió a una célula rizodérmica desarrollada (lateralmente) de manera tubular.

Además de la fijación, absorción, anclaje y conducción, las raíces asumen a menudo otras funciones. Son el lugar de la síntesis de importantes sustancias vegetales, como reguladores de crecimiento (giberelinas, citoquininas), que influyen en el crecimiento de las mismas.

### **1.8.2. Desarrollo radical.**

El sistema de raíces de una planta superior comienza en el embrión de la semilla. Después que ésta absorbe agua y se reactivan sus procesos fisiológicos, la radícula o raíz embrionaria sale fuera de la semilla para producir la raíz primaria de la nueva planta (Stratburger, 2000). Los primeros intentos para comprender como se desarrollan las plantas y su relación con el crecimiento de la parte aérea se explican por una relación directa entre el crecimiento radicular y el brote (parte aérea) lo que se denominó como “equilibrio morfológico” el cual se encuentra ligado a la regulación hormonal, en el desarrollo de la planta, por ejemplo las hormonas producidas por los meristemas radicales pueden afectar el crecimiento del brote y viceversa, en donde la absorción de nutrientes y agua en cantidades inadecuadas puede limitar el crecimiento de la planta. En respuesta a ello la planta puede regular la producción de un flujo extra de hormonas. Por otro lado también se habla de una regulación externa al desarrollo de la planta o “influencia ambiental” esta es la respuesta a los factores externos que dependen de la situación interna, es decir energía, concentración de nutrientes, potencial de agua, y hormonas en el interior de la planta.

Según Miranda (2005), en estudios con soluciones nutritivas se observó que el aumento en la concentración de nutrientes afecta la proporción entre la parte aérea y las raíces, tanto que al aumentar la concentración de fertilizantes se produce un aumento importante en esta relación, incrementándose en función del estado fenológico de la planta. No sólo de la condición nutricional del suelo depende el crecimiento radical, éste según Acevedo (1979) es un proceso que depende de la elongación celular, por lo cual el agua tiene una participación

fundamental, al proporcionar la fuerza que produce la expansión. El suelo participa generando una impedancia mecánica que es la resistencia que ofrece la matriz del suelo contra la deformación debido al crecimiento radical, así, la elongación de la raíz sólo ocurre cuando la presión radical excede a la impedancia mecánica. Esta propiedad del suelo a su vez depende de la porosidad, densidad aparente, contenido de agua, textura continuidad de los poros, tamaño de los agregados, macroestructura, y materia orgánica. Se puede decir que el desarrollo del sistema radical está asociado directamente con el desarrollo de la parte aérea, por un lado presentan una dependencia mutua en el crecimiento, como también desarrollan una relación competitiva por la distribución de agua, nutrientes y sustancias fotosintéticas, con lo cual las raíces y las plantas crecen en una proporción relativamente estable regulados por mecanismos fisiológicos internos de estas. Cambios en las condiciones ambientales pueden romper este equilibrio cambiando el sentido del desarrollo, vale decir favorecido el crecimiento radical con una disminución del crecimiento de la parte aérea y viceversa.

### **1.8.3. Clasificación de los sistemas radicales.**

Existen diversas formas de clasificación de las raíces. Esto es reafirmado por Keppler y Rickman (1990), quienes señalan que estos se pueden clasificar según su longevidad, distinguiendo entre raíces viejas y nuevas. También se pueden diferenciar entre raíces seminales y raíces definitivas. Este sistema de clasificación difiere con el que plantean los botánicos los cuales usan básicamente dos sistemas de clasificación: Primero una raíz principal que se ramifica en raíces secundarias menos desarrolladas. Este tipo de raíz es típico de las plantas gimnospermas y angiospermas dicotiledóneas, llamado “alorrizo” o raíz “axonomorfa” como se observa en la figura 12, este tipo de raíz se origina directamente de la radícula del embrión. El segundo tipo corresponde a un tipo de raíz que es llamada raíz “homorrizo” como se observa en la figura 13, en la cual no hay una raíz principal. Este sistema de raíz está formado por un conjunto de raíces de igual grosor y tamaño. No presentan crecimiento secundario en grosor y son caulogenas, es decir se origina directamente del tallo, ya que en este caso la

radícula del embrión no continúa su desarrollo (Stratburger, 2000). Este último es típico de las plantas monocotiledóneas en las cuales se encuentra la familia *Poaceae* o gramíneas (Rodríguez, 1993).

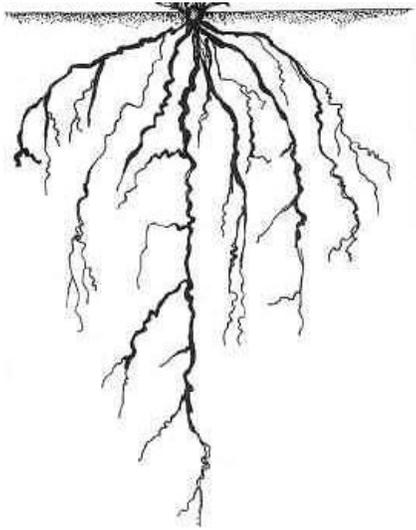


Fig. 12. Sistema radical alorrizo.

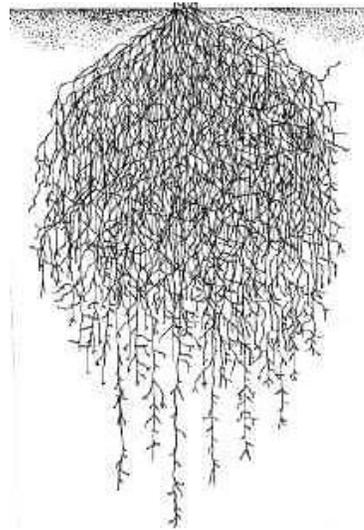


Fig. 13. Sistema radical homorrizo.

## 2. REGULADORES DE CRECIMIENTO.

### 2.1. Crecimiento y desarrollo.

El crecimiento de una planta es, por supuesto, la resultante del crecimiento de sus células, tejidos y órganos. Ahora bien, ¿Qué correlaciones existen entre las velocidades de crecimiento de cada una de estas partes y como se integran los crecimientos parciales de las diferentes células, órganos y tejidos para producir el crecimiento de la planta en conjunto? Para estudiar esta integración se hace necesario introducir una nueva hipótesis, la hipótesis hormonal del crecimiento en las plantas (Bonner, 1981).

Sabemos hoy que el crecimiento de una planta no solo está regulado por las sustancias minerales absorbidas por las raíces, sino también por ciertas

sustancias químicas especiales que actúan como agentes específicos determinantes de la correlación del crecimiento entre unas partes y otras.

Bonner (1981), menciona que estos agentes químicos, sustancias orgánicas, activas aun en pequeñas cantidades, se forman en un determinado tejido u órgano y pasan de el a otros lugares donde provocan efectos especiales sobre el crecimiento. Estos agentes reciben el nombre de fitohormonas.

Los reguladores del crecimiento o fitohormonas son compuestos de diferente naturaleza química que pueden alterar el desarrollo vegetal en concentraciones pequeñas. El concepto de hormona tal como fue desarrollado para los animales no es fácil de extrapolar a las plantas. Por una parte, las plantas no cuentan con un sistema de transporte tan eficiente como la circulación sanguínea y no tienen el equivalente a un sistema nervioso central como el de los animales para la integración y la coordinación de todas las actividades fisiológicas del organismo.

Aun así, las plantas tienen un sistema sofisticado para integrar información del ambiente y responder activamente a los estímulos bióticos y abióticos; de igual manera, poseen mecanismos para la comunicación entre los diferentes órganos y tejidos. Actualmente se acepta que los reguladores del crecimiento forman un grupo de moléculas integradoras de información, cuyas vías de señalización interactúan con frecuencia para regular la morfogénesis vegetal. Los reguladores más estudiados son las auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, ácido jasmónico y el etileno (López-Bucio *et al.*, 2006).

Las hormonas vegetales son generalmente moléculas pequeñas, que ejercen sus efectos biológicos a concentraciones bajas y regulan aspectos celulares diversos. Estos compuestos se pueden transportar entre los diferentes tejidos a través del sistema vascular (xilema y floema) como en el caso de las auxinas o mediante los espacios intercelulares como el etileno (Gray, 2004).

Gutiérrez citado por Villanueva (2008) menciona que los reguladores de crecimiento se han clasificado en cinco grupos: auxinas, citocininas, giberelinas,

ácido abscísico y etileno. Existen sustancias que actualmente son clasificadas también como reguladores de crecimiento vegetal como el ácido jasmonico, compuestos fenólicos y ácido salicílico.

### 2.1.1. Auxinas (AIA).

El AIA fue la primer hormona vegetal descubierta (Darwin, 1880), responsable de la orientación de los órganos vegetales. Suele utilizarse para su estudio la gramínea *Phalaris canariensis*.

Tambien otros experimentos consistían en cortar el ápice de *P. canaripasis* y volverlo a colocar sobre el tallo interponiendo entre ambas partes una lámina de agar, que permite el paso del regulador; el tallo se orientó hacia la luz. Además, si primero colocaban el ápice cortado sobre una lámina de agar, y posteriormente eliminando el ápice colocaban la lámina sobre el extremo cortado del tallo, este se orientaba también hacia la luz, siendo su desplazamiento proporcional al tiempo de exposición del ápice y el número de ápices en contacto con el agar. Esto demuestra que existe un regulador sintetizado en el ápice que regulaba la orientación del tallo (Jacobs, 1979).

#### 2.1.1.1. Naturaleza química.

La primera auxina descubierta fue el ácido indolacético (fig. 14), pero actualmente se conocen más de 12 auxinas distintas.

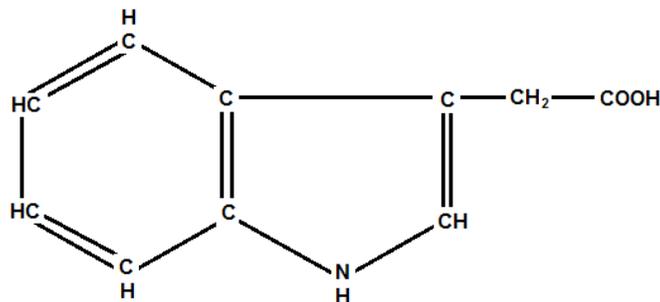


Fig. 14. Estructura química del ácido indolacético (Auxina).  
Fuente: Jacobs, 1979.

Los órganos aéreos son su primordial fuente. De hecho controlan el fenómeno de dominancia apical responsable del crecimiento primario. Al ser podado el ápice disminuye la cantidad de auxinas, lo que facilita la proliferación de las ramas laterales. Las hojas jóvenes, primordios florales (anteras y ovarios) y semillas en formación son también fuente de auxinas, en menores cantidades. Después de ser translocadas se encuentran en todos los órganos de la planta.

#### **2.1.1.2. Efectos fisiológicos producidos por las auxinas.**

Según (Jordan y Casaretto, 2006) algunos de los efectos fisiológicos son los siguientes:

- Estimula la elongación celular.
- Estimula la diferenciación del floema y del xilema.
- Estimula el enraizamiento en esquejes de tallos y el desarrollo de raíces laterales.
- Inhibe el desarrollo de las yemas laterales (dominancia apical).
- Puede inhibir o promover (via estimulación del etileno) la abscisión de hojas y frutos.
- Puede inducir la formación del fruto y su crecimiento en algunas plantas.
- Retrasa la maduración de los frutos.
- Promueve la floración en Bromelias.
- Estimula el crecimiento de algunas partes florales.

#### **2.1.2. Citocininas.**

El descubrimiento de las auxinas estimuló a muchos investigadores a buscar otros tipos de compuestos químicos que regularan el crecimiento ya que parecía improbable que el crecimiento y desarrollo de las plantas estuviese regulado sólo por una hormona. La búsqueda se concentró, especialmente, en hormonas que regulasen la división celular. Estos compuestos se han encontrado en todas las plantas, particularmente en los tejidos que se dividen de forma activa como

meristemos, semillas en germinación, frutos en maduración y raíces en desarrollo. Estas hormonas se llamaron citocininas (de "citocinesis") o citoquininas (Jacobs, 1979).

Actualmente se han aislado citocininas de muchas especies de plantas, donde se encuentran, fundamentalmente, en órganos cuyos tejidos se están dividiendo de forma activa, es decir, en semillas, frutos, y raíces. Recientemente, las citocininas se han identificado en dos plantas vasculares sin semilla, un equiseto (*Equisetum arvense*) y el helecho *Dryopteris crassirhizoma*.

#### 2.1.2.1. Naturaleza química.

En 1955, tras experiencias previas realizadas con ADN de esperma de arenque, Folke Skoog y Carlos Miller consiguieron preparar por tratamiento térmico de ADN un compuesto, el 6-furfurilamino purina, que promovía la división celular. Denominaron a esta sustancia cinetina (fig. 15) y llamaron a los reguladores que se incluían dentro de este grupo citocininas, debido, como se mencionó anteriormente, a su aparente implicación en los procesos de citocinesis, o división celular.

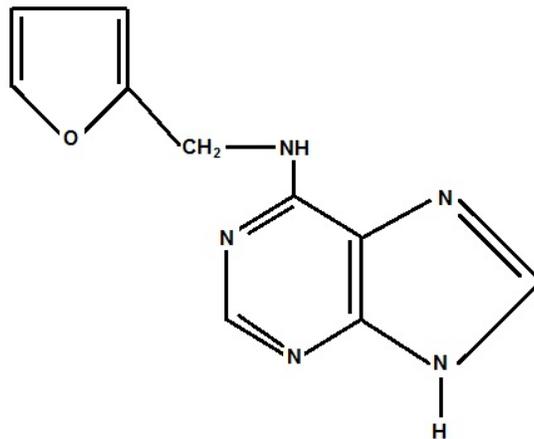


Fig. 15. Estructura química de la cinetina (Citocinina).  
Fuente: Jacobs, 1979.

La cinetina, que probablemente no existe en las plantas de modo natural, tiene una estructura relativamente simple, y los bioquímicos han sido capaces de sintetizar una gran variedad de otros compuestos relacionados que se comportan como

citocininas. En 1964, Letham y sus colaboradores aislaron una citocinina natural a partir de semillas de maíz (*Zea mays*), a la que denominaron *zeatina*, la cual es la citocinina natural más activa que se conoce.

#### **2.1.2.2. Efectos fisiológicos producidos por las citocininas.**

- La respuesta puede variar dependiendo del tipo de citocinina y de la especie vegetal.
- Estimula la división celular.
- Estimula la morfogénesis (formación de yemas).
- Estimula el desarrollo de las yemas laterales. Contrarresta la dominancia apical.
- Estimulan la expansión foliar debido al alargamiento celular.
- Puede incrementar la apertura estomática en algunas especies.
- Retrasan la senescencia foliar al estimular la movilización de nutrientes y la síntesis de clorofila.

#### **2.1.3. Giberelinas (AG).**

Las giberelinas juegan un papel de segundo grado como reguladores del crecimiento. Fueron descubiertas en 1920 por Kurosawa y colaboradores en Japón. Este equipo de investigadores trabajó con infecciones de hongos sobre plantas de arroz, y observó el crecimiento desmesurado de las plantas. El responsable era efectivamente el hongo, al que llamaron *Giberella fujikuroi*, aunque actualmente recibe el nombre de *Fusarium moniliforme*. Al suplementar el medio de cultivo fúngico detectaron la producción de compuestos químicos responsables del gigantismo, y de la enfermedad Bakanae (planta loca).

Durante la década de 1960 se descubrió la estructura química de la sustancia responsable del gigantismo del arroz, que heredando el nombre del hongo fue llamado ácido giberelénico, para después cambiar a ácido gibérico y finalmente quedarse con su nombre actual; ácido giberélico. Esta sustancia es una de las giberelinas (en concreto GA<sub>3</sub>), del grupo de hormonas que llevan a cabo un papel fundamental en el crecimiento de las plantas. Varios experimentos con AG mostraban el efecto fisiológico de esta sustancia química. Trabajos con mutantes

vegetales que presentan enanismo (respecto a un experimento control) fueron tratadas con suplementos de AG<sub>1</sub> (también fueron tratadas con este regulador plantas control, no mutantes). Todas las plantas tratadas con reguladores eran normales, por lo que se dedujo que las plantas enanas carecían de AG.

### 2.1.3.1. Naturaleza química.

El núcleo Giberelano (Ent-Giberelano), formado por cuatro anillos aromáticos, es el esqueleto estructural de todas las AG (fig. 16). El Kaureno (Ent-Kaureno) es de hecho su precursor directo. Actualmente se conocen 125 moléculas de estructura química similar, y con los grupos funcionales y el mecanismo de acción propios de las giberelinas. La síntesis metabólica de estos compuestos se encuentra integrada en el metabolismo central de los vegetales. Se trata de una ruta relacionada con la biosíntesis de carotenoides, las citoquininas y el ácido abscísico: La Ruta del Acetato-Mevalonato.

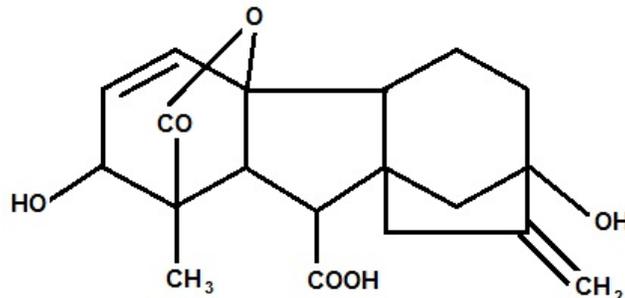


Fig. 16. Estructura química del ácido giberélico (GA<sub>3</sub>).  
Fuente: Jacobs, 1974.

Los órganos fuentes de AG son muy diversos. Incluyen ápices aéreos y radiculares, hojas jóvenes, anteras y ovarios de las formaciones florales, semillas inmaduras y embriones durante la germinación. También son capaces de sintetizar AG algunos hongos, bacterias y algas. Algunos productos de laboratorio destinados a la ingeniería agronómica están suplementados con inhibidores del crecimiento, y son utilizados para impedir la aparición de plantas foráneas (autóctonas) en campos de cultivo (Jordan y Casaretto, 2006).

#### **2.1.3.2. Efectos fisiológicos producidos por las giberelinas.**

- Inducción del alargamiento de entrenudos en tallos al estimular la división y la elongación celular.
- Sustitución de las necesidades de frío o de día largo requeridas por muchas especies para la floración.
- Inducción de la partenocarpia en algunas especies frutales.
- Estimulan la producción de  $\alpha$ -amilasa durante la germinación de los granos de cereales
- Retraso en la maduración de los frutos.
- Pueden retrasar la senescencia en hojas y frutos de cítricos.

#### **2.1.4. Ácido abscísico (ABA).**

La fitohormona ácido abscísico (ABA) fue identificada en 1960 tras estudios realizados sobre la abscisión de frutos y la dormancia de yemas. El grupo liderado por F. Addicott aisló compuestos que provocaban la abscisión de frutos de algodón y en 1963 identificó una de ellas, abscisina II, como ABA. Poco después otro grupo de investigación liderado por P. Wareing aisló una sustancia de hojas de *Acer pseudoplatanus* que promovía latencia de yemas. Esta, llamada dormina, también fue identificada como ABA. Desde entonces, el ABA ha sido implicada en múltiples procesos fisiológicos como regulación de crecimiento, dormancia de semillas, germinación, senescencia, división celular, control de la apertura de estomas y respuesta a estrés ambiental como sequía, salinidad, baja temperatura, ataque por patógenos y radiación ultravioleta (Jordan y Casaretto, 2006).

##### **2.1.4.1. Naturaleza química.**

La estructura del ABA (fig. 71) es similar a un fragmento de carotenoide. Su biosíntesis está también relacionada con la ruta del Acetato-Mevalonato. Su aparición ante situaciones de estrés es casi inmediata. Se forma por vía directa, por ciclación del farnesil pirofosfato. También puede ser sintetizada por Vía

Indirecta, por fotólisis (fotooxidación) de una xantofila; neoxantina, derivada de la ruta de los carotenoides. La vía indirecta es la utilizada en tejidos etiolados.

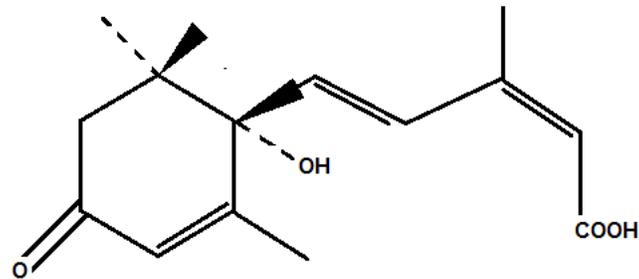


Fig. 17. Estructura química del ácido abscisico.  
Fuente: Jacobs, 1979.

El ABA es sintetizado en casi cualquier célula vegetal y puede ser movilizado por toda la planta por el xilema y floema. Sin embargo, el examen de algunas enzimas claves ha revelado que ABA es sintetizado preferentemente en tejidos vasculares en plantas no sometidas a estrés (Jordan y Casaretto, 2006).

#### 2.1.4.2. Efectos fisiológicos producidos por el ácido abscisico.

El ABA controla muchos aspectos importantes del desarrollo de la planta, incluyendo la síntesis de proteínas y lípidos de reserva en semillas, la adquisición de la tolerancia de semillas a la desecación y la inhibición de la transición a germinación y crecimiento reproductivo (Jordan y Casaretto, 2006). Otros efectos fisiológicos se mencionan a continuación:

- Control del cierre estomático.
- Desarrollo embrionario y de semilla.
- Tolerancia a estrés ambiental.
- Inhibición del crecimiento.
- Latencia de yemas.
- Senescencia y abscisión.

### 2.1.5. Ácido Jasmónico.

El ácido jasmónico (JA), y sus derivados, todos llamados jasmonatos (JAs), son compuestos de origen lipídico de estructura molecular similar a la de las prostaglandinas en animales. Actúan como moléculas señal de las respuestas de las plantas a diversas situaciones de estrés (heridas, ataque por patógenos y plagas, exposición a sequía y ozono) y participan en diversos procesos del crecimiento y desarrollo (Jordan y Casaretto, 2006).

#### 2.1.5.1. Naturaleza química.

Los jasmonatos (18) son formados a partir de los ácidos grasos no saturados linoleico y linolénico que se liberan desde los fosfolípidos de las membranas celulares por la acción de lipasas (Jordan y Casaretto, 2006).

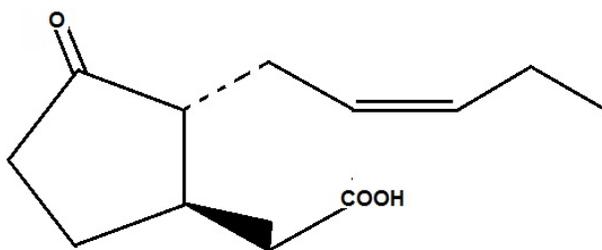


Fig. 18. Estructura química del ácido jasmónico.  
Fuente: Jordan y Casaretto, 2006.

#### 2.1.5.2. Efectos fisiológicos producidos por el ácido jasmónico.

En algunos casos la aplicación exógena de JA produce efectos semejantes a los producidos por ABA (Hernández, 2009). Los efectos fisiológicos del ácido jasmónico son:

- Promueven el cierre de estomas en condiciones de estrés.
- Inhiben la elongación de las raíces, pero promueven la formación de raíces adventicias.
- Su ausencia afecta el desarrollo normal del polen e inhiben la germinación del mismo.

- Promueven la degradación de la clorofila.
- Promueven la senescencia y abscisión de hojas.
- Promueven la biosíntesis del etileno. Actúan sobre la ACC oxidasa, por lo que también promueven la maduración y coloración de frutos.
- Pueden aumentar la resistencia de las plantas al ataque por insectos. En hojas de papa y tomate activan la expresión de genes que codifican para la biosíntesis de inhibidores de proteinasas, en cebada, soja y frijol las lipooxigenasas y la fenilalanina-amonio-liasa (PAL) y chalcona sintetasa, todas estas enzimas intervienen en la síntesis de compuestos de defensa de vegetales contra patógenos y herbívoros.

#### **2.1.6. Etileno.**

Etileno es la única hormona vegetal gaseosa, simple y pequeña, presente en angiospermas y gimnospermas aunque también en bacterias y hongos además de musgos, hepáticas, helechos y otros organismos. Siendo un gas puede moverse rápidamente por los tejidos, no tanto por transporte sino por difusión. Su efecto además se inicia con cantidades mínimas, las cuales ya provocan respuestas (Jordan y Casaretto, 2006).

Es contemporáneo al descubrimiento del ácido abscísico, se descubrió que el etileno es en realidad una hormona que controla el desarrollo de los órganos vegetales, en particular los procesos de maduración, senescencia y abscisión de hojas flores y frutos, y el crecimiento de la radícula durante la germinación. Las frutas también maduran en presencia de Etileno, de tal forma que si colocamos una fruta madura al lado de una fruta verde, la madura va a inducir su maduración por producción y difusión de las hormonas. En las florerías utilizan absorbentes de etileno para evitar el marchitamiento de ramos de flores (Jacobs, 1979).

### 2.1.6.1. Naturaleza química.

El etileno (fig. 19) es un hidrocarburo formado por dos átomos de carbono unidos por un doble enlace. Su naturaleza gaseosa permite su difusión a través del aire alrededor del órgano que lo sintetiza. Esta molécula de elevada simplicidad estructural presenta actividad biológica efectiva a muy bajas concentraciones. Se trata de una fitohormona muy común, sintetizada por organismos diversos; bacterias, hongos, algas, briófitos, pteridófitos, gimnospermas y angiospermas (Jordan y Casaretto, 2006).

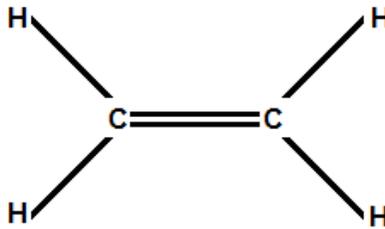


Fig. 19. Estructura química del Etileno.  
Fuente: Jordan y Casaretto, 2006.

### 2.1.6.2. Efectos fisiológicos producidos por el Etileno.

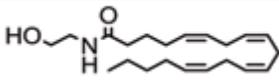
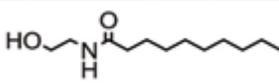
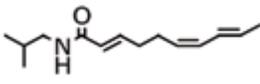
De acuerdo con Jordan y Casaretto (2006) los efectos fisiológicos que produce el etileno son los siguientes:

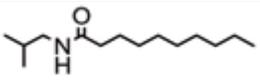
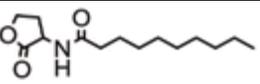
- Expansión celular.
- Epinastia.
- Cese de la dormancia en semillas y yemas.
- Inducción de floración.
- Maduración de frutos.
- Aceleración de la senescencia y caída de hojas y de flores.
- Acelera la apertura floral.

## 2.2. Nuevos reguladores del crecimiento vegetal.

En años recientes se han descubierto metabolitos con actividad fisiológica en las plantas, cuyo efecto en procesos celulares ya había sido descrito en sistemas animales, incluyendo el L-glutamato y el óxido nítrico. Del glutamato se conoce su capacidad de modificar el crecimiento de las raíces de *Arabidopsis* y el óxido nítrico afecta la arquitectura de la planta y la adaptación a estrés biótico y abiótico. Otros compuestos, incluyendo las poliaminas, el ácido salicílico y el péptido sistemina se han incorporado a la lista de potenciales hormonas vegetales (Pagnussat *et al.*, 2002; Walch-Liu *et al.*, 2006; Morquecho-Contreras y López-Bucio, 2007). De especial interés ha resultado la identificación de una familia de lípidos pequeños que incluye a las *N*-aciletanolamidas y las alcanidas debido a que están presentes en las bacterias, los animales y las plantas y se cree participan en procesos celulares importantes (Cuadro 4; López-Bucio *et al.*, 2006; Morquecho-Contreras y López-Bucio, 2007).

**Cuadro 4. Nuevos reguladores del crecimiento de naturaleza lipídica. Se resaltan las estructuras de las alcanidas, NAEs y AHLs, el organismo que las produce y sus posibles funciones fisiológicas.**

ORGANISMO	COMPUESTO	FUNCIÓN
Animales	 Anandamida (NAE 20:4)	Transmisión del impulso eléctrico en el sistema nervioso central. Sincronización del desarrollo del embrión. Desarrollo del cerebro. Proliferación celular.
<i>Arabidopsis thaliana</i>	 NAE 10:0	Germinación de la semilla. Proliferación celular. Respuestas de defensa. Regulación de la arquitectura radicular.
<i>Heliopsis longipes</i>	 Afinita	Germinación de la semilla. Proliferación celular. Formación de raíces laterales y pelos radiculares

ORGANISMO	COMPUESTO	FUNCIÓN
	 N-isobutil decanamida	Control de la estructura del citoesqueleto. Formación de raíces laterales.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	 N-decanoil-homoserina lactona	Crecimiento poblacional. Formación de biopelículas.

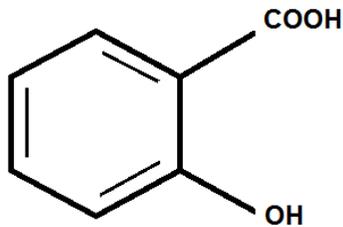
Fuente: CLARIDADES AGROPECUARIAS, 2010.

### 2.3. Ácido salicílico una hormona vegetal.

El ácido salicílico es un regulador del crecimiento vegetal que aumenta la bioproductividad. Los experimentos llevados a cabo con plantas ornamentales u hortícolas en condiciones de invernadero o al aire libre han demostrado claramente que responden a este compuesto. El efecto sobre las plantas ornamentales se expresa en el aumento de tamaño de la planta, número de flores, área foliar y la aparición temprana de las flores. En las especies hortícolas, el efecto es el aumento del rendimiento sin afectar la calidad de los frutos. Se propone que el aumento de la productividad biológica se debe principalmente al efecto positivo del ácido salicílico en la longitud de la raíz y su densidad (Larqué – Saavedra y Martin – Mex, 2006).

#### 2.3.1. Naturaleza química.

El ácido salicílico (fig. 20) es uno de los numerosos compuestos fenólicos presentes en las plantas, pertenece al grupo de los salicilatos, su característica química los relaciona por presentar el radical 2 - hidroxibenzoico, como el ácido acetilsalicílico. Se aisló por primera vez en el año de 1938 a partir de plantas del género *Salix* perteneciente a la familia *Salicaceae*, a la cual debe su nombre (Devore, 1979).



**Fig. 20. Estructura química del ácido salicílico.**  
Fuente: Devore, 1979.

El ácido salicílico se obtiene químicamente del tratamiento de la sal de un fenol con dióxido de carbono, el cual produce el reemplazamiento de un hidrogeno anular del grupo carboxilo, esta reacción se conoce con el nombre de Síntesis de Kolbe – Schmitt, mediante la cual se obtiene el ácido salicílico (Beyer y Walter, 1987).

El ácido salicílico es un polvo cristalino con forma de agujas incoloras y un punto de fusión de 159 °C (432 K), el ácido salicílico se caracteriza por una mayor volatilidad y porque da una coloración azul violeta con cloruro de hierro (III). Este comportamiento, así como su elevada acidez, se debe a la formación de un puente de hidrogeno intramolecular y la reacción coloreada, a la existencia de un complejo interno (Beyer y Walter, 1987).

Desde 1852 el ácido salicílico ha sido sintetizado y a partir de 1874 se empezó a producir a gran escala para su uso en la medicina (Bailey, 2000).

### **2.3.2. Efectos fisiológicos producidos por el ácido salicílico.**

Una función reguladora muy especial del ácido salicílico fue descubierta cuando se estudiaba el fenómeno de termogénesis en flores de especies de la familia *Araceae*. Previamente se conocía que este fenómeno estaba relacionado al proceso de respiración resistente a cianuro que involucra a la oxidasa alternativa. Hace varias décadas se postuló la hipótesis de una señal química o “calorígeno” que se movilizaba desde la flor masculina hacia el resto de la inflorescencia y muy posteriormente se evidenció que el ácido salicílico era capaz de inducir la oxidasa

alternativa y la producción de calor en una planta del género *Arum* (Raskin et al. 1987).

De acuerdo con Jordan y Casaretto (2006) los efectos fisiológicos que produce el ácido salicílico son los siguientes:

- Induce la floración de las plantas.
- Resistencia a patógenos y producción de proteínas relacionadas a la patogénesis.
- Promueve la respiración de la planta.
- Volatiliza compuestos aromáticos que atrae a los insectos polinizadores.

## **2.4. Estudios realizados con ácido salicílico.**

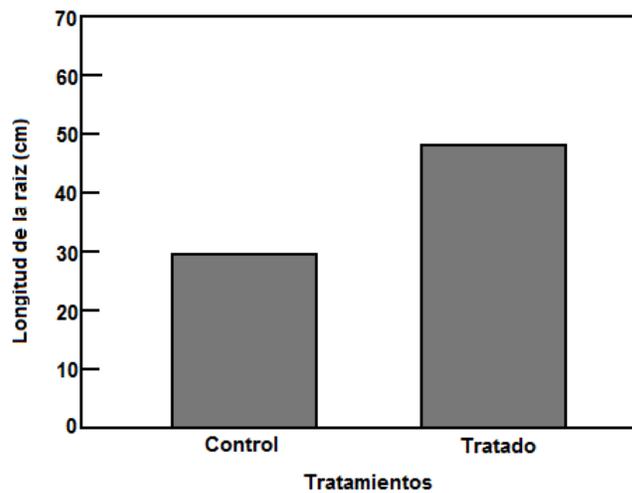
### **2.4.1. La bioproductividad de las plantas.**

La bioproductividad de las plantas ha sido uno de los principales temas de las ciencias agrícolas, y distintos expertos (genetistas, biotecnólogos, nutriólogos, fisiólogos, etc.) han sugerido varias propuestas en las cuales destaca la siguiente: el sistema radical desempeña un papel clave en la productividad de cualquier cultivo, se hizo una observación en uno de los bioensayos donde los salicilatos favorecieron el enraizamiento de plantas de frijol (Larqué-Saavedra et al., 1975). Desde entonces, el trabajo de investigación se ha centrado en determinar si los salicilatos podrían desempeñar un papel importante en los mejoramientos de los sistemas de radicales de las plantas y si tal efecto podría dar resultados reproducibles con la aplicación de bajas concentraciones de salicilatos.

### **2.4.2. Efecto de los salicilatos en las raíces.**

Incrementar el volumen total del suelo explorado por las raíces de la planta es una de las mejores maneras para mejorar el rendimiento, ya que más agua y nutrientes pueden ser absorbidos por las plantas. Un segundo aspecto importante es aumentar la densidad de raíces que se produce como consecuencia de la apertura creciente de las raíces secundarias. En experimentos realizados con

ácido salicílico ambos aspectos (longitud de la raíz y la densidad) fueron más sensibles al tratamiento. Tales estudios no incluyen la resistencia al flujo de agua en la raíz, sin embargo, se espera que se pueda observar una relación positiva. En un estudio realizado en 1996, se reportó que la aplicación foliar de ácido salicílico a los brotes de plantas de soja afectó significativamente el tamaño de la raíz (Gutiérrez-Coronado et al., 1998); (figura 21 y 22). Trabajos adicionales se ha reproducido con resultados similares en *Tagetis erecta*, con concentraciones bajas de  $10^{-10}$  M de ácido salicílico.



**Fig. 21.** Efecto del ácido salicílico ( $10^{-8}$  M) en la longitud de la raíz de *Glycine max*, en condiciones de campo, 7 días después del tratamiento.

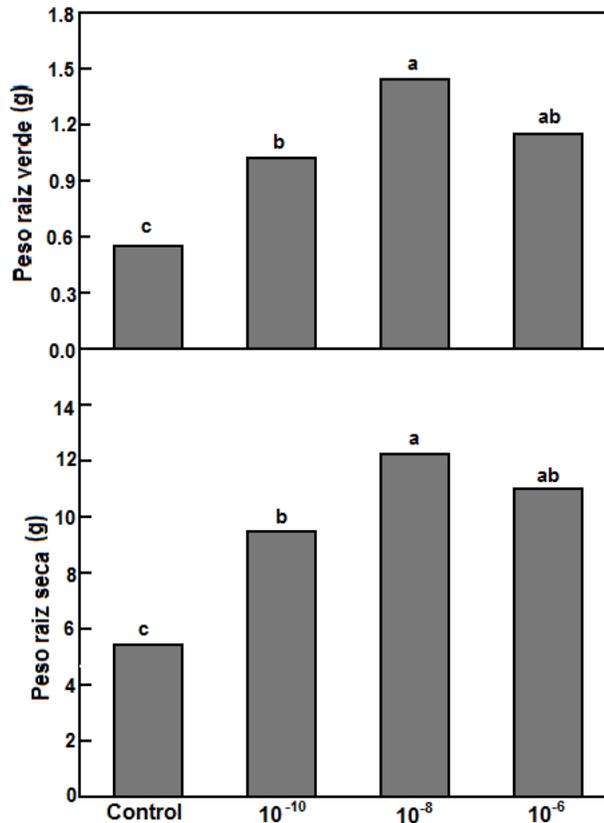


Fig. 22. Efecto del ácido salicílico en la masa fresca y seca de *Tagetes erecta*.

### 2.4.3. Efecto de los salicilatos en los rebrotes.

La aplicación de salicilatos a las plantas aumentó el crecimiento de los brotes en diferentes especies de plantas tales como *Clitoria* donde la producción de biomasa es importante como forraje para la alimentación animal (Martín-Mex y Larqué Saavedra, 2001).

Del mismo modo, cuando se aplica a las plantas ornamentales, la biomasa siempre es mayor. Los datos mostraron que los valores de diámetro del tallo, número de hojas, masa fresca y seca, fueron superiores, en respuesta al tratamiento de ácido salicílico. En las plantas ornamentales, tales como *Gloxinia* y violeta, el ácido salicílico aumentó el número de hojas formadas, y el área foliar

presentaron valores superiores a 10% que la del control. Valores similares se registraron para el diámetro de la planta (Cuadros 5 y 6).

**Cuadro 5. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de *Sinningia speciosa* (Gloxinia) los valores son la media de 25 muestras por tratamiento,  $\pm$  error estándar.**

Tratamientos	N° de hojas	Área de la hoja (cm <sup>2</sup> )
Control	13 $\pm$ 0.6 a	456.4 $\pm$ 3.0 c
10 <sup>-10</sup> M AS	13 $\pm$ 0.4 a	496.2 $\pm$ 2.3 bc
10 <sup>-8</sup> M AS	13 $\pm$ 0.6 a	680.9 $\pm$ 1.2 a
10 <sup>-6</sup> M AS	14 $\pm$ 0.4 a	565.2 $\pm$ 1.6 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes con  $P \geq 0.05$ , Tukey.

**Cuadro 6. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de *Ionantha saintpaulia* (violeta) los valores son la media de 20 muestras por tratamiento,  $\pm$  error estándar.**

Tratamientos	N° de hojas	Diámetro de la flor
Control	16 $\pm$ 1 b	139 $\pm$ 16 b
10 <sup>-10</sup> M AS	19 $\pm$ 2 a	177 $\pm$ 12 a
10 <sup>-8</sup> M AS	18 $\pm$ 3 ab	152 $\pm$ 11 ab
10 <sup>-6</sup> M AS	18 $\pm$ 2 ab	156 $\pm$ 10 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes con  $P \geq 0.05$ , Tukey.

#### 2.4.4. Efecto de los salicilatos en el rendimiento de las plantas hortícolas.

Las plantas tratadas con salicilatos tuvieron mayor rendimiento, ya sea cultivada en invernadero o en condiciones abiertas. Aristeo mencionado por Larqué-Saavedra (1998) encontró que el ácido salicílico indujo grandes tubérculos en las zanahorias (60%), remolacha (16%) y el rábano (200%). Estos datos, recogidos en sus trabajos preliminares, sugieren que el ácido salicílico puede desempeñar un papel importante en la productividad biológica de las plantas y podría estar relacionado con el efecto observado en el desarrollo de la longitud de las raíces de las plantas.

En los últimos años, una plantación comercial de *Carica papaya* pre-tratados con ácido salicílico mostró un aumento significativo en la producción de fruta, en comparación con el testigo. En el caso del tomate, que se cultiva en invernadero y en condiciones de espacio abierto, la concentración más baja ( $10^{-6}$  M) de ácido salicílico aumentó el rendimiento de la fruta desde 90 hasta 120 ton/ha sin afectar la calidad de las frutas. Este efecto fue reproducible en una plantación de pepinos, con la misma concentración de ácido salicílico, ésta aumentó el rendimiento de 139 a 170 ton/ha manteniendo la calidad de los frutos (Larqué-Saavedra y Martín-Mex, resultados no publicados; (fig. 23).

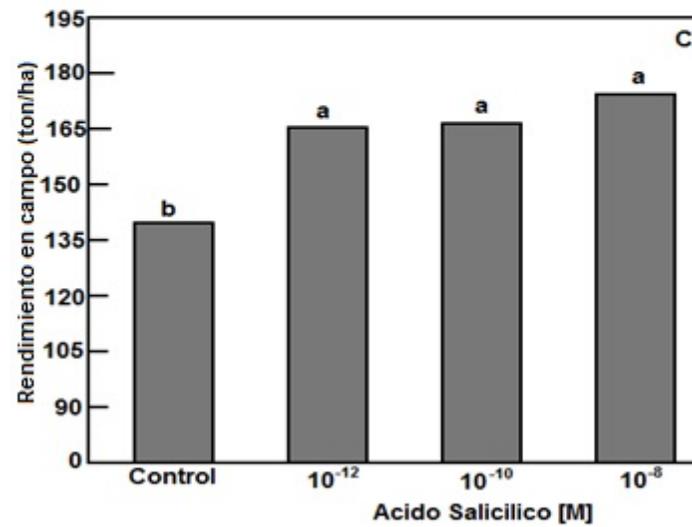
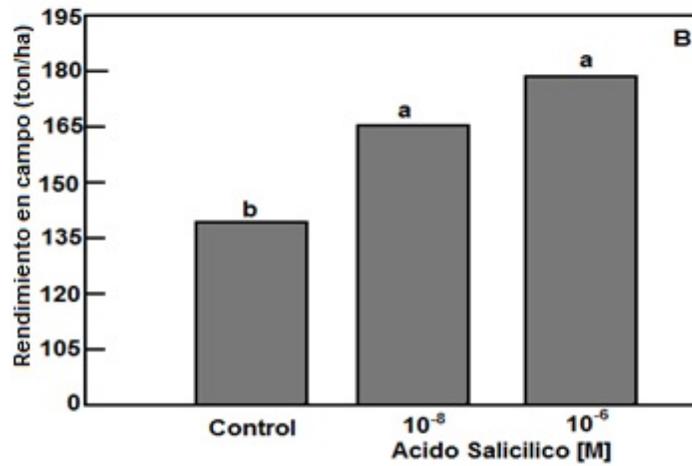
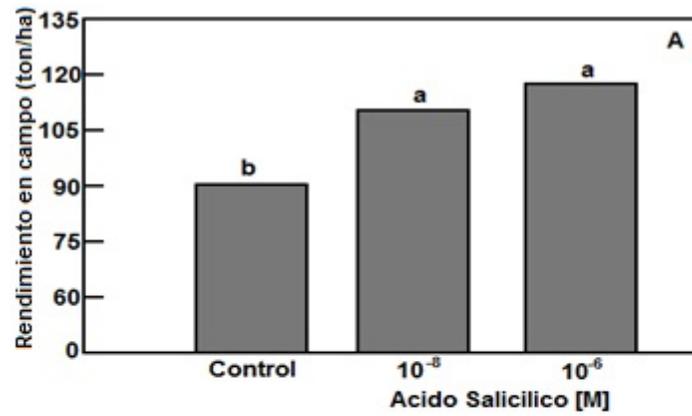


Fig. 23. Efecto de la aplicación de ácido salicílico en el rendimiento de *Lycopersicon esculentum* (A), *Cucumis sativum* (B) y *Carica papaya* (C).

Por lo tanto, la productividad biológica de las plantas hortícolas se podría mejorar mediante la aplicación de ácido salicílico. Las concentraciones más bajas de esta hormona del crecimiento vegetal también pueden ser empleadas en otros cultivos de importancia económica de producción.

#### **2.4.5. Efecto del ácido salicílico en el rendimiento en tres variedades de trigo.**

López, Camacho y Gutiérrez (1998), realizaron estudios de tres variedades de trigo en los ciclos agrícolas otoño – invierno 1986 – 1987 y 1988 – 1989 en el Valle del Yaqui, Sonora. Durante el primer ciclo la variedad sembrada fue la Altar C84, para el segundo ciclo se sembró la variedad Opata M85 y Oasis F86.

Los tratamientos utilizados de ácido salicílico para el primer año fueron: testigo,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  molar, para el segundo año fueron: testigo,  $10^{-4}$ ,  $10^{-6}$  y  $10^{-8}$  M, los análisis mostraron diferencias altamente significativas en la mayoría de las variables evaluadas.

Los tratamientos  $10^{-6}$  y  $10^{-4}$  M tuvieron un incremento de 2.19 y 7.33 por ciento respectivamente, esto se ve reflejado en uno y cuatro gramos por espiga en relación al testigo. En cuanto al rendimiento agronómico (kg/ha) la concentración de  $10^{-6}$  M promedio 6991.25 kg/ha comportándose diferente en comparación con el testigo.

En el caso del segundo año de prueba con las variedades oasis F86 y Opata M85, en el caso de número de granos por espiga el mejor tratamiento en la variedad oasis F86 fue para  $10^{-4}$  M con incrementos de seis granos por espiga con relación al testigo. Para Opata M85, el comportamiento fue similar para esta variable, donde la dosis de  $10^{-4}$  M reportó 4.37 granos más.

Con respecto a la variable peso de granos por espiga en la variedad Oasis F86 el resultado para el tratamiento  $10^{-4}$  M fue superior en 47% y para las concentraciones  $10^{-6}$  M y  $10^{-8}$  M en 45 y 35% respectivamente con respecto al

testigo. La variedad Opata M85 tuvo un incremento de 32, 26 y 28.8 por ciento con la aplicación de  $10^{-4}$  M,  $10^{-6}$  M y  $10^{-8}$  M en relación con el testigo.

#### **2.4.6. Efecto del ácido salicílico en la floración de *Chrysanthemum morifolium* Ramat.**

En este estudio se evaluaron diferentes concentraciones de ácido salicílico ( $10^{-6}$ ,  $10^{-8}$  y  $10^{-10}$  M) y dimetilsulfoxido (DMSO) ( $10^{-4}$  M) fueron aplicadas a esquejes de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) var. Polaris, en condiciones de invernadero. Las aplicaciones de AS al follaje se realizaron a los 16 días después del trasplante, se realizaron cuatro aplicaciones, con un intervalo de siete días entre cada una.

Villanueva (2008), encontró que la altura de las plantas fue diferente con los tratamientos de ácido salicílico en relación al testigo; los tratamientos con  $10^{-8}$  M y  $10^{-10}$  M de AS mostraron incrementos desde las primeras etapas de desarrollo hasta los 113 DPT. Las plantas asperjadas con DMSO crecieron más (83.6 cm) que las plantas asperjadas con  $10^{-6}$  M (81.0 cm) de AS y superaron al testigo. El diámetro del tallo fue mayor en las plantas asperjadas con AS y DMSO que en las plantas testigo y en el tratamiento  $10^{-8}$  M fue en el que se obtuvieron los valores más altos (8.9 mm). El ácido salicílico ( $10^{-6}$ ,  $10^{-8}$  y  $10^{-10}$  M) y el dimetilsulfóxido incrementaron de manera significativa el peso de materia fresca y seca de follaje y raíz, volumen de raíz y área foliar. El efecto del ácido salicílico fue notorio en la inducción a floración los tratamientos  $10^{-8}$  y  $10^{-10}$  M fueron con los que la floración se alcanzó a los 113 DPT y también se obtuvo el mayor diámetro de la flor (13.6 y 12.6 cm) respectivamente.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se consideró la siguiente línea de estudio: se montó un experimento en invernadero considerando los métodos utilizados en investigaciones previas. Para el desarrollo de la investigación la metodología de estudio fue la siguiente:

#### **3.1. Descripción del trigo utilizado en el experimento.**

Se utilizó *Triticum aestivum* L. var Triunfo F2004 en la realización de este trabajo, las semillas fueron proporcionados por el INIFAP CEVAMEX.

La variedad de trigo Triunfo F2004, cuenta con habito de crecimiento de primavera, con porte semierecto al amacollamiento y los tallos son tolerantes al acame; al inicio del espigamiento tiene frecuencia alta de plantas con hoja bandera recurvada, su espigamiento es uniforme y sus espigas son cerosas durante el llenado del grano; en madurez sus espigas son de color claro, fusiformes, laxas y de posición ligeramente curvada; su grano es mediano, rojo oscuro y de consistencia dura.

Triunfo F2004 se clasifica como una variedad de porte medio con una altura promedio de 77cm. El ciclo a madurez de esta variedad varía desde 88 hasta 140 días en los ambientes de sequía y lluviosos (INIFAP, 2009).

En el cuadro 7, se muestra la descripción de la variedad Triunfo F2004 durante el 2003 y 2004 en Chapingo, Méx. y Roque, Gto., de acuerdo con los descriptores requeridos por la Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de plantas (UPOV).

**Cuadro 7. Descripción de la variedad de trigo Triunfo F2004.**

No.	ESTRUCTURA	CARACTER	DEFINICION
1	Coleóptilo	Pigmentación antociánica	Nula o muy débil
2	Planta	Porte de la planta al final del amacollamiento	Semierecto
3	Hoja bandera	Pigmentación antociánica de las aurículas	Nula o muy débil
4	Planta	Frecuencia de plantas con la hoja bandera recurvada	Alta
5	Planta	Época de esigamiento (primera espiguilla visible en el 50% de las espigas)	Media (60 días)
6	Hoja bandera	Glauescencia de la vaina	Muy fuerte
7	Espiga	Glauescencia	Fuerte
8	Tallo	Glauescencia del cuello de la espiga	Fuerte
9	Planta	Longitud del tallo, espigas, barbas y aristas.	Media (90cm)
10	Paja	Sección transversal del tallo (a media distancia entre la base de la espiga y el nudo del tallo inmediatamente por debajo)	Hueca
11	Espiga	Forma de la espiga vista de perfil	Fusiforme
12	Espiga	Densidad	Laxa
13	Espiga	Longitud (excluyendo las barbas o aristas)	Media (11.7cm)
14	Barbas y aristas	Presencia	Presencia de barbas
15	Barbas o aristas en el ápice de la espiga	Longitud	Media (7.3cm)
16	Espiga	Color	Claro
17	Artejo apical del raquis	Vellosidad de la superficie convexa	Nula o muy débil
18	Gluma inferior	Anchura del hombro (espiguilla del tercio medio de la espiga)	Medio

No.	ESTRUCTURA	CARACTER	DEFINICION
19	Gluma inferior	Forma del hombro	Recto
20	Gluma inferior	Longitud del pico	Media (7mm)
21	Gluma inferior	Forma del pico	Ligeramente curvado
22	Gluma inferior	Extensión de la velloidad interna	Reducida
23	Lema inferior	Forma del pico	Ligeramente curvado
24	Grano	Color	Rojo
25	Grano	Coloración del fenol	Media
26	Época de siembra (Habito de crecimiento)		Primavera

Fuente: INIFAP, 2009.

### 3.2. Ubicación del sitio experimental.

La investigación se realizó, durante los meses noviembre de 2010 a abril de 2011, en condiciones de invernadero localizado en las siguientes coordenadas 19°27'37.38" N y 98°54'12.20 O, cerca de la Estación Meteorológica perteneciente al Postgrado de Hidrociencias, situada en Montecillo, Estado de México.

Para el establecimiento del experimento se utilizó un invernadero de estructura metálica con cubierta de plástico en una superficie de 72 m<sup>2</sup>.

### 3.3. Preparación del área experimental.

Antes del establecimiento del experimento, se realizaron diversas labores de limpieza y mantenimiento al interior del invernadero tales como: deshierbes y retiro de materiales ajenos al experimento.

### **3.4. Obtención de plántula y trasplante.**

Diez semillas de trigo (triunfo F2004) se pusieron a germinar en 8 cajas de Petri con papel filtro húmedo el día 15 de noviembre de 2010 (2:31pm) y germinaron el 17 de noviembre de 2010 (7:15am).

El trasplante se efectuó cuando las plántulas alcanzaron 5 cm de longitud el 20 de noviembre de 2010, en tubos previamente llenados con 13.785 kg de arena. El volumen de saturación fue de 5983.4 ml de agua. Después de saturar las unidades experimentales (tubo de PVC) se transplantó. Para tal efecto las unidades experimentales se colocaron en dos líneas con 15 unidades por línea y 35 cm de separación.

### **3.5. Unidades experimentales.**

Las unidades experimentales fueron tubos de PVC con un diámetro de 16 cm, y longitud de 60 cm, las cuales se cortaron longitudinalmente, enseguida se unieron con cinta canela y reforzaron con alambre inoxidable, se cubrió con manta uno de los extremos de los tubos, de esta forma se facilitó el retiro de las raíces para hacer los estudios correspondientes.

### **3.6. Fertilización.**

La formula recomendada por el CEVAMEX – INIFAP es de 100 – 60 – 00. Se fertilizó en dos ocasiones aplicando a cada unidad experimental 1.2gr de nitrógeno y 0.9gr de fósforo respectivamente. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46% de N) y de fósforo (superfosfato triple de calcio, 46% de P).

La aplicación del fertilizante a las unidades experimentales fue de forma manual, aplicando la primera dosis el 10 de diciembre de 2010 y la segunda aplicación el 21 de enero de 2011.

### **3.7. Riego.**

Los riegos se aplicaron de forma manual utilizando agua suministrada por una llave dentro del invernadero. Cada tubo se lleno con 13.785 kg de arena, el volumen de saturación fue de 5983.4 ml de agua, a partir del 21 de noviembre de 2010 se regaron cada una de las plantas de trigo con 500 ml de agua, suministrando un total de 65483.4 ml de agua hasta su etapa de madurez fisiológica.

### **3.8. Preparación de las soluciones.**

Las concentraciones preparadas de ácido salicílico fueron las siguientes:  $10^{-4}$  M,  $10^{-6}$  M,  $10^{-8}$  M y  $10^{-10}$  M. Primero se preparó la solución de ácido salicílico  $10^{-4}$  M y a partir de ella se prepararon las demás concentraciones.

Se pesó 0.0138g de ácido salicílico, se disolvió con 295 ml de dimetilsulfoxido (DMSO), posteriormente se aforo a un litro de agua, se ajustó el pH a 5.5 con hidróxido de potasio (KOH), se realizaron las diluciones de  $10^{-6}$  M,  $10^{-8}$  M y  $10^{-10}$  M, por último se agregó 1ml de Tween 20 como surfactante por cada litro de solución.

#### **3.8.1. Tratamientos evaluados en el experimento.**

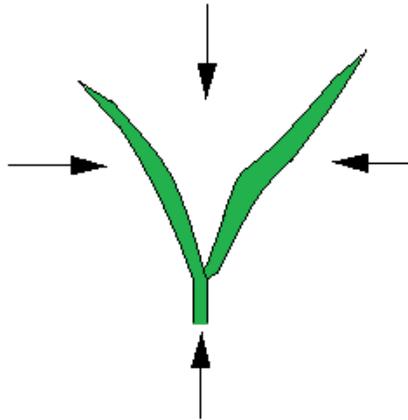
Las concentraciones de los tratamientos evaluados (cuadro 8), se seleccionaron con base en trabajos previamente realizados. Las soluciones se aplicaron a todo el follaje de la planta con un aspersor manual de capacidad de 1 litro. La hora de aplicación de los tratamientos se realizó durante las tardes a las 17 horas.

**Cuadro 8. Tratamientos evaluados en el experimento.**

Tratamiento	Concentración de AS
Testigo	-----
T1	$10^{-4}$ M
T2	$10^{-6}$ M
T3	$10^{-8}$ M
T4	$10^{-10}$ M

### 3.8.2. Aplicación de los tratamientos.

Se realizaron siete aplicaciones, iniciando con las tres primeras aplicaciones cuando las plantas de trigo presentaron las dos primeras hojas, la forma de aplicación de cada uno de los tratamientos fue sobre las hojas haciendo cuatro disparos por planta (fig. 24). Con una pantalla de papel cartulina se protegió que no se contaminaran las demás unidades experimentales durante la aplicación de los tratamientos.



**Fig. 24. Forma de aplicación de los tratamientos.**

En el cuadro 9 se muestran las fechas en que fueron aplicados cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 9. Fechas de aplicación de los tratamientos**

N° de aplicación	Fecha de aplicación
1	29 de Noviembre
2	1 de Diciembre
3	3 de Diciembre
4	6 de Diciembre
5	13 de Diciembre
6	20 de Diciembre
7	27 de Diciembre

### **3.9. Diseño experimental.**

El diseño experimental que se usó fue: un diseño completamente al azar (DCA), este diseño experimental es el recomendado para experimentos realizados en laboratorio o invernadero (Vásquez, 2009).

Cuando los tratamientos se ensayan en condiciones homogéneas del material experimental, es decir, las unidades experimentales (UE) son homogéneas (tienen en principio igual capacidad de respuesta) y cuando solo se tiene como factor de clasificación los tratamientos y la asignación de estos a las UE se hace en forma aleatoria (aleatorización irrestricta) entonces el modelo caracteriza el diseño completamente aleatorizado (DCA).

En este diseño se supone que si se tiene  $N = tr$  UE homogéneas, entonces se puede particionar las unidades experimentales dentro de  $t$  conjuntos de  $r$  unidades cada uno, además cada UE tiene igual probabilidad de asignación a cualquiera de los conjuntos. Este procedimiento define el DCA para  $t$  tratamientos. La realización de este protocolo es llamado en Hinkelman-Kempthorne, experimento completamente aleatorizado con igual número de réplicas.

Se contaron con 30 unidades experimentales donde se evaluaron 4 tratamientos y un testigo. Los tratamientos fueron asignados de forma aleatoria a las unidades

experimentales, para esto se utilizó el método de las urnas. La distribución de los tratamientos en las unidades experimentales se muestra en la figura 25.

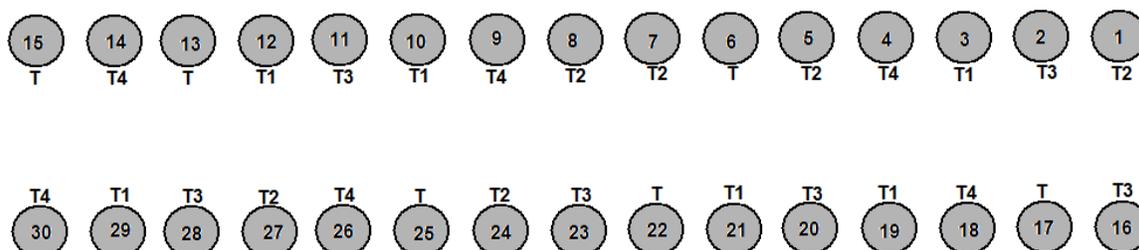


Fig. 25. Distribución de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales.

### 3.10. Fases fenológicas observadas del trigo Triunfo F2004.

En el cuadro 10, se muestran las etapas de crecimiento observadas durante el desarrollo del experimento.

Cuadro 10. Fases fenológicas del trigo Triunfo F2004, observadas durante el experimento.

Etapas fenológicas observadas durante el ciclo de desarrollo del trigo Triunfo F2004			
	Fase	Fecha	Descripción
1	Germinación	17/11/2010	Se presenta la emergencia del coleoptilo, se presenta la primera hoja en el extremo del coleoptilo.
2	Crecimiento de la planta		Inicia cuando se presenta la primera hoja desarrollada.
3	Macollamiento	08/12/2010	Se presenta el tallo principal y el primer macollo.
4	Elongación del tallo	05/01/2011	Se detecta el primer nudo y se forma la hoja bandera.
5	Preemergencia floral		La vaina de la hoja bandera está abierta, las primeras aristas son visibles.
6	Emergencia de la inflorescencia	06/02/2011	Primeras espiguillas visibles (inicio de la espigadura).
8	Grano lechoso	09/03/2011	Se presenta el grano lechoso avanzado.
9	Grano pastoso	17/03/2011	Grano pastoso duro.
9	Madurez		El grano está maduro ya no se marca al hacer presión con la uña. (Cariópside duro).

### **3.11. Medición de variables respuesta.**

A continuación se describen cada una de las variables y la forma en que fueron medidos durante el tiempo que duro el experimento.

#### **3.11.1 Variables fisiológicas.**

Las variables fisiológicas de la planta de trigo son todas aquellas que tienen que ver con los procesos internos de la planta. A continuación se describen las variables fisiológicas estudiadas en el experimento.

#### **3.11.2 Índice de clorofila.**

La clorofila es el pigmento que da el color verde a los cloroplastos, los cuales están contenidos en las plantas verdes y en algunas algas, y es la parte de la hoja encargada de capturar la energía luminosa para transformarla en energía química necesaria para llevar a cabo los procesos químicos de la fotosíntesis a través del cual la planta elabora azúcares a partir de oxígeno, carbono e hidrógeno (Nava, 2009). Para medir el índice de clorofila se utilizó el medidor de clorofila portátil SPAD – 502 marca Minolta (anexo 4) con este equipo se determina la cantidad relativa de clorofila por medio de un índice de verdor a partir de la luz transmitida a través de la hoja en dos regiones de la longitud de onda a 650 y 940 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa, azul y roja, en 500 – 600 y 600 – 700 nm, respectivamente) con emisiones en la región cercana al infrarrojo. Usando estas dos emisiones el SPAD calcula cantidad proporcional de clorofila presente en la hoja. El índice de clorofila se midió el 21 de febrero de 2011 (93 DDT). La metodología seguida es la siguiente:

1. Se enciende el aparato, si este ya está calibrado se coloca la hoja entre la pinza y se presiona contra ella (se hace con cuidado para evitar dañar la hoja).

2. Se hace la determinación de clorofila, para lo cual se realizan tres mediciones en la hoja bandera, obteniendo la lectura, con el botón AVERAGE se obtiene la media y se registro en una libreta y se continuó realizando las mediciones restantes. Cada medida se realiza en dos segundos.

### **3.11.3 Transpiración**

La transpiración se determino con un porómetro LI – COOR 1600, las lecturas se realizaron en la misma hoja bandera donde se midió el índice de clorofila, las mediciones se realizaron el 21 de febrero de 2011 (93 DDT).

### **3.11.4 Variables morfológicas.**

Las variables morfológicas de la planta de trigo son todas aquellas que tienen que ver con la estructura y la forma de la planta. A continuación se describen las variables morfológicas estudiadas en el experimento.

### **3.11.5 Número de espigas por planta.**

Para medir esta variable se realizaron los conteos del número de espigas por planta de trigo en cuatro diferentes fechas (ver Anexo 1). Los conteos de las espigas se hicieron durante el desarrollo del experimento en el invernadero.

### **3.11.6 Altura de planta.**

Bonner (1981) define el crecimiento de la planta como el resultado del crecimiento de sus células, tejidos y órganos. Cuando el crecimiento vegetativo se detiene, la planta ha alcanzado su altura máxima: podemos definir la altura de la planta como la longitud total medida desde la base de la planta de trigo hasta el extremo superior de la espiga cuando la planta termino de crecer. Se realizaron cuatro mediciones por planta durante el ciclo del cultivo, se tomó en cuenta las

mediciones del trigo cuando este llego a su crecimiento máximo (después de la etapa de espigamiento), se utilizo un flexometro de 3 metros.

### **3.11.7 Materia seca.**

El contenido de materia seca según Espinosa (1985) se define como el rendimiento biológico de la planta y es la biomasa total, generalmente de la parte aérea producido por la planta o por unidad de superficie por un tiempo dado.

Se cosechó el trigo, cortando desde la base de la planta con la ayuda de tijeras de podar, se retiraron todas las espigas y la materia seca restante se secó en la estufa a 70 °C durante 24 horas, para posteriormente ser pesada y obtener el peso de materia seca utilizando una balanza electrónica BRAINWEIGH B3000D.

### **3.11.8 Longitud radical.**

La longitud radical ha sido el parámetro comúnmente más medido, para medir esta variable, se utilizó una cinta métrica de 1m de longitud para determinar la longitud radical.

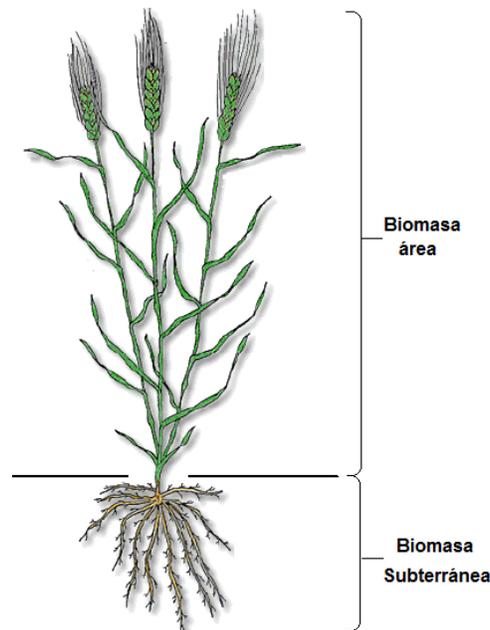
1. Se fijó la cinta métrica de 100cm en la mesa, para medir la longitud de las raíces.
2. Se procedió a medir cada una de las muestras y se registraron los datos obtenidos en el formato correspondiente.

### **3.11.9 Biomasa.**

Roberts y Longs (1993) definen la biomasa ( $W$ ) como el peso del material vegetal vivo que figura por encima y por debajo de la superficie del suelo hasta la superficie en un punto dado en el tiempo (fig. 26). La biomasa es la producción o el peso de la materia orgánica asimilada por una comunidad de especies por unidad de superficie por unidad de tiempo. Se puede expresar de dos maneras. Aunque la producción de biomasa se puede expresar en términos de peso seco o

materia orgánica, también puede ser expresada en cualquier cantidad conservada, por ejemplo: de carbono o energía.

Garcidueñas (1987) define el término de biomasa como: la suma total de la materia orgánica de las plantas por unidad de área, tanto por encima como por debajo del suelo. Se puede expresar en términos de peso verde o seco; lo más común es referirla como  $\text{g/m}^2$ .



**Fig. 26. Biomasa aérea y radical del trigo.**

### **3.11.9.1 Biomasa radical.**

De acuerdo con Roberts y Long (1993), las muestras deben ser lavadas manualmente sobre un tamiz para eliminar las partículas finas, mientras que las partículas grandes se pueden eliminar por flotación.

Las unidades experimentales (tubos de PVC) se separaron para facilitar la extracción y limpieza de las raíces. El procedimiento fue el siguiente:

1. Se utilizó un tamiz de 1m<sup>2</sup> con una malla cristal de 25 x 25 y uno de latón DUVESA del N° 60 con una abertura de 0.25mm, para recolectar las raíces pequeñas.
2. Se colocó la unidad experimental en el tamiz de 1m<sup>2</sup>, se retiraron los aros de alambre y se cortó la cinta adhesiva, se separó el tubo; para retirar el sustrato se le vertió agua de forma constante hasta tener limpia la raíz. Al obtener la raíz limpia se colocaron en los tubos de PVC para su secado en el invernadero.
3. La biomasa radical se obtuvo después de secar las raíces en la estufa a 70°C durante 24hr, las raíces se pesaron en una balanza electrónica BRAINWEIGH B3000D.

#### **3.11.10 Rendimiento de grano.**

Según Espinosa (1985) señala que los componentes del rendimiento son aquellos caracteres morfológicos (número de espigas y número de granos por espiga) y procesos fisiológicos (fotosíntesis, transpiración y acumulación de materia seca) que pueden ser identificados y que regulan la producción final del grano por planta.

Para medir esta variable se cosecharon las treinta plantas después de que el trigo llegó a su madurez fisiológica, y se empaquetaron en bolsa de papel del N° 25. Se separaron las espigas de la planta para ser trilladas, se pesó el grano de cada una de las unidades experimentales con una balanza electrónica BRAINWEIGH B3000D, reportando el peso en gr/espiga.

#### **3.12 Metodología de análisis.**

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos se hizo lo siguiente:

1. Codificación de la información en los formatos correspondientes.
2. Captura de la información en la computadora, con la ayuda del programa de computo Excel 2010.

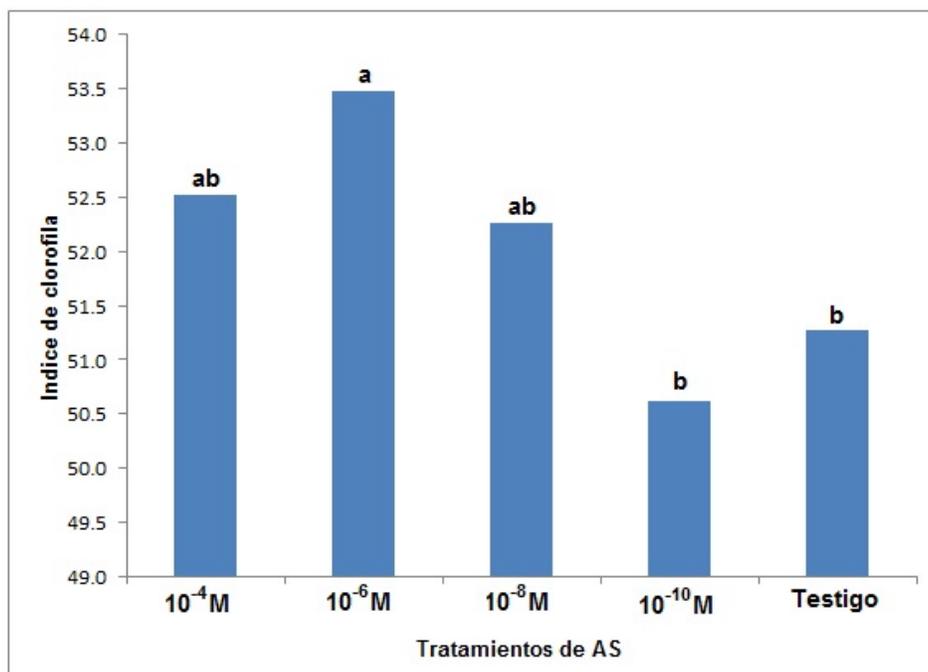
3. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistical Analysis Systems (SAS 9.0) (SAS Institute, 2004) de las variables medidas se obtuvieron:

Análisis de varianza para conocer si en los tratamientos existen diferencias significativas considerando un  $\alpha = 0.05$ . De los análisis de varianza que resultaron estadísticamente diferentes se realizó la prueba DMS (Diferencias Mínimas Significativas), para determinar el o los mejores tratamientos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 Índice de clorofila

En el índice de clorofila medido en la hoja bandera del trigo 93 DDT, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con ácido salicílico con relación al testigo (DMS,  $\alpha=0.05$ ), el tratamiento  $10^{-6}$  M de AS mostró un incremento en la variable respuesta índice de clorofila de 4.14 por ciento con respecto al testigo (fig. 27).



**Fig. 27. Efecto del AS en el Índice de Clorofila de la hoja bandera del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).**

Los compuestos fenólicos como el ácido salicílico (AS) incrementan la actividad del superóxido dismutasa, catalasa y nitrato reductasa en las hojas, incrementando con ello proteína, prolina y contenidos de clorofila. En ocasiones previene la pérdida de clorofila como lo mencionan Wang et al. (1995) trabajando con plantas de trigo asperjadas con ácido salicílico (AS) observaron que con la edad, en lugar de tener pérdida gradual de clorofila ésta permanecía por más tiempo en la planta, lo cual le confiere mayor capacidad fotosintética, por lo que en

respuesta a todo ello el crecimiento en general se vió estimulado en todas las plantas tratadas, manifestándose en la altura de planta y diámetro del tallo.

#### 4.2 Transpiración.

Medido en la hoja bandera del trigo 93 DDT, el tratamiento de  $10^{-8}$  M (fig. 28), resultó estadísticamente distinto obteniéndose un incremento de 8.75 por ciento con respecto al testigo. Los tratamientos de  $10^{-4}$  M,  $10^{-6}$  M y  $10^{-10}$  M tuvieron valores similares.

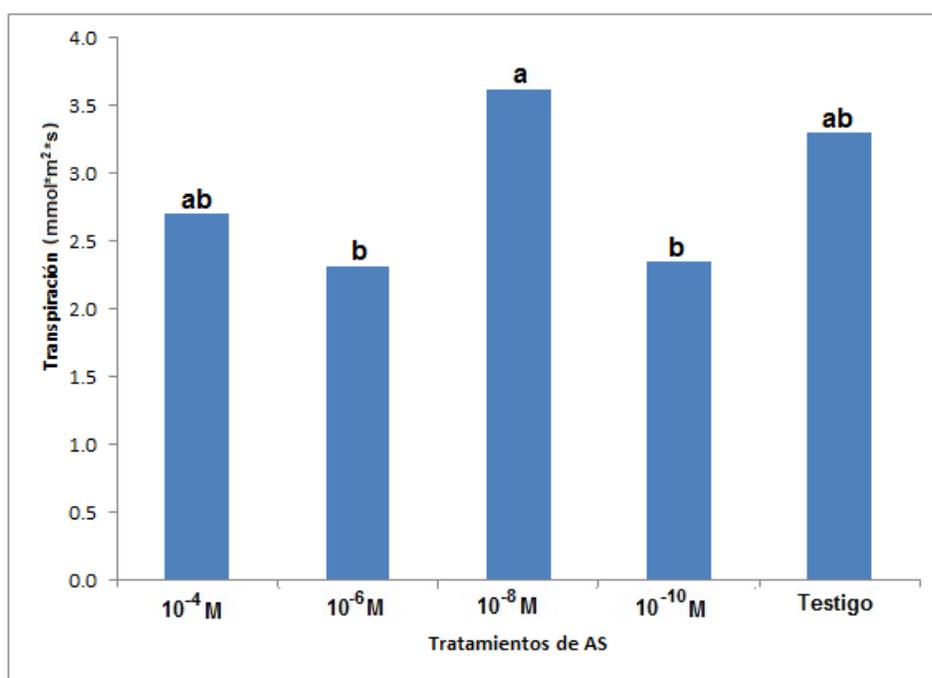


Fig. 28. Efecto del AS en la transpiración del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

Castillo et al. (2009), aplicó clorpirifos en yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), Los tratamientos fueron: Control (rociado con agua) (T0) y tres dosis de clorpirifos: (T1) 50 ppm, (T2) 100 ppm, y (T3) 150 ppm, y encontró que la transpiración tuvo un crecimiento sostenido con el T1. Benavides (1987), realizó mediciones de transpiración en árboles piñoneros *P. discolor* y encontró que la transpiración es mayor al medio día con un valor de  $1.8 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}$  y disminuye en la tarde ( $1.18 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}$ ). Colinas (1998), menciona que la transpiración es

esencial en las plantas porque ayuda a obtener una turgencia optima, reduce la temperatura de las hojas y promueve absorción y transporte de solutos.

### 4.3 Número de espigas por planta.

En el número de espigas por planta de trigo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con ácido salicílico con respecto al testigo (DMS,  $\alpha=0.05$ ), el tratamiento  $10^{-10}$  M de AS fue el que obtuvo mejores resultados en la variable respuesta número de espigas por planta. (fig. 29).

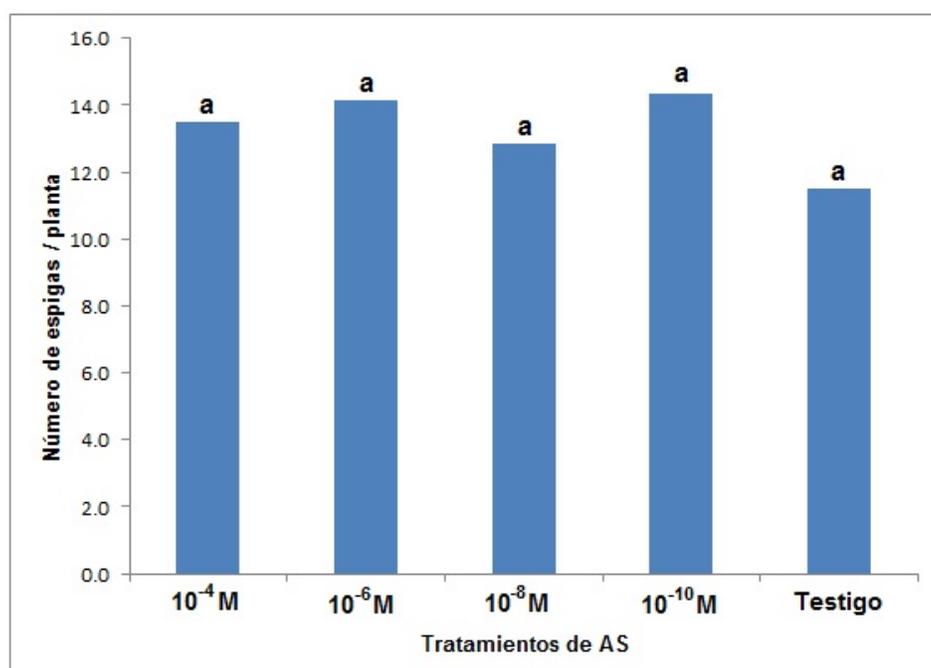


Fig. 29. Efecto del AS en el número de espigas por planta de trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

Se detectó el inicio de la emergencia de la primera espiga el día 13 de febrero de 2011 en la planta número cuatro, del tratamiento con  $10^{-10}$  M. Se volvió a supervisar todas las plantas del experimento para contabilizar el número de espigas por planta totalmente emergidas. Los resultados obtenidos por planta de trigo del experimento se reportan en el Anexo 1. De la planta número 6 (testigo, repetición 1) se retiró la espiga principal y en tres secundarias se detectó que estaban enfermas por *Ustilago tritici*, fue una infección floral, provocada por un

hongo que se incorpora a los granos en desarrollo. Las plantas que se desarrollan a partir de estas semillas producen espigas negras. Cabe mencionar que esta planta de trigo solo sobrevivió un tallo secundario (fig. 30).

Es el único hongo que se incorpora a los granos en desarrollo. Las plantas que se desarrollan a partir de estas semillas producen espigas negras.



**Fig. 30. Planta de trigo enferma (*Ustilago tritici*).**

#### **4.4 Altura de planta.**

En la altura de la planta del trigo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de ácido salicílico con respecto al testigo (DMS,  $\alpha=0.05$ ). El tratamiento  $10^{-4}$  fue el que reportó mejores resultados en relación al testigo (fig. 31).

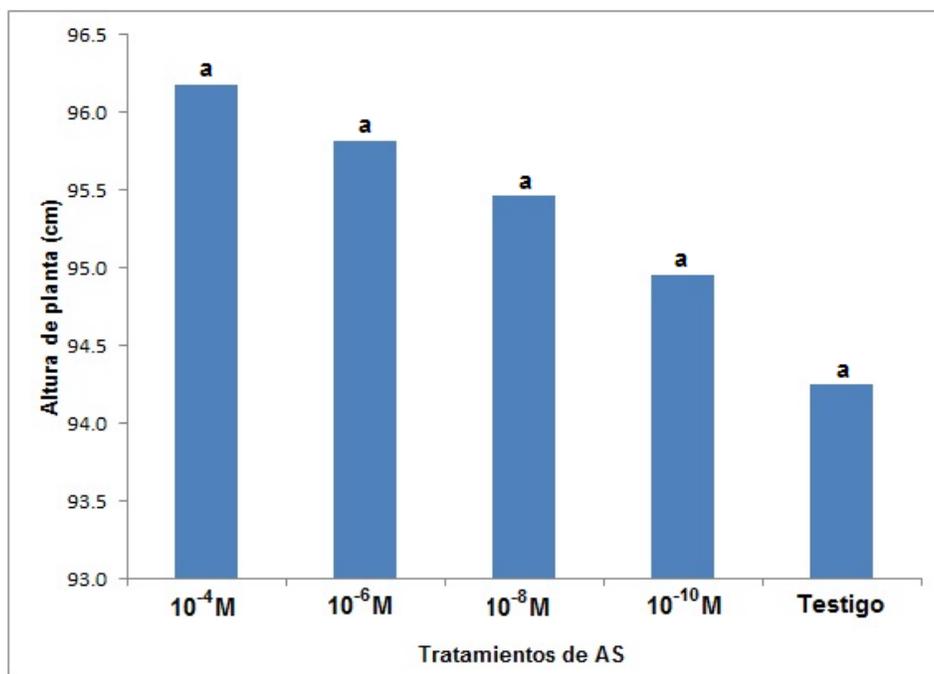


Fig. 31. Efecto del AS en la altura del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

#### 4.5 Materia seca.

En la variable respuesta peso de materia seca de las plantas de trigo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de ácido salicílico con respecto al testigo (DMS,  $\alpha=0.05$ ). El tratamiento  $10^{-4}$  y  $10^{-10}$  fueron los que reportaron los valores más altos en relación al testigo (fig. 32).

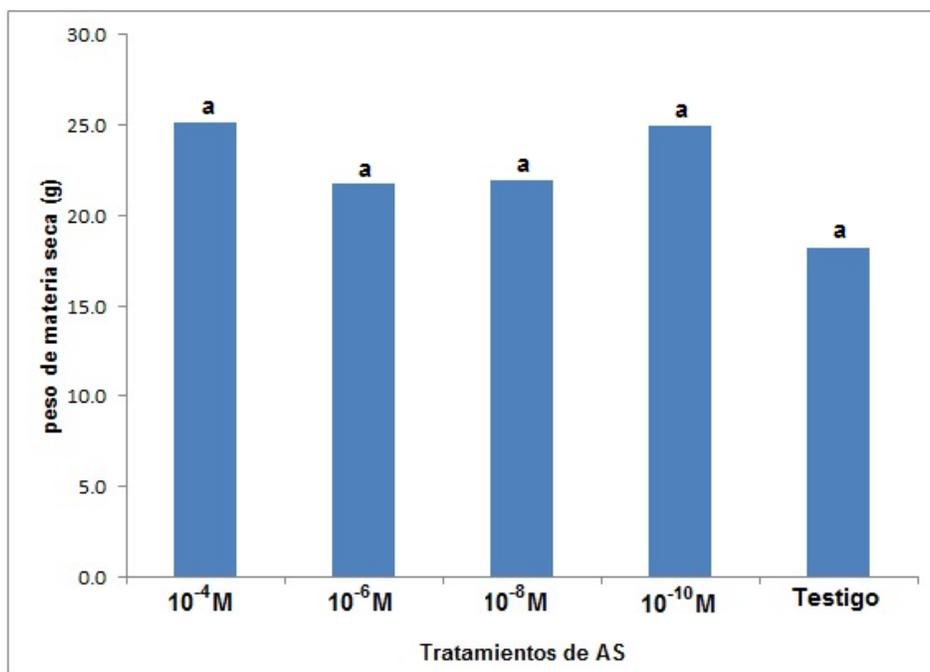


Fig. 32. Efecto del AS en el peso de materia seca del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

#### 4.6 Biomasa radical.

En la biomasa radical, las concentraciones de  $10^{-8}$  M y  $10^{-6}$  M (fig. 33), son estadísticamente diferentes en comparación con el testigo y con el resto de los tratamientos. Se obtuvo un incremento del 17.04 y 16.71% respectivamente.

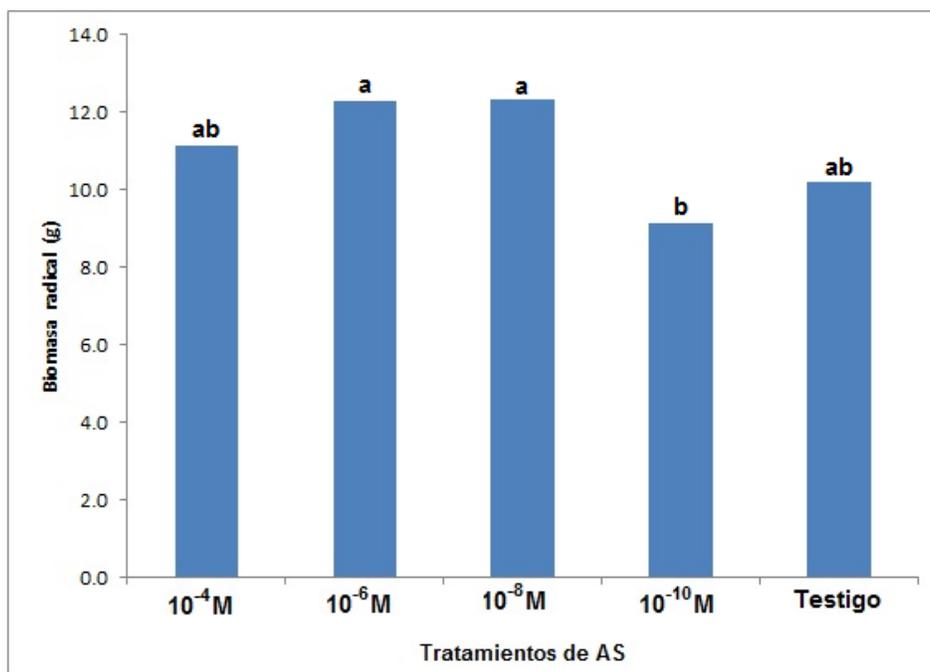


Fig. 33. Efecto del AS en la biomasa radical del trigo triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

Gutiérrez Coronado et al. (1998), encontraron que el ácido salicílico (AS) incrementa la bioproduktividad de la soya específicamente en su desarrollo radical, en un experimento realizado por Kaydan et al. (2006) también encontró que el ácido salicílico estimuló el desarrollo radical del trigo. De la misma forma San Miguel et al. (2003), encontraron que las concentraciones de  $10^{-8}$  M y  $10^{-6}$  M de ácido salicílico (AS) en *Pinus patula* incremento la biomasa de la raíz en 33 y 30% respectivamente. Villanueva (2008), asperjo tratamientos de Ácido salicílico en crisantemo (*Chrysanthemum morifolium Ramat*), y encontró que el tratamiento  $10^{-8}$  M afectó significativamente la materia seca de raíz y la concentración de  $10^{-10}$  M lo hizo para el volumen de la misma.

Estos resultados nos indican que la aplicación de ácido salicílico es capaz de incrementar el desarrollo radical de la planta con respecto a la biomasa principalmente en peso y volumen radical y área foliar. También Larque Saavedra y Rodríguez (1993), reportan estimulación en el crecimiento de las raíces con tratamientos de ácido acetilsalicílico (ASA), realizado en bioensayos en *Lepidium sativum* L., bajo condiciones controladas, donde la concentración de Ácido

Acetilsalicílico (ASA) de  $10^{-7}$  M incremento el desarrollo de las raíces. Por otro lado, Mohinder et al. (1992) reportaron que el ácido salicílico estimuló el desarrollo de raíces adventicias en varetas de madera suave del árbol de Neem de 6 años de edad.

#### 4.7 Longitud radical.

En la longitud de raíz de la planta de trigo (figura 34) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con ácido salicílico con respecto al testigo (DMS,  $\alpha=0.05$ ), a pesar de no ser demasiada la diferencia entre el testigo con el mejor tratamiento que fue  $10^{-8}$  M mostro un incremento en la variable respuesta longitud radical en un 4.72 por ciento.

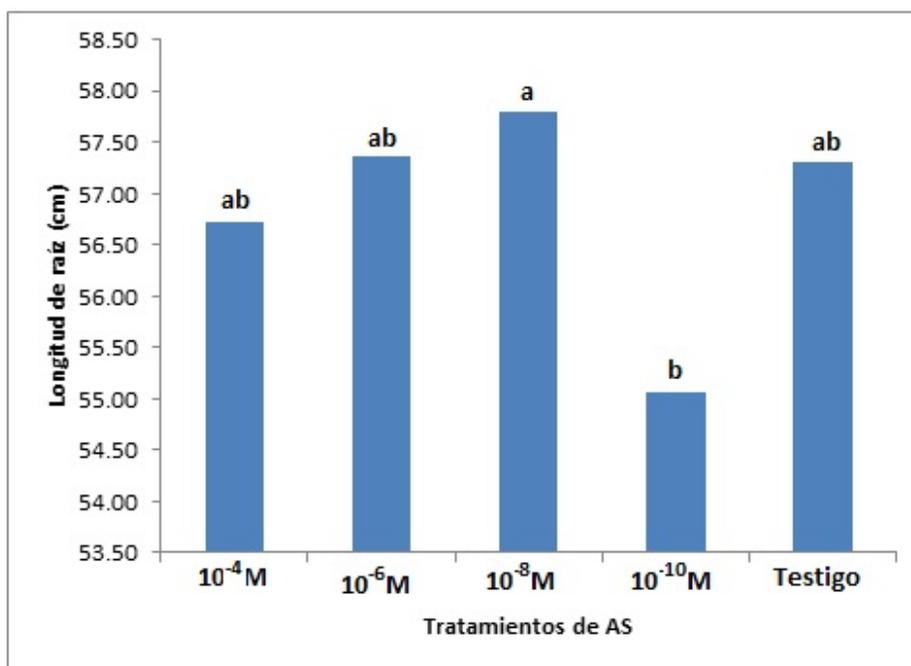


Fig. 34. Efecto del AS en la longitud radical del trigo triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

Zhao et al. (1995) reportan incrementos significativos en plantas tratadas con ácido salicílico en condiciones de campo, encontraron tasas de crecimiento diario de 0.33 cm en soya en comparación con el testigo que tuvo un valor de 0.21 cm. Gutiérrez et al. (1998) asperjaron tratamientos de ácido salicílico en soya cv.

Cajeme en campo y en invernadero, a los siete días observaron incrementos significativos del cien por ciento en el crecimiento de la planta y raíces.

Se puede atribuir también que en cuanto más baja sea la concentración de ácido salicílico se fomenta el desarrollo radical de las plantas.

#### 4.8 Rendimiento de grano.

En el rendimiento de grano del trigo expresado como peso de granos por espiga se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con ácido salicílico, siendo los tratamientos  $10^{-10}$  y  $10^{-6}$  M de AS los que mostraron incrementos en la variable respuesta rendimiento de grano en un 37.22 y 36.56 por ciento respectivamente (fig. 35).

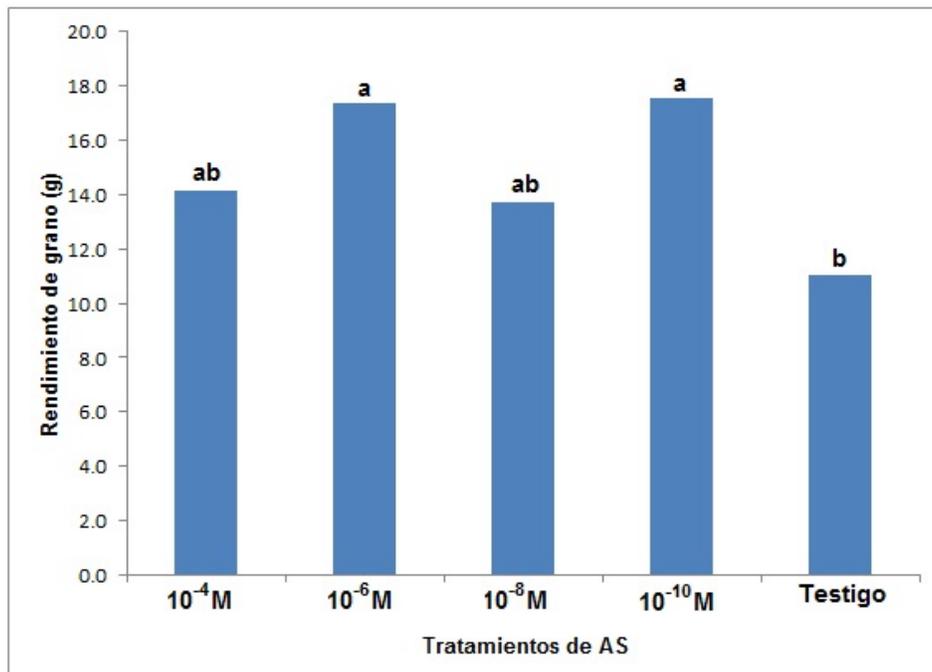


Fig. 35. Efecto del AS en el rendimiento de grano del trigo Triunfo F2004, columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS,  $\alpha=0.05$ ).

García (1982), asperjó concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA) de  $10^{-2}$  M a  $10^{-7}$  M en plantas de trigo en condiciones de invernadero y de campo donde determino curvas de dosis – respuesta y fechas de aplicación y en épocas de aplicación se tuvieron al inicio de la floración, 5, 10 y 15 días de iniciada. En

cuanto a la época más apropiada para aplicar el compuesto fue al inicio de la floración y durante los primeros días después de iniciado la misma. Determinando que las concentraciones de  $10^{-2}$  M y  $10^{-7}$  M de ASA promueven la producción de grano.

De igual forma López et al. (1998) asperjaron concentraciones de AS en plantas de trigo bajo condiciones de campo, en cuanto a número de granos por espiga encontraron que los tratamientos  $10^{-6}$  M y  $10^{-4}$  M tuvieron un incremento de 2.19 y 7.33 respectivamente por espiga en relación al testigo. En cuanto al rendimiento agronómico (kg/ha) la concentración de  $10^{-6}$  M promedió 6991.25 kg/ha, siendo estadísticamente diferente en comparación con el testigo y con el resto de los tratamientos.

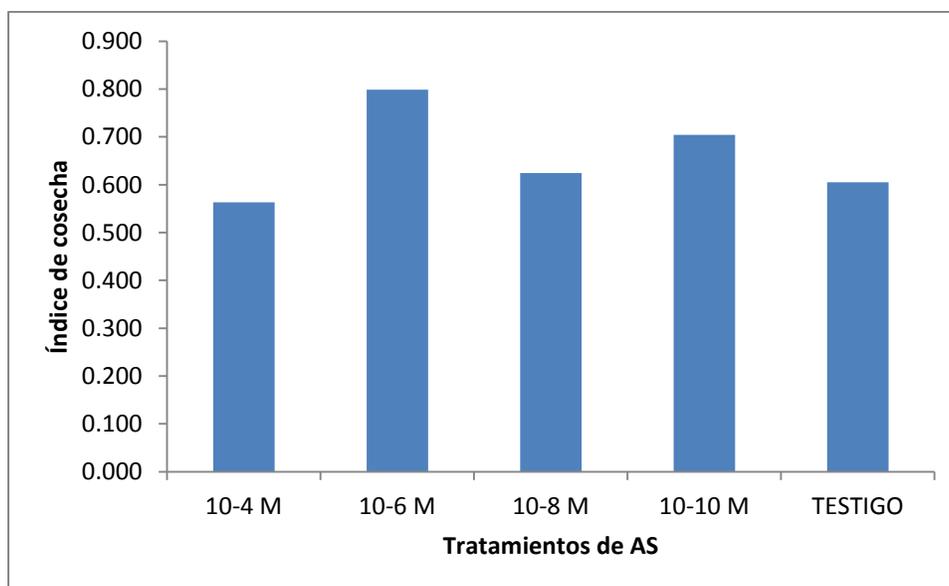
De acuerdo con García (1982) el AS resulta tóxico para los vegetales al suministrarse una concentración de  $10^{-2}$  M, de tal forma que a medida que va disminuyendo la concentración el rendimiento aumenta.

#### 4.9 Índice de cosecha.

Los resultados de la relación entre el rendimiento de grano y el rendimiento de materia seca (índice de cosecha) se presentan en el cuadro 11 y figura 36. Desde este punto de vista el tratamiento 2 fue el más eficiente que el resto de los tratamientos. Esta diferencia entre el tratamiento dos y cuatro, no sería notada si solo se considera el rendimiento de grano, ya que este fue prácticamente igual en ambos tratamientos.

**Cuadro 11. Relación entre rendimiento de grano y rendimiento de materia seca (Índice de cosecha)**

Tratamiento	Índice de cosecha
$10^{-4}$ M	0.563
$10^{-6}$ M	0.798
$10^{-8}$ M	0.624
$10^{-10}$ M	0.704
TESTIGO	0.605



**Fig. 36. Relación entre rendimiento de grano y materia seca.**

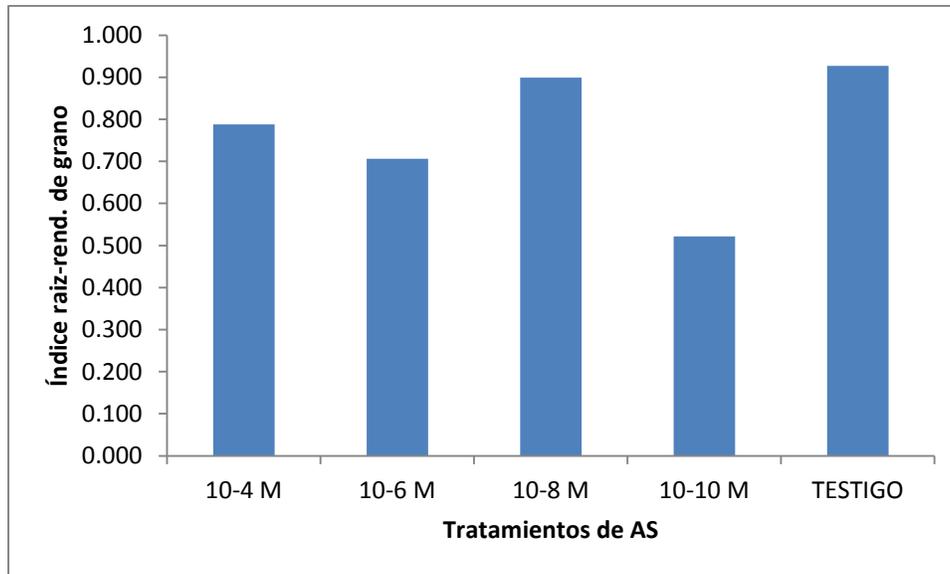
Mellado (1997) encontró que el Índice de Cosecha en trigos hermanos de diferente altura no mostró diferencias significativas entre los trigos altos y bajos, a pesar que los rendimientos de grano de los trigos enanos fueron estadísticamente inferiores al de los trigos hermanos de altura estándar. Si bien el Índice de Cosecha está definido como un factor de eficiencia productiva, de acuerdo a estos resultados no sería adecuado usar el Índice de Cosecha como criterio de selección de trigos por rendimiento de grano.

#### **4.10 Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa radical.**

Los resultados de la relación entre la biomasa radical y el rendimiento de grano se presentan en el cuadro 12 y figura 37. Desde este punto de vista el testigo fue el más eficiente que el resto de los tratamientos.

**Cuadro 12. Relación entre rendimiento de grano y la biomasa radical**

Tratamiento	Índice rend. de grano - biomasa radical
10 <sup>-4</sup> M	0.788
10 <sup>-6</sup> M	0.706
10 <sup>-8</sup> M	0.899
10 <sup>-10</sup> M	0.521
TESTIGO	0.927



**Fig. 37. Relación entre biomasa radical y rendimiento de grano**

En cuanto a los tratamientos la concentración de  $10^{-8}$  M fue mas el mas eficiente. Esta diferencia entre el testigo y el resto de los tratamientos es muy notoria si solo se considera el rendimiento de grano.

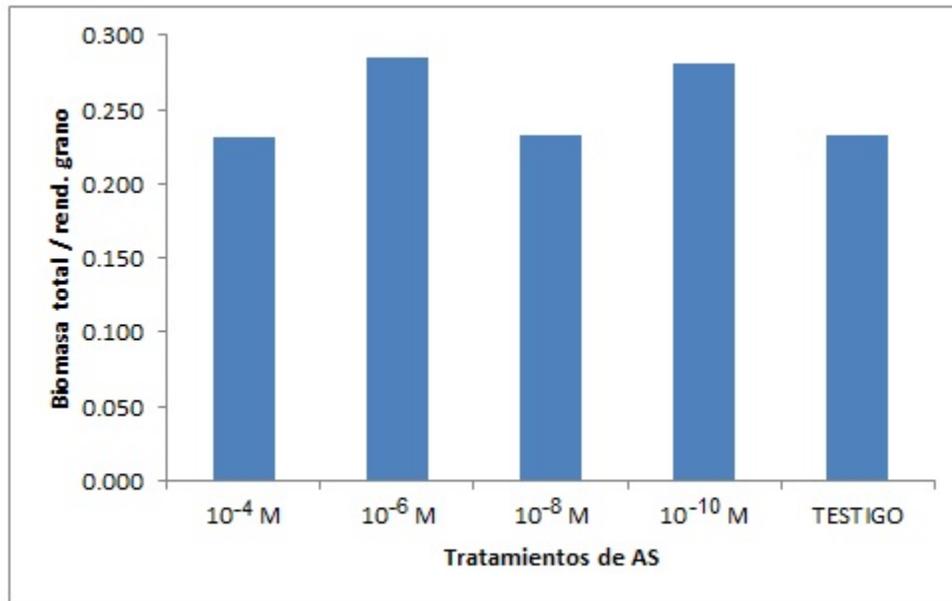
Castro et al (2000), realizo estudios con 3 tipos genotipos de sorgo (resistentes, intermedios y susceptibles) que fueron sometidos a sequia y encontró que la biomasa radical tuvo incrementos durante el periodo de estrés de 48, 40 y 124% respectivamente, por otra parte la biomasa área se redujo por efecto del estrés hídrico en un 17% tanto en los resistentes como en los susceptibles. De acuerdo con estos resultados podemos observar que en condiciones de estrés hídrico la biomasa radical se incrementa debido a que las raíces fuerzan su crecimiento en busca de humedad.

#### **4.11 Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total.**

Los resultados de la relación entre la biomasa total y el rendimiento de grano se presentan en el cuadro 13 y figura 38. Como se puede observar el tratamiento  $10^{-6}$  M fue el más eficiente que el resto de los tratamientos. Esta diferencia entre el tratamiento  $10^{-6}$  M y  $10^{-10}$  M, no sería notada si solo se considera el rendimiento de grano, ya que este fue prácticamente igual en ambos tratamientos.

**Cuadro 13. Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total**

Tratamiento	Índice biomasa total-rend. grano
$10^{-4}$ M	0.231
$10^{-6}$ M	0.284
$10^{-8}$ M	0.232
$10^{-10}$ M	0.280
TESTIGO	0.233



**Fig. 38. Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total.**

En el cuadro 14, se muestran los resultados totales por tratamiento así como el total por variable observada (biomasa aérea y biomasa radical), de acuerdo con los resultados obtenidos y tomando solo en cuenta el total por variable medida, encontramos que la biomasa radical representa el 23.4 por ciento de la biomasa total de la planta.

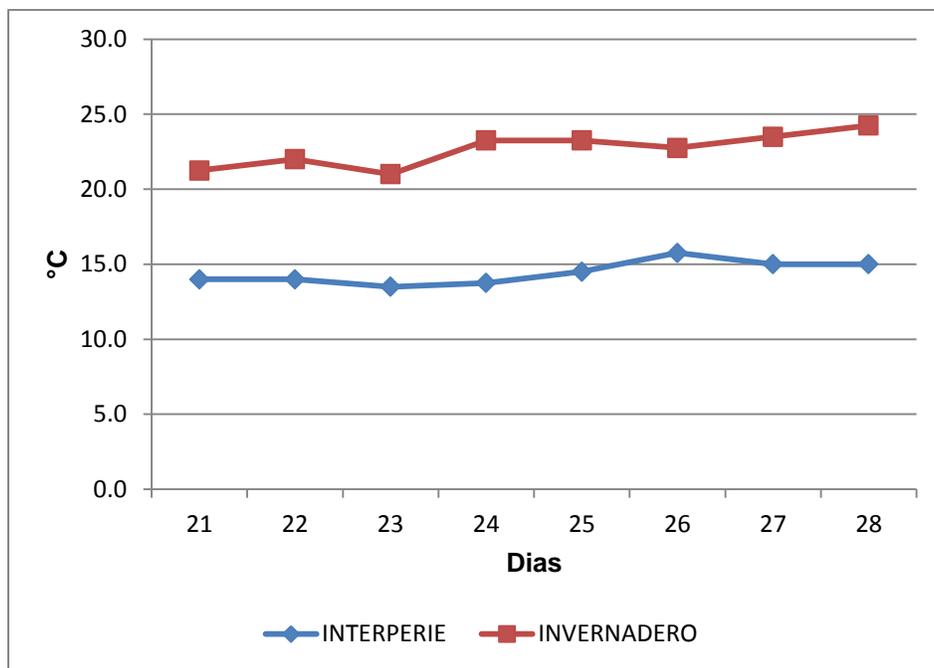
**Cuadro 14. Biomasa aérea y radical**

Tratamiento	Biomasa aérea		Biomasa radical	
	total	media	total	media
10 <sup>-4</sup> M	300.4	50.06	66.9	11.15
10 <sup>-6</sup> M	291.7	48.61	73.6	12.26
10 <sup>-8</sup> M	280.1	46.68	73.9	12.316
10 <sup>-10</sup> M	320.6	53.43	54.9	9.15
TESTIGO	222.2	37.03	61.3	10.216
<b>Total</b>	<b>1415</b>		<b>330.6</b>	

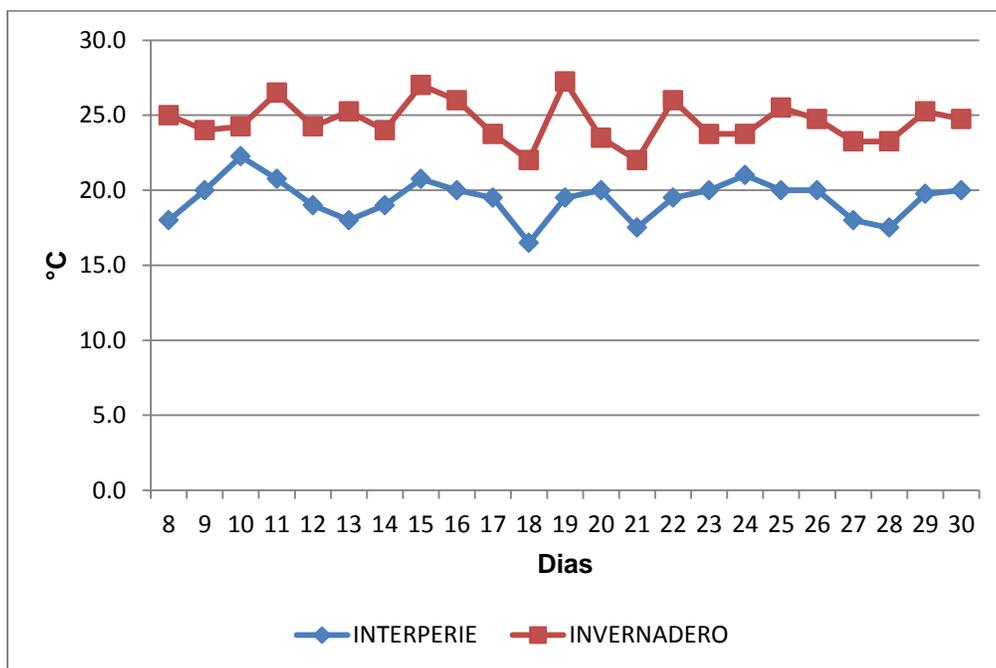
López (2011), reportó que el rendimiento de grano de trigo estaba positivamente asociado con la biomasa obteniendo una correlación de 0.74 en condiciones de riego y encontró que los genotipos que produjeron mayor cantidad de biomasa tuvieron mayor rendimiento de grano.

#### **4.12 Temperatura observada fuera y dentro del invernadero.**

Las lecturas de temperatura se empezaron a registrar a partir del 21 de febrero de 2011, se graficaron las temperaturas medias registradas dentro y fuera del invernadero en los meses de febrero y abril respectivamente. Las temperaturas del mes de marzo no se reportan. Para el mes de febrero (fig. 39), la temperatura fue similar en los últimos días del mes, en cambio dentro del invernadero la temperatura se incrementó ligeramente con el paso de los días. Para el mes de abril (fig. 40) la temperatura tuvo una evolución similar con respecto al mes de febrero, aumentando ligeramente en este último mes.



**Fig. 39.** Temperaturas medias registradas dentro y fuera del invernadero en febrero de 2011. Con datos de la Estación Meteorológica de Montecillo, Hidrociencias, Colegio de Postgraduados.



**Fig. 40.** Temperaturas medias registradas dentro y fuera del invernadero en Abril de 2011. Con datos de la Estación Meteorológica de Montecillo, Hidrociencias, Colegio de Postgraduados.

Como se observa en las figuras 39 y 40 la temperatura media oscila entre 20 y 25 °C, la temperatura medida dentro del invernadero fue la optima para el desarrollo de las plantas de trigo, estas lecturas coinciden con la temperatura óptima reportada por la FAO (2006) que es de 25°C. Fisher y Maurer (1976) postularon que las temperaturas altas incidentes poco antes de la antesis reducen la duración del periodo del periodo de crecimiento de la espiga y en ambientes controlados se ha observado mayor tasa de desarrollo de la espiga de trigo y un menor número final de espiguillas por espiga a temperaturas altas (30 °C).

En esta misma variable Solís et al (2004) estudio 8 genotipos de trigo, donde evaluó fechas de siembra y reporta una temperatura media de 15.4°C y encontró que el genotipo Camon 5 tuvo el mayor rendimiento de grano. Castañeda et al estudio siete líneas F<sub>6</sub> de trigo en condiciones de invernadero, la variación de la temperatura mínima vario entre 0 y 15 °C y la máxima entre 30 a 40 °C, la temperatura máxima promedio registrada fue de 33 °C y encontró que la temperatura afecto significativamente el cociente de área foliar (0.35 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) y área foliar específica (0.48 cm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup>) lo que se atribuye a este último hubo mayores temperaturas máxima y mínima durante su etapa inicial de crecimiento. Dale (1982) también observo que el área foliar específica de trigo en temperatura de 20 °C (0.45 cm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup>) fue mayor que en temperatura de 15 °C (0.28 cm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup>).

## 5. CONCLUSIONES.

Las plantas de trigo asperjadas con una concentración de  $10^{-6}$  M de ácido salicílico fueron estimuladas significativamente en su índice de clorofila en un 4.14 por ciento comparada con las plantas testigo.

La concentración de  $10^{-8}$  M registro un incremento significativo en la tasa de transpiración en un 8.75 por ciento con respecto al testigo.

Las plantas de trigo que fueron asperjadas con las concentraciones de  $10^{-8}$  M y  $10^{-6}$  estimularon significativamente la biomasa radical obteniéndose un incrementando 17.04 y 16.71 por ciento respectivamente comparadas con las plantas testigo.

En la biomasa radical, las concentraciones de  $10^{-8}$  M y  $10^{-6}$  M (fig. 29), son estadísticamente diferentes en comparación con el testigo y con el resto de los tratamientos. Se obtuvo un incremento del 17.04 y 16.71 por ciento respectivamente.

En cuanto a la longitud de raíces el tratamiento  $10^{-8}$  M produjo un incremento de 4.72 por ciento con respecto al testigo y los otros tratamientos aplicados.

Las plantas de trigo que fueron asperjadas con las concentraciones  $10^{-10}$  M y  $10^{-6}$  M tuvieron un incremento en su rendimiento de 37.22 y 36.56 por ciento respectivamente con respecto al testigo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- Acevedo, E. 1979. Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. Bol.Tec. Facultad de Agronomía. Univ. Chile. 44: 17-25.
- Adame Beltrán, E. 1989. Respuesta del trigo (*Triticum aestivum* L.) a diferentes niveles de agua disponible en el suelo en dos etapas de crecimiento. Tesis de Licenciatura. UANL. Monterrey N.L.
- Bailey S. P., Bailey C. A. 2000. Organic Chemistry A Brief Survey of Concepts and Applications. California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Ed. Prentice Hall, 6<sup>a</sup> Ed. 542p.
- Beyer H., Walter W. 1987. Manual de química orgánica. Versión española de la 1<sup>a</sup> edición alemana. Ed. REVERTE, S. A. 977p.
- Booner J., Galston W. A. 1981. Principios de Fisiología Vegetal. Ed. AGUILAR, Madrid. 469p: 325 – 337.
- Borlaug, N. E. 1969. Mejoramiento del trigo: Su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos. Serie de traducciones y sobretiros N° 2. CIMMYT. México.
- Castro, N. S., Ortiz, C. J., Mendoza, C. M. y Zavala, G. F. 2000. Produccion de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. Rev. Fitotecnia Mexicana 23:321 – 334.
- Dale J. E. 1982. "Some effects of temperatura and irradiance on growth of the firts four leaves of wheat, *Triticum aestivum*. Ann. Bot. 50: 851 – 858.

- Devore, G. 1979. Química Orgánica. Trad. E. Muñoz, Ed. Publicaciones Culturales, México D.F. 734p.
- Escobosa, G. L. F. 1983. Tesis, Construcción y uso de una función de respuesta del trigo en base a las variaciones de humedad del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo México. 127 p.
- Espinosa Paz, N. 1985. Rendimiento de grano y componentes del rendimiento de tres variedades de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 117 p.
- FAO. "Explicaciones sobre el desarrollo de la planta" [en línea]. 2006 [25 de Junio de 2012]. Disponible en la Web: <http://www.fao.org/DOCREP/006//X823S/s82340b.htm>
- Fischer R. A., R. Maurer. 1976. Crop temperature modification and yield potential in a dwarf spring wheat. Crop Sci. 16:855 – 859.
- Folleto técnico Núm. 34. 2009, Triunfo F2004, Nueva variedad de trigo para Siembras de Temporal en México. Inifap – CEVAMEX.
- Fuller, H. 1984. Botánica. Segunda Edición, México, Inter Americana. 512 p.
- García Escalona, T. M. A. 1982, Tesis, Reguladores de crecimiento II: Efecto de aspersiones de ácido acetil-salicílico sobre producción de grano de trigo (*Triticum aestivum* L. cv. Lerma Rojo). UAEM.
- Garcidueñas Martínez, A. R. 1987, Tesis, Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae* Lamb. Montecillos, México, Colegio de Postgraduados.

- Gray, W. M. 2004. Hormonal regulation of plant growth and development. *Plos Biology*. 2: 1270 – 1273.
- Gutiérrez Coronado, M. A., Trejo López y Larqué Saavedra, A. 1998. Effects of Salicylic Acid on the Growth of Roots and Shoots in Soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 36(8): 563-565.
- Hanson, H., Borlaug, N. E. y Anderson, G. 1982. El trigo en el tercer mundo. CIMMYT, México.
- Huerta Espino, J. y Gonzales Iñiguez, R. M. 2000. El trigo de temporal en México. Villaseñor Mir, H. E., Espitia Rangel, E. Editores. Libro Técnico N° 1. INIFAP CIR – CENTRO.
- Jacobs, W. P. 1979. *Plant Hormones and Plant Development*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. 339 p.
- Jordan, M. y Casaretto, J. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Etileno, Ácido Abscísico, Brasinoesteroides, Poliaminas, Ácido Salicílico y Ácido Jasmónico. *Fisiología Vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
- Kaydan, D., Yagmur, M. and Okut, N. 2006. Effects of Salicylic Acid on the Growth and Some Physiological Characters in Salt Stressed Wheat (*Triticum aestivum* L.) *Tarim Bilimleri Dergis.* 13(1).
- Keppler, B., Rickman, R. 1990. Modeling crop root and function. *Advances in Agronomy*. 44: 113-131.
- Larqué – Saavedra, A., Martín – Mex, R. 2006. Effects of salicylic acid in the bioproductivity of plant.

- Larqué Saavedra, A. y Rodriguez, M. T. 1993. Fisiología Vegetal Experimental. Editorial Trillas, México, D.F. 193p.
- Larqué Saavedra, A., Wilkings H. and Wain, R. L. 1975. Promotion of cress root elongation in white light by 3,5 diiodo-4-hidroxybenzoic. *Planta*, 126: 269-272.
- Lersten Nels, R. 1987. Wheat and wheat improvement. Heyne, E. G. Editor, Number 13 in the series:AGRONOMY. Madison Wisconsin, USA. 765 p.
- Lopez – Casteñeda, C. 2011. Variation in grain yield, biomass and kernel number of barley under three soil moisture conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:907 – 918.
- López Bucio, J., Acevedo Hernandez, G. Ramirez Chavez E., Molina Torres, J. y Herrera Estrella, L. 2006. Novel signals por plant development. *Curr. Opin. Plant Biol.* 9: 523 – 529.
- López Tejeda R., Camacho Rodriguez V. y Gutierrez Coronado M. A. 1998, Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. Tesis de Licenciatura, UACH, Chapingo, Estado de México.
- Marinato, M. R. 1978. Respuesta del cultivo de trigo a variaciones de la humedad en el suelo en diferentes etapas de crecimiento. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 179 p.
- Martin Mex, R., and Larqué Saavedra, A. 2001. Effect of salicylic acid in clitoria (*Clitoria ternatea* L.) bioproductivity in Yucatan, México. 28<sup>th</sup> Annual Meeting. Plant Growth Regulation Society of America. Miami Beach Florida, USA.

- Mellado, Z. M. 1997. Rendimiento de grano y paja e índice de cosecha de trigos hermanos (*Triticum aestivum* L.) de diferente altura, Agricultura Técnica, (Chile) 57 (2): 96 – 101.
- Mengel, K. Kirkby, E. 1982. Principles of Plant Nutrition. Alemania International Potash Insitute. 655 p.
- Miranda, G. 2005. Producción de raíces de trigo, papas y arvejas creciendo bajo distintos niveles de fósforo. Tesis de Licenciatura. Lic Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 129 p.
- Mohinder, P., Badola, K. C., and Bhandari, H. C. S. 1992. Estimulation of adventitious root regeneration on leafy shoot cuttings of neem (*Azadirachta indica*) by auxin and phenols. Indian Journal of Forestry. 15(1):68-70.
- Morquecho Contreras, A. y López Bucio, J. 2007. Cannabinoid – like signaling and other new development pathways in plants. Int. J. Plant Dev. Biol. 1: 34 – 41.
- Nagayo, N. 1989, Efecto de diferentes regímenes de humedad del suelo y métodos de siembra sobre el desarrollo y rendimiento del trigo Tesis de Maestria. Colegio de Postgraduados. UACH.
- Nava Rodríguez, B. O. 2009. Estimación de clorofila mediante dos métodos: Reflectancia y Procesamiento de Imágenes. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 121 p.
- Newman, E. 1966. A Method estimating the total length of root in a sample. Agriculture Jounal Research. 3: 139-135.

OEIDRUS. “El cultivo del trigo” [en línea]. 2010 [11 de Octubre de 2011]. Disponible en la Web: <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/EICultivoTrigo.pdf>

Ortiz Castro, R. y López Bucio, J. 2010. Las alcamidas: Un grupo nuevo de reguladores de crecimiento y sus aplicaciones en la biotecnología agrícola. *Claridades Agropecuarias*. 205: 30 – 42.

Pagnussat, G. C., Simontacchi, M., Pantarulo, S. y Lamattina, L. 2002. Nitric Oxide is required for root organogenesis. *Plant Physiol*. 129: 954 – 956.

Pan, W y Bolton, R. 1991. “Root quantification by edge discrimination using a desktop scanner. *Agronomy journal*. 83: 1047-1052.

Robles Sánchez, R. 1979. Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa, 2<sup>a</sup> ed. México. 592 p.

Rodríguez, J. 1993 La fertilización de los cultivos. Un método racional. Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 406 p.

Rodriguez, V. J. 1992. Importancia del trigo en la producción de alimentos en México. Primer Conferencia Nacional de Trigo. SARH – INIFAP – CIFAP – Sonora.

SAGARPA. “Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación” 2011. [11 de Octubre de 2011]. Disponible en la Web: <http://www.sagarpa.gob.mx>

Salazar Torres, J. C., Álvarez Hernández, R. “Manual de prácticas” Academia de cultivos básicos, UACH.

- San Miguel R., Gutierrez M. y Larqué Saavedra A. 2003. Salicylic acid increases the biomass accumulation of *Pinus patula*. Southern Journal of Applied Forestry 27.
- Sandoval, O. J. 1983. El régimen de humedad en el suelo y sus efecto sobre componentes del rendimiento de grano de trigo. Tesis de Maestria. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.123 p.
- SAS,2004. Statistical Analysis System Institute. SAS Proceeding Guide, Version 8.1. SAS Institute. Cary, NC. USA.
- Solís M. E., M. Hernández M., A. Borodanenko, J. L. Aguilar A y O. A. Grajeda C. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento del trigo. Rev. Fitotecnia Mexicana 4:323 – 332.
- Stratburger, E. Tratado de Botánica. Barcelona, España. Omega. 1994. 1068 p.
- Tennant. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal ecology 63: 995-1000.
- Vásquez Rojas, T. Manual Diseño de Experimentos. Especialidad de Estadística, Colegio de Postgraduados, 1ª Ed., 2009. 159p.
- Villanueva Couoh, E. 2008. Nutrición con N, P, K, Ácido Salicilico y Dimetilsulfóxido en la producción de *Chrysantemun morifolium Ramat*. Con sustratos regionales en Yucatán. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. 75p.
- Villaseñor Mir, H. E. y Espitia Rangel, E. 1994. La producción de trigo y la investigación en México. El agua y la energía en la cadena alimentaria: Granos Básicos. Primera Edición. Instituto de investigaciones económicas, UNAM. 431 P.

Villaseñor Mir, H. E. y Espitia Rangel, E. 2000. El trigo de temporal en México. Libro Técnico N° 1, INIFAP CIR – CENTRO.

Walch Liu, P., Liu, L., Remans, T. Tester, M. y Forde, B. G. 2006. Evidence that L – Glutamato can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. Plant Cell Physiol. 47: 1045 – 1057.

Wang, X. Y., Peng, W. B., Cui, J. M., Zhao, H. J. 1995. The effect of organic acids, boron and zinc on the metabolism of active oxygen during grain filling and grain weight of wheat. Scientia Agricultura Sinica. 28: 69-74.

Zhao, H. J., Lin W., Shi H. Z. and Chang, S. M. 1995. The regulations effects of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of soybeans. Acta Agronomica Sinica. 21: 351-355.

## 7. ANEXOS.

### ANEXO 1. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL EXPERIMENTO.

N° de Planta	Rep	Trat	N° de Espigas			
			12/02/2011	17/02/2011	21/02/2011	04/03/2011
1	1	2	1	1	4	14
2	1	3	1	1	4	15
3	1	1	1	2	4	17
4	1	4	3	4	5	15
5	2	2	1	1	4	14
6	1	T	1	*	1	12
7	3	2	1	2	5	17
8	4	2	1	1	4	11
9	2	4	1	1	5	18
10	2	1	1	1	4	11
11	2	3	1	1	5	16
12	3	1	1	1	4	15
13	2	T	1	1	4	13
14	3	4	0	1	3	12
15	3	T	1	1	4	9
16	3	3	1	1	4	16
17	4	T	1	1	4	10
18	4	4	1	1	4	13
19	4	1	2	2	4	12
20	4	3	1	1	4	12
21	5	1	1	1	4	13
22	5	T	1	1	4	10
23	5	3	1	1	4	11
24	5	2	1	3	4	13
25	6	T	0	1	4	15
26	5	4	1	2	6	14
27	6	2	1	1	4	16
28	6	3	0	1	3	7
29	6	1	1	1	2	13
30	6	4	0	1	4	14

\*Se retiró el tallo principal por enfermedad (*Ustilago tritici*).

**Número de espigas por planta (4 de Marzo de 2011).**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	17.0	11.0	15.0	12.0	13.0	13.0
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	14.0	14.0	17.0	11.0	13.0	16.0
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	15.0	16.0	16.0	12.0	11.0	7.0
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	15.0	18.0	12.0	13.0	14.0	14.0
<b>Testigo</b>	12.0	13.0	9.0	10.0	10.0	15.0

**Índice de clorofila.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	51.5	50.9	54.3	52.8	53.7	51.9
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	51.5	52.8	55.4	55.2	54.0	52.0
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	51.9	51.3	49.0	52.9	54.3	54.2
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	51.6	51.3	49.3	51.5	52.0	48.0
<b>Testigo</b>	50.0	51.7	49.8	53.6	51.8	50.7

Trat: N° de tratamiento, T: Testigo, R: repeticiones.

**Altura de planta (cm).**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	94.6	94.8	97.5	95.2	95.5	99.5
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	98.2	93.5	91.5	97.7	96.5	97.5
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	98.5	96.2	97.5	97.4	93.5	89.7
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	96.0	100.5	95.7	89.5	96.8	91.2
<b>Testigo</b>	96.2	95.0	95.8	96.4	91.8	90.3

Trat: N° de tratamiento, T: Testigo, R: repeticiones.

**Materia seca (g).**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	28.7	22	26.4	20.4	14.1	39.1
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	18.8	23.4	26.9	19.5	16.2	25.7
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	25.2	30.8	30.6	18.7	13.8	12.6
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	24.4	32.1	19.9	28.9	24	20.2
<b>Testigo</b>	7.6	20.2	15.7	20.8	18.4	26.6

Trat: N° de tratamiento, T: Testigo, R: repeticiones.

**Biomasa radical (g).**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	14.1	11.7	10.4	9.4	9.9	11.4
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	7.2	11.2	14.5	14.8	10.6	15.3
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	10.1	18.3	15.3	10.2	9.6	10.4
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	10.1	11.3	6.4	9.4	8.2	9.5
<b>Testigo</b>	8.0	11.3	9.2	9.2	13.1	10.4

Trat: N° de tratamiento, T: Testigo, R: repeticiones.

**Longitud de raíz (cm).**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	57.6	57.2	56.4	57.2	56.4	55.5
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	59.6	57.4	57.5	58.6	57.2	53.9
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	56.5	61.4	58.3	61.6	55.3	53.7
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	55.8	56.3	52.6	52.0	56.2	57.5
<b>Testigo</b>	54.1	57.7	55.4	57.8	57.5	61.3

Trat: N° de tratamiento, T: Testigo, R: repeticiones.

**Rendimiento del grano (g).**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<b>10<sup>-4</sup> M</b>	21.7	14.8	12.2	14.8	10.1	11.3
<b>10<sup>-6</sup> M</b>	17.4	18.1	21.6	16.1	16.4	14.6
<b>10<sup>-8</sup> M</b>	23.9	16.8	10.2	14.7	9.3	7.3
<b>10<sup>-10</sup> M</b>	25.2	25.7	11.6	11.5	17.2	14.1
<b>Testigo</b>	3.4	11.8	12.8	11	14.3	12.8

Trat: N° de tratamiento, T: Testigo, R: repeticiones.

**ANEXO 2. ANALISIS DE VARIANZA Y COMPARACION DE MEDIAS DE LOS  
PARAMETROS EVALUADOS.**

<b>Tabla de ANAVA, Número de Espigas por Planta</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>M</b>	4	31.8667	7.9667	1.28	0.3056
<b>E</b>	25	156.0000	6.2400		
<b>CR</b>	29	187.8667			

**Comparación de medias.**

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

<b>Prueba de t (DMS)</b>			
<b>Trat</b>	<b>R</b>	<b>Media</b>	<b>t</b>
10 <sup>-10</sup> M	6	14.333	a
10 <sup>-6</sup> M	6	14.167	a
10 <sup>-4</sup> M	6	13.500	a
10 <sup>-8</sup> M	6	12.833	a
Testigo	6	11.500	a

**Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.**

Tabla de ANAVA, Índice de Verdor					
FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
M	4	29.9113	7.4778	2.88	0.0433
E	25	64.8917	2.5957		
CR	29	94.8030			

### Comparación de medias.

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

Prueba de t (DMS)					
Trat	R	Media	t		
10 <sup>-6</sup> M	6	53.4833	A		
10 <sup>-4</sup> M	6	52.5167		a	b
10 <sup>-8</sup> M	6	52.2667		a	b
Testigo	6	51.2667			b
10 <sup>-10</sup> M	6	50.5167			b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Tabla de ANAVA, Altura de Planta					
FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
M	4	13.7667	3.4417	0.39	0.8161
E	25	222.5000	8.9000		
CR	29	236.2667			

### Comparación de medias.

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

Prueba de t (DMS)			
Trat	R	Media	t
10 <sup>-4</sup> M	6	96.183	a
10 <sup>-6</sup> M	6	95.817	a
10 <sup>-8</sup> M	6	95.467	a
10 <sup>-10</sup> M	6	94.950	a
Testigo	6	94.250	a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Tabla de ANAVA, Materia Seca					
FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
M	4	191.0320	47.7580	1.09	0.3836
E	25	1096.8350	43.8734		
CR	29	1287.8670			

### Comparación de medias.

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

Prueba de t (DMS)			
Trat	R	Media	t
10 <sup>-4</sup> M	6	25.117	a
10 <sup>-10</sup> M	6	24.917	a
10 <sup>-8</sup> M	6	21.950	a
10 <sup>-6</sup> M	6	21.750	a
Testigo	6	18.217	a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Tabla de ANAVA, Biomasa Radical					
FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
M	4	44.3680	11.0920	1.73	0.1739
E	25	159.8400	6.3936		
CR	29	204.2080			

### Comparación de medias.

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

Prueba de t (DMS)					
Trat	R	Media	t		
10 <sup>-8</sup> M	6	12.317	A		
10 <sup>-6</sup> M	6	12.267	A		
10 <sup>-4</sup> M	6	11.150		a	b
Testigo	6	10.217		a	b
10 <sup>-10</sup> M	6	9.150			b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Tabla de ANAVA, Longitud Radical					
FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
M	4	27.4200	6.8550	1.33	0.2867
E	25	128.9550	5.1582		
CR	29	156.3750			

### Comparación de medias.

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

Prueba de t (DMS)					
Trat	R	Media	t		
10 <sup>-8</sup> M	6	57.800	A		
10 <sup>-6</sup> M	6	57.367		a	b
Testigo	6	57.300		a	b
10 <sup>-4</sup> M	6	56.717		a	b
10 <sup>-10</sup> M	6	55.067			b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Tabla de ANAVA, Rendimiento de Grano					
FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
M	4	180.5220	45.1305	1.92	0.1379
E	25	586.7917	23.4717		
CR	29	767.3137			

### Comparación de medias.

Análisis de las diferencias entre categorías con un intervalo de confianza de 95%.

Prueba de t (DMS)			
Trat	R	Media	t
10 <sup>-10</sup> M	6	17.550	A
10 <sup>-6</sup> M	6	17.367	A
10 <sup>-4</sup> M	6	14.150	a b
10 <sup>-8</sup> M	6	13.700	a b
Testigo	6	11.017	b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

### ANEXO 3.

Escala fenológica del trigo, siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).

Etapa principal	Descripción	Sub-fase	Etapa principal	Descripción	Sub-fase
0	Germinación	0.0 – 0.9	5	Emergencia de la inflorescencia	5.0 – 5.9
1	Crecimiento de la planta	1.0 – 1.9	6	Antesis	6.0 – 6.9
2	Macollaje	2.0 – 2.9	7	Grano lechoso	7.0 – 7.9
3	Elongación del tallo	3.0 – 3.9	8	Grano pastoso	8.0 – 8.9
4	Preemergencia floral	4.0 – 4.9	9	Madurez	9.0 – 9.9

Fuente: FAO.

## ANEXO 4. REPORTE FOTOGRAFICO DEL EXPERIMENTO.

### 1. Preparación de las Unidades experimentales.



**Fig. 4.1.** Tubo de pvc seccionado.



**Fig. 4.2.** Tubo de pvc unido con cinta adhesiva.



**Fig. 4.3.** Unidades experimentales listas para el experimento.

## 2. Germinación de las semillas de trigo TRIUNFO F2004.

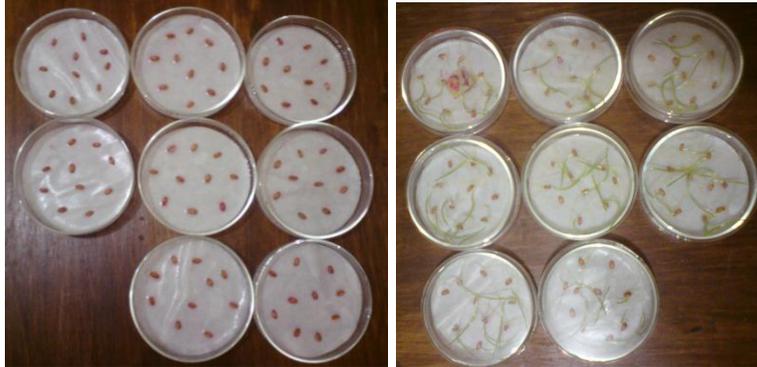


Fig. 4.4. Cajas de petri y semillas puestas a germinar.

## 3. Transplante.



Fig. 4.5. Germinados de trigo listos para ser trasplantados.



Fig. 4.6. Germinados de trigo transplantados.

## 4. Preparación de las soluciones de AS y aplicación a las plantas.



Fig. 4.7. Pesado del AS para preparar la

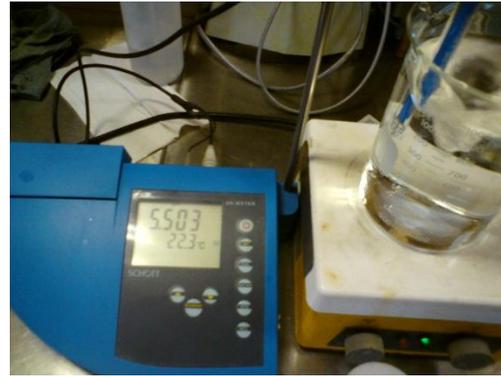


Fig. 4.8. Aforo a 1 litro de agua.

solución base de  $10^{-4}$  M.



**Fig. 4.9.** Aplicación de Hidróxido de Potasio (KOH) para ajustar el pH.



**Fig. 4.10.** pH de la solución ajustado a 5.5.

## 5. Desarrollo de las plantas de trigo.



**Fig. 4.13.** Planta de trigo en plena etapa de macolla



**Fig. 4.14.** Planta de trigo en plena etapa de encañado.



**Fig. 4.15.** Espiga asomando a través de la vaina de la hoja bandera (desembuchado de la espiga).



**Fig. 4.16.** Espiga iniciando la floración.



**Fig. 4.17.** Espiga con grano lechoso.



**Fig. 4.18.** Espiga con grano pastoso.



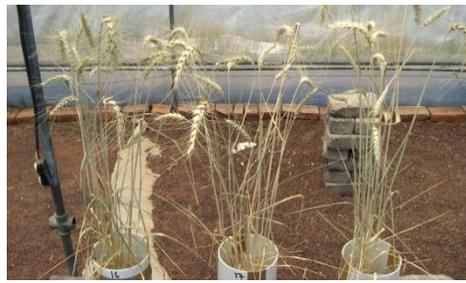
**Fig. 4.19.** Plantas de trigo.



**Fig. 4.20.** Plantas de trigo con grano pastoso.



**Fig. 4.21.** Espiga con grano maduro.



**Fig. 4.22.** Plantas de trigo con grano maduro.

## 6. Cosecha.



**Fig. 4.23.** Plantas de trigo listas para ser cosechadas.



**Fig. 4.24.** Cosecha de las plantas de trigo.



**Fig. 4.25.** Plantas de trigo cosechadas.

## 7. Medición de Transpiración e Índice de Clorofila.



**Fig. 4.26.** Medición de Transpiración con el Porometro LI – COOR 1600.



**Fig. 4.27.** Medición del índice de clorofila con el SPAD 502 – MINOLTA.

## 8. Extracción de raíces.



**Fig. 4.28.** Separación de las secciones de la unidad experimental



**Fig. 4.29.** Muestra lista para iniciar la separación de la raíz.



**Fig. 4.26.** Proceso de lavado de la raíz.



**Fig. 4.27.** Raíz libre de arena y materia orgánica.

## 5 Pesado y Medición de la longitud radical de las raíces.



**Fig. 4.28.** Pesado de raíces.



**Fig. 4.29.** Pesado de raíces.



**Fig. 4.30.** Medición de la longitud radical.



**Fig. 4.31.** Detalle longitud radical.