



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

### **EFFECTO DEL ÁCIDO INDOL-3-BUTIRÍCO EN LA PRODUCCIÓN DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

#### **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERA AGRÍCOLA**

**P R E S E N T A**

**Ma. DE LOS ÁNGELES BERNAL ALARCÓN**

**ASESOR DE TESIS: DR. AURELIO BÁEZ PÉREZ**

**CO-ASESOR: DR. SALVINO EDVINO VEGA ROJAS**

**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO**

**2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

El ácido indol-3-butírico (AIB) es una fitohormona que las plantas producen naturalmente en menor proporción que el ácido indol acético (AIA). Este tipo de auxina actualmente se sintetiza artificialmente y como regulador de crecimiento es ampliamente usada para enraizar una gran diversidad de cultivos que se propagan de manera asexual. El AIB es un promotor de raíces laterales, su efectividad biológica en cultivos como el trigo y otros cereales muestra un efecto positivo en el rendimiento y la calidad de grano. La dosis de aplicación del regulador de crecimiento y su época de aplicación son críticas para el desarrollo del cultivo. Se estableció un ensayo para evaluar la efectividad biológica del AIB (pastilla soluble RADIX 35+% con 3 g de ingrediente activo, producido por la compañía Intercontinental Import Export S.A de C.V) sobre la producción comercial de trigo y la calidad harinera del grano. Se evaluaron los siguientes tratamientos: testigo, sin aplicación de AIB (T1); aplicación, de manera foliar, de 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB a los 28 días después de la emergencia de las plantas (DDE) (T2); aplicación de 9 g ha<sup>-1</sup> AIB a los 55 días DDE (T3); aplicación de 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB a los 28 DDE y a los 55 DDE (T4). Todos los tratamientos tuvieron una dosis de fertilización de N-P-K de 250-80-50. Se establecieron tres bloques con seis repeticiones por bloque, es decir, 18 repeticiones por tratamiento. El experimento se estableció en una superficie de 1.5 hectáreas. Se hizo una evaluación de materia seca a la floración, y contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en la hoja bandera. Se evaluaron los componentes de rendimiento y la calidad harinera del grano. La concentración de N, P y K en la hoja bandera, al inicio de la floración, tuvo una acumulación de N de 2.84 % y fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) en todos los tratamientos donde se aplicó el AIB. El tratamiento testigo (T1) presentó la menor concentración de este elemento. El contenido de P y K en las hojas fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) en todos los tratamientos. Los resultados mostraron que el AIB tuvo un efecto significativo en el rendimiento de trigo en los tratamientos con aplicación de AIB, que tuvieron una producción de alrededor de 5 t ha<sup>-1</sup>, y fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) respecto al tratamiento testigo, sin aplicación de la hormona, donde se estimó una producción de 4.5 t ha<sup>-1</sup>. La

aplicación del AIB tuvo efecto en la calidad física de grano en el tratamiento T3, con aplicación de la fitohormona a los 55 DDE, en el peso hectolítrico, parámetro que según la Norma Oficial Mexicana, mostró una alta calidad. De manera general la calidad de grano de trigo de los tratamientos fue ubicada en el Grupo 3, propio para panificación manual o artesanal, excelente para elaboración de galletas, tortillas, buñuelos y como corrector de trigos con gluten muy fuerte. De manera cualitativa, el tratamiento T3 mostró la mejor calidad de grano.

## ABSTRACT

Indole-3-butyric acid (IBA) is a phytohormone that plants produce less than indole acetic acid (IAA). This type of auxin is currently artificially synthesized and it is widely used for rooting a great variety of crops that are propagated asexually. IBA is a promoter of lateral roots, its biological effectiveness in other crops such as: wheat and other cereals, has shown a positive effect on the yield and grain quality. The application rates of that plant growth regulator and its time of application are critical for crop development. A trial was established to evaluate the biological effectiveness of AIB (RADIX soluble tablet 35 +% 3 g of active ingredient, produced by the company *Intercontinental Import Export S.A. de C.V.*) on the commercial production of wheat and flour grain quality. We evaluated the following treatments: control without application of IBA (T1); foliar application of 9 g ha<sup>-1</sup> of AIB at 28 days after plant emergence (DAE) (T2); foliar application of 9 g ha<sup>-1</sup> of AIB at 55 days after plant emergence (DAE) (T3). The experiment was established in an area of 1.5 ha. Dry matter at flowering and nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) contents in the flag leaf were evaluated. At harvesting, yield components and flour grain quality were evaluated. The results showed that N contents at flowering in the flag leaf was 2.84 %, and it was statistically similar ( $p \leq 0.05$ ) in treatments with IBA (T2, T3). The control (T1) had the lowest N content. P and K contents in the flag leaf were similar ( $p \leq 0.05$ ) in all treatments. Besides, the results showed the IBA had a positive effect on wheat yield in treatments T2 and T3, which had an average yield of 5 t ha<sup>-1</sup>, and were significantly different ( $p \leq 0.05$ ) compared to the control (T1) with a yield of 4.5 t ha<sup>-1</sup>. In treatment T3 physical grain quality was improved. According to Official Mexican Standards hectolitre weight was classified as high quality. In general grain quality was classified within the group 3, which is suitable for manual or craft bakery, excellent for making biscuits, tortillas, *buñuelos*, and as a corrector of wheat varieties with hard gluten. Qualitatively, treatment T3 showed the best grain quality.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa Intercontinental Import Export S.A. de C.V., por el financiamiento otorgado para la presente investigación.

Al Campo Experimental Bajío (INIFAP-CEBAJ), por las facilidades otorgadas para el establecimiento del ensayo experimental

Al Ing. Raúl Canales Canales, por su valiosa amistad y apoyo otorgado para realizar la presente investigación.

Al Sr. Alfredo Sánchez Porta, por su invaluable ayuda en el establecimiento y seguimiento del experimento y por su gran amistad.

Al Dr. Aurelio Báez Pérez, por la dirección y asesoramiento en el desarrollo de la presente investigación, así como, su invaluable amistad y calidad humana.

Al Dr. Edvino Salvino Vega Rojas, por su apoyo incondicional y acertadas observaciones al presente trabajo.

A los miembros del jurado: Dra. Gloria María Solares Díaz, M.C. Margarita Tadeo Robledo, Dra. Ma. Elena Quintana Sierra y M.I. Martha Elena Domínguez Hernández, por sus valiosas aportaciones que enriquecieron el presente trabajo.

## DEDICATORIA

A mis hijos: Xanath y Román... Mis amores eternos y luces en mi camino  
A Jaime Ramírez Rivas... Amor de mi vida

A la memoria de mi padre Sr. Melquiades Bernal Ramírez... Carácter  
A la memoria de mi hermano Sr. Víctor Bernal Franco... Bondad infinita

A mi madre Sra. Ma. Lourdes Alarcón Franco... Amor siempre  
A mis hermanos: Nabor, Aurora, Eugenia, Germán, Luisa y Edmundo... Mis  
cómplices y hermanos del alma

A Lilia Ramírez Rivas y Familia Telerín... Solidaridad

A mis amigos Los Trajeados Treceavos: Araceli, Lucia, Rosa, Ángel,  
Gilberto, Alejandro, Fidencio, Sebastián, Gerardo, Héctor, Gustavo, Emilio,  
Juan, Adrian... Compañeros de aventuras y enseñanzas.



## INDICE

Resumen	i
Abstract	iii
Agradecimientos	iv
Dedicatorias	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes del cultivo del trigo en México	3
2.2. La producción de trigo en el Bajío	3
2.3. Variedades y tipos de trigo	4
2.4. Variedades de trigo más utilizadas en el Bajío	5
2.5. Etapas de crecimiento del trigo y la Escala Zadoks	7
2.6. Importancia de la raíz	10
2.7. Crecimiento de la raíz	11
2.8. Regulación hormonal	11
2.9. Auxinas	
2.9.1. Función en la formación de las raíces	12
2.9.2. Estimulación del enraizamiento	13
2.9.3. Biosíntesis y sitios de acción	13
2.9.4. Fisiología	14
2.9.5. Ácido indol-3-butírico	15
2.10. Parámetro de calidad del grano	16
2.10.1. Peso hectolítrico (PHL)	17
2.10.2. Dureza del grano	18
2.10.3. Sedimentación	19
2.10.4. Contenido de proteína en grano y harina	19
2.10.5. Volumen de pan	20
2.10.6. Tipo de gluten	21
2.10.7. Características de fuerza del gluten (Alveógrafo de Chopin)	22

2.10.8. Características de amasado (Farinógrafo de Brabender)	24
2.10.9. Extensógrafo de Brabender	25
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS	
3.1. Objetivos	26
3.2. Hipótesis	26
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1. Localización del experimento	27
4.2. Material vegetal	27
4.3. Diseño experimental	29
4.4. Manejo agronómico	30
4.5. Evaluación edafoclimática	32
4.5.1. Temperatura y precipitación	32
4.5.2. Muestreo del suelo	32
4.6. Evaluación agronómica	32
4.6.1. Materia seca a la floración	35
4.6.2. Componentes de rendimiento	36
4.7. Evaluación del contenido de N-P-K en planta	38
4.8. Evaluación de calidad de grano	39
4.9. Análisis estadístico	41
V. RESULTADOS	
5.1. Temperatura y precipitación	42
5.2. Características físico-químicas del suelo	43
5.3. Evaluación de materia seca a la floración	43
5.4. Evaluación de componentes de rendimiento	44
5.4. Evaluación del contenido de N-P-K en planta	47
5.5. Evaluación de calidad de grano	48
VI. DISCUSION	51
VII. CONCLUSIONES	60
VIII. BIBLIOGRAFÍA	61

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Descripción de características generales de los trigos en México	5
Cuadro 2	Escala Zadoks	8
Cuadro 3	Clasificación del grano de trigo respecto a su dureza	19
Cuadro 4	Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su fuerza	23
Cuadro 5	Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su índice de equilibrio	23
Cuadro 6	Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su fuerza e índice de equilibrio	24
Cuadro 7	Tres tratamientos con adición de AIB y el tratamiento testigo (sin AIB) a establecer para evaluar su efecto biológico en la producción de grano de trigo. Ciclo O/I 2009-2010 en el INIFAP-CEBAJ.	29
Cuadro 8	Cuadros medios y significancia estadística en la evaluación de variables de materia seca a la floración en tratamientos con AIB en el cultivo del trigo variedad Cortazar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ	44
Cuadro 9	Cuadros medios y significancia estadística de variables evaluadas en tratamientos con AIB en el cultivo de trigo. Variedad Cortazar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ	45
Cuadro 10	Concentración de N, P y K en la hoja bandera del cultivo de trigo, variedad Cortázar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.	48
Cuadro 11	Cuadros medios y significancia estadística de parámetros de calidad de grano en tratamientos con AIB en el cultivo de trigo, variedad Cortazar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.	49

Resumen

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Croquis de localización del INIFAP-CEBAJ	28
Figura 2	Temperatura y precipitación diaria en ciclo O/I 2009-2010 en el INIFAP-CEBAJ	42
Figura 3	Estimación de rendimiento de grano de trigo variedad Cortazar por tres métodos distintos. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ	46

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Foto 1	Establecimiento del ensayo	31
Foto 2	Ensayo establecido	31
Foto 3	Preparación de la solución de AIB	31
Foto 4	Aplicación de AIB combinado con el herbicida	32
Foto 5	Estado fenológico de la planta en madurez fisiológica	37
Foto 6	Cosecha mecanizada de los tratamientos mediante maquinaria combinada	37
Foto 7	Proceso de cosecha, beneficio y transporte del grano de trigo variedad Cortazar	38
Foto 8	Prueba de panificación	40
Foto 9	Prueba de calidad para producción de galleta	40

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las plantas está regulado por dos factores endógenos fundamentales: (1) por la nutrición vegetal, mediante una adecuada disponibilidad de nutrimentos esenciales en la solución del suelo o en medios hidropónicos y; (2) fisiológicamente por la producción natural de fitohormonas, que estimulan o paralizan el desarrollo de las raíces y la parte aérea de las plantas (Salisbury y Ross, 1994). Entre las fitohormonas más importantes se encuentran las auxinas que intervienen en la elongación celular (Woodward y Bartel, 2005). Se sintetizan en las regiones meristemáticas del ápice de los tallos y se desplazan desde allí hacia otras zonas de la planta, principalmente hacia la base, estableciéndose así un gradiente de concentración (Weaver, 1976). El tipo de auxina más abundante en la naturaleza es el ácido indol-3-acético (AIA), ya que el ácido indol-3-butírico (AIB) se encuentra en menores cantidades en las plantas (Schneider *et al.*, 1985). Entre las hormonas sintéticas más exitosas se encuentra el AIB, un regulador del crecimiento que promueve y acelera la formación de raíces adventicias en las plantas, muy utilizado para la propagación de esquejes o estacas y acodos. Este tipo de fitohormona ha mostrado un efecto positivo en el desarrollo de las plantas, por lo que puede emplearse para estimular la formación de raíces laterales e influir directamente en la nutrición en los cultivos. El AIB fue utilizado inicialmente como un promotor del crecimiento de raíces para la propagación asexual de plantas ornamentales y frutales. Sin embargo, en la actualidad algunos estudios (Intercontinental Import Export, 2010) han mostrado que el AIB proporciona beneficios directos en el crecimiento de las plantas que se siembran por semilla: promueve la absorción de nutrientes, acelera el crecimiento, favorece la formación de la raíz y optimiza las funciones metabólicas. Pruebas efectuadas en aplicaciones a nivel foliar y de fertirrigación han mostrado buenos resultados en el desarrollo y la respuesta agronómica de cultivos hortícolas como el jitomate (Enríquez del Valle *et al.*, 2001), y también en granos básicos. En el cultivo de trigo, en un ensayo preliminar que se llevó a cabo en invernadero, el AIB ha

respondido favorablemente en el desarrollo de la raíz y tallo, en la absorción de N, P y K, y en la producción de grano (RADIX, 2010).

El cultivo de trigo en el estado de Guanajuato ocupa el tercer lugar a nivel nacional, con alrededor de 47,775 hectáreas sembradas (SIAP, 2012). Su rendimiento promedio en condiciones de riego es de aproximadamente 6 t ha<sup>-1</sup>. El estado de Guanajuato contribuye con el 16 - 28 % anual de la producción nacional. A nivel estatal, la variedad de trigo Cortazar ocupa el segundo lugar en superficie cultivada (22 %), sólo después de la variedad Bárcenas, la cual ocupa el 29 %.

El propósito del presente estudio fue evaluar la efectividad biológica del AIB en la producción comercial y calidad de grano de trigo en el estado de Guanajuato.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes del cultivo de trigo en México

El trigo, cultivo originario del Oriente medio, fue introducido a México por los españoles durante la conquista (Villaseñor-Mir y Espitía, 2000). Para 1525 este cereal se cosechaba en abundancia en los Valles de México y Puebla, desde donde se dispersó posteriormente al Centro y Norte del país por los Jesuitas y Franciscanos. A partir de 1926, con la construcción de grandes presas en el Norte-Centro, Noroeste y Noreste del país, la siembra de riego adquirió relevancia en los estados de Sonora, Sinaloa, Baja California Norte y Baja California Sur, convirtiendo al Noroeste en la región triguera más importante del país (Rodríguez, 1992).

### 2.2. La producción de trigo en el Bajío

El Bajío es la segunda región productora de trigo más importante del país y contribuye con el 28.3 % de la producción nacional (SIAP, 2012). Se siembran entre 90 y 95 % de trigos harineros, y el resto de trigos cristalinos (Solís *et al.*, 2009). El trigo es un cultivo que se siembra en la región Bajío durante el ciclo otoño-invierno, con un rendimiento potencial por encima de las 9 t ha<sup>-1</sup>. La mayor disponibilidad de variedades de trigo en el mercado corresponde a tipos de gluten suave, que fueron generadas por el INIFAP en el Campo Experimental Bajío como: Salamanca S75, Cortazar S94 y Bárcenas S2002 (Báez-Pérez *et al.*, 2012).

El cultivo de trigo en el estado de Guanajuato ocupa un lugar preponderante en el país. Durante los últimos 12 años (2000 a 2011) se han sembrado anualmente en el estado entre 50, 000 y 141, 000 hectáreas. La producción anual cosechada, durante este tiempo, se ha estimado entre 250,000 y 800,000 toneladas de grano, y el estado de Guanajuato ha aportado entre el 7.5 y 23.3 % a la producción total anual nacional. Su rendimiento promedio anual en condiciones de riego es de



6.4 t ha<sup>-1</sup>. El estado de Guanajuato contribuyó en 2012 con el 16.4 % de la producción nacional. A nivel estatal, la variedad de trigo Cortázar S94 ocupa el segundo lugar en superficie cultivada con 22 %, sólo después de la variedad Bárcenas S2002, la cual ocupa el 29 % (SIAP, 2012).

### **2.3. Variedades y tipos de trigo**

Los trigos se clasifican de acuerdo a las características de su gluten: harineros y cristalinos. Los primeros a su vez pueden ser de gluten suave o fuerte. El uso industrial de las diversas variedades de trigo depende del contenido y calidad de proteínas del gluten, las cuales proporcionan las propiedades de viscosidad y elasticidad en las masas elaboradas a partir de las harinas (Salazar, 2000). Las harinas de trigo para la elaboración de galletas provienen de variedades de gluten débil, las cuales tienen un alto potencial de rendimiento en campo; sin embargo, tienen menor contenido de proteína respecto a las variedades de trigos que se utilizan para la panificación y la elaboración de macarrones. Estas últimas producen semolina, son trigos con un alto contenido de proteína. Contienen un pigmento amarillento, característica deseable para la elaboración de pastas, macarrones y espaguetis. Los trigos panaderos son de gluten fuerte con un contenido de proteína mayor que los suaves (Solís *et al.*, 2011).

En el Cuadro 1 se presentan las características generales de los tipos de trigo sembrados más comúnmente en México, las principales variedades y el uso industrial de cada tipo.

**Cuadro 1. Descripción de características generales de los trigos en México**

Tipo	Características	Variedades	Usos
Suave	Trigo de alto rendimiento con bajo contenido proteico, endospermo suave, gluten débil, se importa en un 22%	Cortazar S94, Salamanca S75, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007.	Pastelería, galletas dulces y saladas, panes sin levadura y mezcla de harinas.
Fuerte	Tipo panadero con alto contenido proteico, de endospermo duro y alta absorción de agua, se importa en un 78%.	Monarca F2007, Nana F2007 y Norteña F2007.	Panes de caja, panes de hamburguesa, masas para pizza y mezclas de harina.
Cristalino	El más duro de todos los trigos, alto contenido proteico, endospermo ambarino, México es excedentario en su producción por lo que no se importa.	Aconchi C89, Gema C2004, Topacio C2007 y Juparé C2001	Pasta para sopa, Spaguetti y couscous.

Fuente: Solís, 2011

#### 2.4. Variedades de trigo más utilizadas en el Bajío

**Cortazar S94.** Esta variedad tiene hábito de crecimiento de primavera, es semienana, de 90 cm de altura; su ciclo vegetativo es intermedio, con 78 días a floración y 133 días a madurez fisiológica. Al sembrarse en fechas tempranas (15 de nov. – 1° de dic.), estos caracteres registran ciclos vegetativos más largos; si se siembra en fechas intermedias (16 de dic. – 15 de ene.), puede registrar ciclos vegetativos más cortos y portes más bajos. La condición de humedad, fertilización y densidad, también pueden afectar estas variables. Las hojas de la variedad son de color verde oscuro, con tallo hueco de color crema y fuerte, por lo que es moderadamente resistente al acame. Las espigas son de color blanco, oblongas, laxas, con barbas y tienen una longitud de 11 a 14 cm, producen de 19 a 22 espiguillas. Generalmente producen tres granos en las espiguillas de la base de la espiga, cuatro en la parte media y tres en el ápice. El grano es de color rojo pálido, de forma ovoide, bordes redondeados y es de endospermo suave. La variedad de trigo Cortázar por su dureza está clasificada como blanda. Es de endospermo suave, con valores de dureza entre 61 y 65 %, por lo que su harina es útil para la fabricación de galletas. Tiene un peso volumétrico que varía de 73 a 79 kg hl<sup>-1</sup>, y rendimiento de harina de 64.6 a 72.8 %, por lo que su aptitud molinera es excelente; su valor de fuerza de gluten es W 127 x 10<sup>-4</sup> Joules, el cual la clasifica

como una variedad de gluten débil, el porcentaje de proteína en la harina varía de 9.2 a 10.6 % (Solís *et al.*, 1996).

**Monarca F2007.** Es de hábito de crecimiento de primavera, semienana de 90 a 110 cm de altura, su ciclo biológico es de intermedio a tardío, su tallo es hueco, de color crema y moderadamente resistente al acame (Huerta Espino *et al.*, 2011). En el Bajío esta variedad es resistente a roya del tallo, de la hoja y al desgrane, y es susceptible a roya lineal amarilla (en 2010 alcanzó 60 % de severidad en el INIFAP-CEBAJ). Esta variedad se caracteriza por su grano de color rojo. La harina de esta variedad es adecuada para la elaboración de pan en la industria mecanizada y como mejoradora de harinas de trigo de gluten suave balanceado a extensible (Báez *et al.*, 2012).

**Maya S2007.** Variedad de hábito de primavera, semienana, de 83 a 95 cm de altura; su ciclo biológico es precoz, con 66 a 82 días a floración y 110 a 137 días a madurez fisiológica. Es resistente al desgrane, a la roya del tallo y a la roya de la hoja. Su rendimiento es superior en 3 % al de Bárcenas S2002. El grano es de color rojo por su alto contenido del pigmento (Solís *et al.*, 2008).

**Salamanca S75.** Variedad de madurez intermedia, con 69 a 85 días a floración y 112 a 138 días a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 73 a 94 cm; el grano es de color rojo, forma ovoide y bordes redondeados. Esta variedad es resistente al desgrane, a la roya del tallo; es susceptible a la roya de la hoja y a la roya lineal amarilla. El rendimiento de harina varía de bueno a excelente, y por ser de gluten suave se utiliza en la elaboración de galletas o como mejorador de trigos fuertes (Solís y Ramírez, 2010).

**Norteña F2007.** Variedad de madurez tardía, con 79 a 94 días a floración y 124 a 149 a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 85 a 97 cm; el grano es de color blanco, forma ovoide y bordes redondeados. Esta variedad es resistente al desgrane, a la roya del tallo, es moderadamente resistente a la roya

de la hoja y a la roya lineal amarilla (Villaseñor-Mir *et al.*, 2012). El rendimiento de harina varía de bueno a excelente, y por ser de gluten fuerte se utiliza en la elaboración de pan de caja o como mejorador de trigos débiles (Báez *et al.*, 2012).

**Bárceñas S2002.** Es una variedad de madurez intermedia, con 68 a 82 días a floración y 137 a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta entre 83 y 95 cm. El grano es color blanco, de endospermo suave, forma ovoide y bordes redondeados. Una característica distintiva de la variedad es su pericarpio blanco (ausencia de pigmentos entre el endospermo y el pericarpio), a diferencia de las variedades Salamanca S75 y Cortazar S94 que son de pericarpio rojo. Este carácter es aprovechado industrialmente para producir harinas refinadas (blancas) para la elaboración de pasteles y cereales para desayuno, donde el color del salvado es importante (Solís *et al.*, 2003)

**Urbina S2007.** Variedad de madurez intermedia, con 68 a 85 días a floración y 113 a 137 días a madurez fisiológica. Es semienana, con altura de planta de 89 a 99 cm., el tallo es fuerte, de color crema y moderadamente resistente al acame. El grano es de endospermo suave, de color blanco, de forma ovoide y bordes redondeados. En el Bajío esta variedad es resistente a roya del tallo, a roya lineal amarilla, a roya de la hoja y al desgrane. La harina de Urbina S2007 es adecuada para su utilización en la elaboración de galletas (Solís *et al.*, 2007).

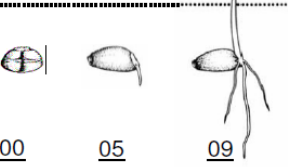
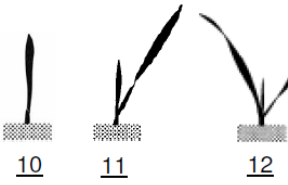
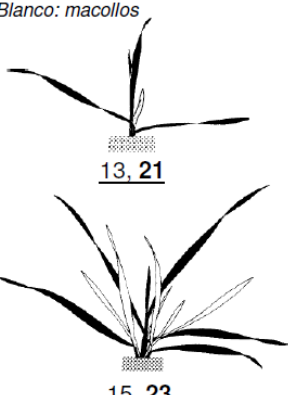
## **2.5. Etapas de crecimiento del trigo y escala Zadoks**

El uso de escalas que describen en forma precisa la etapa fenológica en la cual se encuentra un cultivo en un momento determinado, facilitan la comunicación y permiten ajustar recomendaciones de prácticas de manejo agronómico. Las escalas describen la morfología externa de la planta apreciable a simple vista, y se puede inferir el comportamiento fisiológico del individuo a nivel interno.

La escala de Zadoks *et al.* (1974) permite, por medio de una apreciación de la morfología exterior del cultivo, tener idea del estado de desarrollo que se sucede.

En un cultivar no todas las plantas llegan a una etapa fenológica al mismo tiempo. Por lo tanto, se acepta que un estado fenológico se alcanza cuando el 50 % de las plantas llegan a esa etapa. Esta escala está basada en 10 estados principales, cada uno de los cuales a su vez pueden dividirse en 10 estados secundarios, si se requiere más detalle (Cuadro 2). Para describir un lote deben realizarse muestreos de varias plantas en un transepto, siendo el estado del lote aquel que se repite con mayor frecuencia en los muestreos.

**Cuadro 2. Escala Zadoks**

<p><b>Siembra-Germinación</b></p>  <p>00      05      09</p>	<p>La semilla requiere alcanzar como mínimo entre 35 y 45% de humedad para germinar (extrusión de la radícula). La germinación puede ocurrir entre los 4 y 37 °C, pero la óptima se encuentra entre los 12 y 25 °C. La elongación del coleoptile (regulada por la luz) permite ajustar pequeñas diferencias en profundidad de siembra.</p>	<p><b>0. Germinación</b>            00 Semilla seca            01 Inicio de absorción de agua            ..            05 Extrusión de la radícula (germinación)            ..            09 Hoja en punta del coleoptile</p>
<p><b>Emergencia-premacollaje</b></p>  <p>10      11      12</p> <p><i>Negro: vástago principal</i></p>	<p>Comienza la aparición de hojas en el cultivo, sin observarse aun aparición de macollos. Esta etapa dura aproximadamente hasta la aparición de la cuarta hoja en el vástago principal. Con el establecimiento de las plántulas queda fijado en número de plantas/m<sup>2</sup></p>	<p><b>1. Crecimiento de plántula</b>  <i>(nº hojas expandidas)</i>            10 Primera hoja a través del coleotile            11 Primera hoja expandida            12 Dos hojas expandidas</p> <p><i>Solo se observan las hojas del vástago principal. Un hoja esta expandida al observarse la lígula en la base de la lamina</i></p>
<p><b>Macollaje</b>  <i>Blanco: macollos</i></p>  <p>13, 21</p> <p>15, 23</p>	<p>Siguen apareciendo hojas desde un "falso tallo" (formado por la vainas de las hojas inferiores) y comienza la aparición de macollos. Generalmente el primer macollo aparece en forma conjunta con la cuarta hoja. El período de macollaje se extiende por un tiempo variable, dependiendo de la disponibilidad de recursos para crecimiento (ej. densidad de siembra, fertilización, agua). A partir del primer macollo, los siguientes aparecen cada vez que aparece una hoja (si no existen restricciones de crecimiento) El final de macollaje suele coincidir con el inicio del crecimiento o elongación del tallo (encañazon) que restringe la disponibilidad de recursos para los macollos.</p>	<p><b>1. Crecimiento de plántula</b>            ..            13 Tres hojas expandidas            ..            19 Nueve o mas hojas expandidas</p> <p><b>2. Macollaje</b> <i>(nº macollos)</i>            ..            21 Primer macollo            ..            29 Nueve o mas macollos</p> <p><i>Se pueden usar dos o mas estados a la vez, o solo utilizar el estado mas avanzado (en este caso el Estado 2 de macollaje)</i></p>

**Encañazon**

16, 24, 30

Comienza con la aparente elongación del "falso tallo" (dado por la longitud creciente de las vainas de las hojas) que coincide con el estado de espiga a 1cm (el tallo desde la inserción de las hojas inferiores hasta el ápice de crecimiento tiene 1 cm o más) Prosigue con el crecimiento y elongación de los entrenudos verdaderos, por dentro de las vainas de las hojas.

**3 Elongación de Tallo**

30 Falso tallo erecto/Espiga 1cm  
 31 Primer nudo detectable  
 32 Segundo nudo detectable  
 33 Tercer nudo detectable  
 34 Cuarto nudo detectable  
 35 Quinto nudo detectable  
 36 Sexto nudo detectable  
 37 Punta de hoja bandera visible  
 ..  
 39 Hoja bandera expandida

Durante esta etapa se establece la tasa de crecimiento máxima del cultivo y en función de ella se determina el número de macollos que sobreviven y dan una espiga en espigazón. Durante la ultima fase de esta etapa se inicia el crecimiento de las espigas, comenzando un período crítico para la determinación del rendimiento (aprox. 20 días previo a antesis)

30 Espiga 1 cm

31 Primer nudo

32 Segundo nudo

18, 23, 32

39 Hoja bandera

**Estado de bota**

24, 34, 45 2 macollos fértiles y 2 infértiles

Durante esta etapa siguen creciendo los últimos entrenudos y el ascenso de la espiga (que también está creciendo activamente) por dentro de la vaina de la hoja bandera produce el ensanchamiento de la misma, determinando el estado de bota o vaina engrosada. Este estado coincide con la ultima etapa de diferenciación de los granos de polen, siendo muy sensible a estrés hídrico y altas temperaturas. También a partir de este estado, el cultivo comienza a ser muy sensible a heladas, por lo que los estadios siguientes del mismo deberán ocurrir dentro del periodo libre de heladas.

**4 Estado de bota**

..  
 41 Vaina de la hoja bandera comenzando a ensancharse  
 ..  
 45 Vainas notablemente ensanchadas  
 ..  
 47 Vaina de la hoja bandera abriéndose  
 ..  
 49 Primeras aristas visibles por encima de la vaina

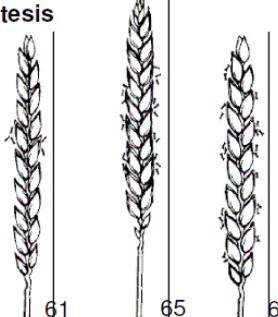
**Espigazón**






51 55 59

Se elonga el último entrenudo o pedúnculo que sostiene a la espiga, produciendo su emergencia. En este momento queda establecido el número de espigas/m<sup>2</sup>

**5 Emergencia de espiga**

..  
 51 Primeras espiguillas visibles  
 ..  
 53 ¼ espiga emergida  
 ..  
 55 ½ espiga emergida  
 ..  
 57 ¾ espiga emergida  
 ..  
 59 Emergencia completa

<p><b>Antesis</b></p> 	<p>Finaliza el crecimiento de las espigas y se define el número de flores fértiles/m<sup>2</sup> Ocurre la fecundación (con la espiguilla cerrada) y posteriormente aparecen las anteras por fuera de las espiguillas.</p>	<p><b>6 Antesis</b> .. 61 Comienzo de antesis .. 65 50% antesis .. 69 Antesis completa</p>
---	--	--

<p><b>Llenado de grano</b></p>  <p><u>71</u> 3mm largo líquido claro al apretar Grano verde</p>  <p><u>73</u> líquido acuoso blanco al apretar Grano verde</p>  <p><u>77</u> Contenido húmedo y pegajoso al apretar Grano verde</p>	<p>Durante la primera semana posterior a la fecundación ocurre el <i>cuaje</i>: activa división celular con poco crecimiento del grano. Al finalizar el mismo queda establecido el número de granos/m<sup>2</sup>, finalizando el período más crítico para la generación del rendimiento (aprox. 10 días luego de la antesis). Posteriormente comienza el crecimiento del grano con la deposición de almidón y proteínas hasta alcanzar un estado de humedad cercano a 35-40%, donde finaliza el crecimiento del mismo (madurez fisiológica) definiéndose el peso de los granos.</p>	<p><b>7 Desarrollo lechoso del grano</b> 71 Grano acuoso .. 73 Grano lechoso temprano .. 77 Grano lechoso tardío</p> <p><b>8 Desarrollo pastoso del grano</b> 85 Grano pastoso suave .. 87 Grano pastoso duro</p>  <p><u>85</u> Contenido firme. El grano revienta difícilmente al apretar. La impresión de la uña al apretar desaparece rápidamente. Grano verde claro</p>  <p><u>87</u> Contenido firme. El grano no revienta al apretar. La impresión de la uña al apretar permanece. Cercano a madurez fisiológica. Grano sin color verde (rojo o blanco según variedad)</p>
---	--	--

Fuente: Zadoks *et al.*, 1974

## 2.6. Importancia de la raíz

La raíz es el órgano especializado de las plantas encargado del anclaje y la absorción de agua y nutrientes. Su capacidad funcional depende directamente de su desarrollo, ramificación y penetración. Estas características morfológicas constituyen las variables más importantes que permiten a la planta tolerar un poco el estrés hídrico. El mayor o menor grado de desarrollo de la raíz afecta la tasa de absorción de agua por la planta, lo cual, a su vez, afecta importantes procesos bioquímicos (Devlin, 1980; Fernández y Johnston, 1986).

## **2.7. Crecimiento de la raíz**

El crecimiento de la raíz consiste en los siguientes procesos:

- Incremento del diámetro de raíces grandes permanentes, para proporcionar soporte (Salisbury y Ross, 1996).
- Formación, extensión y ramificación de pequeñas raíces laterales o raicillas. Esto último es muy importante, ya que incluye los ápices de las raíces, conocidas como raíces nuevas, raíces blancas, o absorbentes. La región absorbente incluye los pelos radicales, que son extensiones laterales de la epidermis de la pared celular exterior que aumentan considerablemente la superficie de absorción. El largo de las raíces nuevas puede variar de una fracción a uno o varios centímetros y comúnmente tienen un diámetro de 0,3 a 2 mm (Sanfuentes, 1995).

## **2.8. Regulación hormonal**

Se sabe que el crecimiento de las plantas no sólo está determinado por la absorción de sustancias minerales a través de las raíces y por los hidratos de carbono sintetizados en las hojas, sino también por sustancias químicas que actúan como agentes específicos y correlacionan el crecimiento entre las diversas partes de la planta. Estos agentes son las hormonas vegetales o fitohormonas. Una hormona es una sustancia orgánica que se produce dentro de la planta y que en bajas concentraciones promueve, inhibe o modifica cualitativamente el crecimiento. Una característica común de las hormonas es su capacidad para inducir o reprimir algún proceso de crecimiento en la planta o actuar en forma localizada en un sitio que no es el de su síntesis (Rodríguez *et al.*, 2006; Rojas y Rovalomerino, 1979).



## **2.9. Auxinas**

El término auxina proviene del griego *auxien* que significa “crecer”; son sustancias naturales, pertenecientes al grupo de las hormonas vegetales que se producen en las partes de las plantas en fase de crecimiento activo y regulan muchos aspectos del desarrollo vegetal. Favorecen el crecimiento del tallo, las hojas y las raíces, y el desarrollo de ramas laterales y frutos, además estimulan la elongación o alargamiento de ciertas células e inhiben el crecimiento de otras, en función de la cantidad de auxina en el tejido vegetal. La auxina más estudiada y más abundante en la planta es el AIA. Muchos compuestos químicos, más o menos relacionados con la estructura de esta fitohormona, pueden substituir para provocar respuestas similares de crecimiento (Davies, 1995).

### **2.9.1. Función en la formación de las raíces**

Las auxinas son una clase de fitohormonas que están involucradas en muchos aspectos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Davies, 1995). Se debe distinguir claramente el efecto de las auxinas sobre la formación de las raíces y el alargamiento radicular. En general, la concentración requerida de este regulador de crecimiento para el primero de estos procesos es mucho mayor que para el segundo (Woodward y Bartel, 2005). Un efecto importante de la auxina, que también implica división celular, es el de provocar iniciación de raíces laterales y adventicias en la raíz y en el brote (Campanella *et al.*, 2004). Este efecto tiende a correlacionar el grado de ramificación con el grado de crecimiento de los brotes. Debido al transporte polar basipétalo, la auxina tiende a acumularse en el tallo o en el sistema radical, lo cual estimula la iniciación de raíces adventicias, promueve la generación de nuevas raíces y aumenta la probabilidad de supervivencia de la parte aérea de una planta después que ha sufrido una lesión abajo o a nivel del suelo (Devlin, 1980; Moya, 2003).

### 2.9.2. Estimulación del enraizamiento

Uno de los mejores estimuladores del enraizamiento es el AIB, tiene una actividad auxínica débil y los sistemas de enzimas destructores de auxinas reducen su concentración en forma relativamente lenta. Un producto químico persistente resulta muy eficaz como estimulante de formación de raíces. Debido a que el AIB se desplaza muy poco, se retiene cerca del sitio de aplicación. Los reguladores del crecimiento que se desplazan con facilidad pueden causar efectos indeseables de crecimiento en la planta (Devlin, 1980).

### 2.9.3. Biosíntesis y sitios de acción

El AIA se puede formar a partir de sustancias intermediarias como la triptamina, indol-3-acetaldehído, que en forma independiente puede desarrollar actividad auxínica (IICA, 1987). El precursor primario del AIA en la planta es el triptófano. A partir de éste existen tres vías de síntesis:

- a. Ácido indol-pirúvico, es la vía principal de síntesis.
- b. Triptamina.
- c. Indol-acetaldoxina, presente sobre todo en el género *Brassica* (repollo, coles).

Según la Intercontinental (2006) e IICA (1987), las auxinas se sintetizan, principalmente en los ápices de tallos, de donde migran a la zona de elongación y a las otras zonas donde ejercerá su acción. Esta migración desde el ápice es, aproximadamente, de  $1 \text{ cm h}^{-1}$  y siempre es unidireccional: desde el ápice a la base (basipétala). Este movimiento se conoce como transporte polar. Uno de los efectos fundamentales del AIA se observa en el fenómeno de elongación. En muchos casos segmentos de tallos donde se eliminó la auxina endógena denotan elongación en presencia de AIA exógena. Esta elongación es proporcional a la concentración de la auxina usada (Camargo *et al.*, 2006).

#### 2.9.4. Fisiología

El efecto hormonal más conocido del AIA es sobre el tropismo, al determinar la curvatura de ciertos tejidos en respuesta a un estímulo localizado. Esta curvatura es el resultado de una distribución asimétrica de auxina en el órgano. De la misma manera, la formación de raíces a partir de la región del periciclo en tallos puede ser inducida con la aplicación de auxinas. En esto se basa la aplicación de diversas auxinas como método práctico para estimular el enraizamiento de estacas (Salisbury y Ross, 1996).

Además de estos efectos directos de promoción de división celular y elongación, las auxinas participan en el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, determinan el fenómeno de dominancia apical. La eliminación del ápice da como resultado el crecimiento de las yemas laterales (Camargo *et al.*, 2006). Las auxinas también son importantes para regular la caída de hojas y frutos. Cuando las hojas se vuelven deficientes en la producción de auxinas, se forma en el pecíolo un tejido especial llamado capa de abscisión que aísla a la hoja, permitiendo su caída.

El 2,4-D es una auxina sintética que en concentraciones altas es tóxica. Se utilizaba como herbicida al aplicarse en una concentración determinada en un conjunto de especies dicotiledóneas de hoja ancha. Es menos tóxica en monocotiledóneas de hoja angosta (Intercontinental, 2006; Rodríguez *et al.*, 2006; IICA, 1987).

Las auxinas son un grupo de hormonas vegetales naturales que regulan muchos aspectos del desarrollo y crecimiento de plantas. La forma predominante en las plantas es el ácido indolacético (IAA), muy activo en bioensayos y presente comúnmente en concentraciones nanomolares. Otras formas naturales de auxinas son el ácido 4-cloro-indolacético (4-Cl-IAA), ácido fenilacético (PAA), ácido indol butírico (IBA) y el ácido indol propiónico (IPA) (Ludwig-Müller y Cohen, 2005).

Aunque las auxinas se encuentran en todos los tejidos de la planta, una mayor concentración de éstas se encuentra en las regiones que están en crecimiento activo. La síntesis de AIA se produce principalmente en meristemos apicales, hojas jóvenes y frutos en desarrollo. Las hojas jóvenes de las plantas son las que tienen mayor capacidad sintética. Las plantas usan dos rutas biosintéticas para producir AIA, una dependiente del triptófano (Trp) y otra independiente de él, siendo la primera la más importante y de la que se tiene más información. La síntesis de Trp es una de las más complicadas entre todos los aminoácidos. La síntesis de AIA puede derivar del triptófano por cuatro vías: (1) por descarboxilación para producir triptamina (TAM); (2) por oxigenación para originar indolacetamida (IAM); (3) por transaminación para producir ácido indol-3-pirúvico (IPA) y; (4) por oxigenación para producir indol-3-acetaldoxima (IAOx) (Jordán y Caseretto, 2006).

#### **2.9.5. Ácido indol-3-butírico (AIB)**

La formación de raíces adventicias en las plantas es promovida y regulada por varios tipos de auxinas como: el ácido indol-3-acético (AIA) y el ácido indol-3-butírico (**AIB**) (Woodward y Bartel, 2005; Davies, 2004). Los factores que controlan los niveles de auxina libre son: las peroxidasas con actividad de AIA-oxidasa (AIA-ox) (McDonald, 2003; Metaxas *et al.*, 2004); el transporte polar (Friml, 2003; Benjamins y Scheres, 2008); y la conjugación, que es la formación de ésteres o amidas entre auxinas y azúcares o aminoácidos (Bartel *et al.*, 2001; Woodward y Bartel, 2005).

La aplicación exógena de reguladores de crecimiento como el AIB y el AIA afectan la biosíntesis apical y el transporte basípetalo de auxinas endógenas (Teale *et al.*, 2006), de modo que los niveles de las auxinas libres permanecen altos durante la fase de inducción del enraizamiento y decrecen justo al comenzar la fase de iniciación (Gaspar y Hofinger, 1988; Nag *et al.*, 2001).

Las auxinas tienen un efecto variable en la inducción de raíces adventicias en la raíz de las plantas. El mayor enraizamiento que promueve el AIB se ha atribuido principalmente a tres factores: (1) su capacidad de inducir el movimiento del AIA desde el epicotilo hacia el hipocotilo durante la germinación, principalmente en la etapa nueve, denominada: hoja en punta del coleoptilo, según la escala de Zadock *et al.* (1974) (Teale *et al.*, 2006); (2) su transformación lenta y continua en AIA (Bartel *et al.*, 2001; Ludwig-Müller, 2000) y; (3) su mayor estabilidad química (Nordström *et al.*, 1991). El AIB es ampliamente utilizado en la agricultura debido a que induce el enraizamiento (Ruíz-García, 2005).

El **AIB** fue clasificado inicialmente como una auxina sintética, pero es un compuesto endógeno de la planta, más eficiente que AIA en promover formación de raíces laterales y es usado comercialmente con este propósito (Jordan y Casaretto, 2006).

## **2.10. Parámetros de calidad de grano**

La calidad de trigo tiene diferente significado o definición para cada uso del grano. El trigo de buena calidad para hacer pan debe tener un gluten fuerte y extensible, mientras que el trigo de buena calidad para hacer pasteles o galletas tiene sólo un mínimo de gluten. Es muy poco probable que un sólo trigo satisfaga ambas necesidades. Entonces, las pruebas físicas y observaciones del trigo en realidad describen algunas de sus características, más que evaluar su calidad (Troccoli y di Fonzo, 1999).

Los parámetros de calidad de grano determinan el comportamiento reológico y el potencial que tienen las harinas para la panificación. La cantidad de proteína en el grano es un parámetro de calidad que indica, entre otras características, la calidad nutrimental y de panificación. También influye en el precio del trigo en el mercado. En general, trigos con menos de 11 % de proteína en grano no son recomendados para la panificación industrial, son más apropiados para la producción de pastas o galletas. La proteína en harina, localizada en su mayor parte en el gluten, se

encuentra muy relacionada con la proteína en grano. Las proteínas del gluten representan entre el 80 y 85 % del total de las proteínas de almacenamiento en el grano de trigo, y se cuantifican en la harina (Peña-Bautista, 2006).

Es importante señalar que la calidad del trigo depende de la aptitud genética de la variedad, así como de las condiciones climáticas, la clase de suelo, los recursos tecnológicos aplicados durante el cultivo, el manejo postcosecha y el proceso de transformación del trigo en harina. Por lo tanto, la producción de granos depende del ambiente, el genotipo, y su interacción (Espitia et al., 2003). A continuación se describen los parámetros de calidad de grano más importantes en la industria de transformación del trigo:

#### **2.10.1. Peso hectolítrico (PHL)**

El peso hectolítrico (peso del grano/volumen ocupado) indica la densidad y/o el grado de llenado del grano. Este parámetro se define principalmente por la morfología del grano, característico de la variedad (Peña-Bautista, 2006).

De la calidad física, el peso hectolítrico es una de las características más importantes del comercio mundial del trigo y es considerado por el molinero como una característica importante por su relación significativa con el rendimiento harinero, debido a que está relacionado con la condición física del grano. El peso hectolítrico está influenciado por la forma y el tamaño del grano (Halverson y Zeleny, 1988; Gaines *et al.*, 1997; Peña-Bautista, 2006; Confrontar: De la O, 2012). En las siembras de trigos de temporal, la calidad física del grano es afectada en algunas ocasiones por factores como lluvias durante la maduración del grano, sequía, hongos, pre brotado del grano, etc., que originan bajo peso hectolítrico, por lo que se tienen problemas de comercialización (Salazar, 2000).

Entre los factores que determinan el peso hectolítrico está la morfología del grano de la variedad, siembras tardías, deficiencia en la fertilización nitrogenada y abasto insuficiente de agua y temperaturas muy altas en la etapa de llenado de

grano. En general, cuando el grano no está completamente lleno presenta bajo peso hectolítrico. Por estar asociado con la calidad molinera del trigo, este factor de comercialización es importante. (Peña-Bautista, 2006). La unidad que se usa para esta variable es kilogramos por hectolitro  $\text{kg hl}^{-1}$ . Se considera que los trigos de mayor peso hectolítrico rinden más harina (Kent, 1987). Su valor oscila entre  $84 \text{ kg hl}^{-1}$  para el caso de trigos de gluten fuerte y  $75 \text{ kg hl}^{-1}$  en trigos de gluten débil (Vázquez, 2007).

### 2.10.2. Dureza del grano

La dureza del grano es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo, lo cual se controla genéticamente. El porcentaje de dureza influye en el tiempo de molienda, consumo de energía y la capacidad de absorción de agua de las harinas (Peña-Bautista, 2006).

La dureza del grano nos permite calcular el agua que se agregará al grano antes de la molienda. Se determina con una perladora, en la cual el grano se somete a un pulido por un determinado tiempo. La pérdida del grano durante el pulido indicará la dureza; a mayor pérdida, menos dureza del grano (OEIDERUS-BC, 2010). Durante el perlado (remoción del pericarpio por fricción) los trigos suaves pierden más peso, en tanto que los duros pierden menos peso, por lo tanto los valores bajos en índice de dureza corresponden a trigos duros y los valores más altos a trigos suaves (Cuadro 3) (Pomeranz, 1988).

**Cuadro 3. Clasificación del grano de trigo respecto a su dureza**

Dureza (%)	Clasificación
31 – 40	Muy duro
41 – 45	Medianamente duro
46 – 50	Duro
51 – 55	Medianamente suave
56 – 60	Suave
61 – 65	Muy suave

Fuente: Instituto de Ciencia Agrícolas (ICA-UABC) en OIEDERUS-BC, 2010.

### **2.10.3. Sedimentación**

Está basado en la capacidad de hidratación de las proteínas del gluten en un ácido débil, midiendo la fuerza relativa del gluten en la harina de trigo. El valor de la sedimentación es ampliamente influenciado por la calidad de la proteína, y también por la cantidad. Los valores obtenidos mayores a 30 ml indican granos con gluten de buena calidad, y con valores menores de 30 ml indican granos con gluten de mala calidad (AACC, 1999).

### **2.10.4. Contenido de proteína en grano y harina**

La cantidad de proteína en grano de trigo es controlada en gran medida por factores tales como condiciones de disponibilidad de agua durante la maduración, contenido de nitrógeno en el suelo, manejo del cultivo y aplicación de fertilizantes nitrogenados, así como por las condiciones climáticas y características intrínsecas de cada genotipo (Kent, 1983).

Las proteínas son los componentes más importantes de la harina de trigo por la capacidad de formar una masa visco-elástica cuando son mezcladas con agua. Las proteínas de la harina de trigo se clasifican de acuerdo a su solubilidad en cuatro grupos. Las albuminas, solubles al agua; globulinas, solubles en solución salina; gliadinas, solubles en etanol al 70 %, y gluteninas, parcialmente solubles en ácidos diluidos o álcalis. Las albúminas y globulinas constituyen el 20 % del total de la proteína en harina, mientras que las gliadinas y gluteninas representan cerca del 80 %. Éstas son las proteínas más importantes en la harina de trigo por su contribución a la funcionalidad de la harina en la panificación (Vásquez *et al.*, 2009).

El contenido de proteína en grano indica indirectamente el contenido de proteína de gluten que se puede esperar en la semolina y en la harina. Esto es importante ya que el gluten es el factor más importante en la definición de la calidad de cocción de las pastas y de panificación. Por ello, al comercializar el trigo, el contenido de proteína puede representar un factor del que depende el precio de



venta. Un bajo contenido de proteína y de porcentaje de granos vitreos indicará que en la fase de llenado de grano, el productor no abasteció al cultivo con suficiente nitrógeno para formar proteína, lo que va a afectar negativamente el precio por su cosecha (Benítez-Riquelme, 2000).

#### **2.10.5. Volumen de pan**

Es una característica importante para la panificación. Las pruebas de panificación evalúan los parámetros que integran la calidad de las harinas. El proceso de panificación se realiza siguiendo el método de masa directa (AACC, 1999). En estas pruebas, 100 g de harina se mezclan con levadura, azúcar, sal y agua mezclando hasta desarrollar apropiadamente el gluten. Posteriormente la masa se sujeta a diferentes etapas de fermentación, modelado y horneado. En el pan se mide: a) volumen de pan; b) características internas y externas (color, textura de miga y características de la corteza) y; c) volumen específico (vol. pan peso<sup>-1</sup>). Se ha reportado que una de las pruebas más fiables para determinar la calidad de los trigos es la prueba de panificación dando condiciones de la verdadera capacidad de la harina para retener gas y producir un pan de calidad (Hoseney, 1991; confrontar: Vázquez, 2007).

#### **2.10.6. Tipo de gluten**

El gluten es un complejo de proteínas insolubles en agua, que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Está formado por glutenina, proteína que aporta la tenacidad y la elasticidad a la masa y la gliadina, proteína responsable de la extensibilidad de la masa (Casta, 2008).

La cantidad y la calidad del gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea fuerte o floja. La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua dando masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios. La harina floja es pobre en gluten, absorbe poca agua, forma masas flojas con tendencia a fluir durante la

fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente; no es apta para fabricar pan pero sí galletas u otros productos de repostería (Casta, 2008).

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996 existen dos clases de trigos, clasificados de acuerdo al tipo de gluten: los panificables que corresponden a *Triticum aestivum* L. (Grupos 1, 2, 3 y 4) y los no panificables, correspondientes a *Triticum durum* Desf. (Grupo 5).

**Grupo 1, trigos de gluten fuerte.** Se caracterizan por ser de grano duro con alto peso hectolítrico y excelentes características de molienda. El contenido de proteína en grano varía dependiendo de la variedad, las condiciones ambientales, del manejo agronómico y de la localidad. La harina produce masas con propiedades de gluten fuerte elástico, apto para la industria de la panificación mecanizada en la elaboración de pan de molde (pan de caja) y como mejorador de trigos de gluten débil (Salazar, 2000).

**Grupo 2, trigos de gluten medio fuerte.** Las características del grano son similares a las del Grupo 1, excepto que el grano es generalmente de textura semi-dura. El tipo de gluten es medio fuerte y tiene características de mezclado intermedias, apto para la producción de harinas que se utilizan en la elaboración de pan hecho a mano o diversos productos leudados (pan francés y pan dulce de fermentación) y en mezclas para la producción de harinas con diferente potencial de panificación (Salazar, 2000).

**Grupo 3, trigos suaves de gluten débil.** Estos trigos producen granos suaves con bajo contenido de proteína pero con excelentes características de molienda, de gluten débil extensible y tiempo de amasado corto, aptos para la industria galletera y de repostería (Salazar, 2000).

**Grupo 4, trigos de gluten tenaz.** El grano de estos trigos se caracteriza por ser de textura dura con bajo contenido de proteína y de excelentes características de

molienda. Su gluten es corto y tenaz, y se asocia con baja calidad panadera. Su harina se utiliza para la elaboración de productos horneados de bajo volumen, y también para la preparación de mezclas con trigos del Grupo 1 (Salazar, 2000).

**Grupo 5, trigos cristalinos.** El grano de estos trigos conocidos como duros o macarroneros, son extremadamente duros en textura, de un color ámbar y adecuados para la elaboración de pastas. Se utilizan en la producción de semolina y se caracterizan por tener alto contenido de pigmentos carotenoides que son los responsables de dar el color amarillo brillante a las pastas alimenticias (Salazar, 2000).

#### **2.10.7. Características de fuerza de gluten (Alveógrafo de Chopin)**

Cuando la harina se mezcla con agua para formar la masa, el gluten le confiere a la masa propiedades de visco-elasticidad, que es lo que permite que puedan ser fermentadas y que el pan adquiera los volúmenes y textura de miga deseados (Peña-Bautista, 2006). Con el Alveógrafo se evalúa la capacidad que tiene el gluten para resistir un determinado trabajo mecánico. Esto se mide mediante la inyección de aire a una muestra de forma circular. Dicha muestra comienza a expandirse hasta que la presión interna es mayor y revienta la masa, en este momento la curva del alveograma (gráfica del alveómetro) cae, la información que se obtiene es el trabajo de deformación (**W**), es decir, el valor de la fuerza del gluten (De la Vega, 2009).

También se obtienen otros parámetros como: Tenacidad (**P**), la cual mide la resistencia a la deformación de la masa, esta propiedad la confieren principalmente las gluteninas, en el alveograma se mide en el eje de las ordenadas. La extensibilidad (**L**) mide la viscosidad de la masa debida principalmente a las gliadinas; en el alveograma se mide en el eje de las abscisas. El índice de hinchamiento (**G**) nos da un valor proporcional a la extensibilidad. Este parámetro se utiliza para determinar el índice de equilibrio **P/G**; el cual da la proporción de gliadinas y gluteninas. Con la información que se obtiene de los

alveogramas se pueden clasificar las harinas en tres grupos como se muestra en las Tablas 4 y 5 (De la Vega, 2009).

**Cuadro 4. Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su Fuerza ( $W \times 10^{-4}$  Joules)**

Harina con gluten		
Fuerte	Medio	Débil
$W > 300$	$300 > W > 200$	$W < 200$

Fuente: Método 54-30<sup>a</sup>, AACC, 1995; De la Vega, 2009

**Cuadro 5. Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su Índice de equilibrio (P/G)**

Harina con gluten		
Tenaz	Balanceado	Extensible
$P/G > 6$	$6 > P/G > 4$	$P/G < 4$

Fuente: De la Vega, 2009

Estos dos parámetros son muy útiles en la clasificación del trigo en relación con su uso potencial en panificación.

En general, los trigos destinados a la panificación semi-mecanizada deben tener valores de  $W$  entre 200 y 300, mientras que aquellos destinados a la panificación mecanizada deben tener valores de  $W$  mayores a 350 (Cuadro 4). En ambos casos es deseable que las harinas tengan valores de índice de extensibilidad,  $P/L$  iguales o menores a 1.1; harinas con valores de  $P/L$  mayores a 1.2 se clasifican como tenaces (poco extensibles). Los factores que afectan la concentración de proteína en el grano, entre los que está la fertilización nitrogenada, afectarán paralelamente tanto la fuerza como la extensibilidad del gluten y la calidad de panificación (De la Vega, 2009).

**Cuadro 6. Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su Fuerza e índice de equilibrio**

Fuerza	Índice de equilibrio	Uso
$300 > W > 200$	$5 > P/G > 4$	Panadería
$W < 200$	$P/G < 4$	Galletas
$W > 300$	$P/G > 6$	Pastas

Fuente: De la Vega, 2009

### **2.10.8. Características de amasado (Farinógrafo de Brabender)**

El farinógrafo de Brabender mide y grafica la resistencia que opone la masa al mezclado (esfuerzo mecánico). Se calculan los parámetros de absorción de agua, el tiempo óptimo de amasado, estabilidad e índice de tolerancia. Donde un alto valor de absorción indica incremento en los rendimientos de panadería. Por medio de las curvas se clasifican a las harinas con diferente fuerza de gluten de débiles a fuertes. En una harina fuerte, el tiempo de desarrollo puede ser notablemente largo relacionado con la alta calidad del gluten o también con la velocidad de absorción de agua. La estabilidad así como el índice de tolerancia al mezclado son parámetros importantes en la industria de la panificación ya que dan idea de la calidad de la masa. La industria panadera prefiere harinas con alta absorción de agua, tiempo promedio de mezclado y buena estabilidad (AACC, 1999, Vázquez, 2007).

El tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad de la masa desarrollada y la tolerancia de la misma al sobre amasado, son características importantes durante el proceso de panificación mecanizada. Una harina con buenas propiedades de amasado debe registrar en el farinógrafo tiempos de desarrollo de 5-10 min (intermedios), estabilidad de masa desarrollada entre 10-15 min, y una tolerancia al sobre amasado tal que después de 5 minutos de sobre amasado, las propiedades de elasticidad y textura de la masa se mantengan similares a aquellas que muestra una masa desarrollada en su punto óptimo (Peña-Bautista, 2006).

### **2.10.9. Extensógrafo de Brabender**

El Extensógrafo de Brabender mide y registra la extensibilidad, la resistencia a la extensión y la fuerza necesaria que se requiere para estirar la masa de trigo hasta su rompimiento. Los resultados obtenidos tanto con el farinógrafo como con el extensógrafo hacen posible que el molinero tome una decisión sobre la calidad del grano y la mezcla que se va hacer con estos para la obtención de harinas. Además con este equipo se puede identificar el efecto de los aditivos y mide los cambios físicos en masas leudadas en condiciones que simulan la fermentación en el proceso de panificación. Los índices medios del extensógrafo son: a) la resistencia de la masa a la extensión, es decir, la altura del extensograma (gráfica obtenida del extensógrafo); b) la extensibilidad, y; c) relación de la resistencia entre la extensibilidad, si esta es grande la masa será poco extensible, los mejores trigos tiene una relación igual a 1, es decir, la resistencia y la extensibilidad tienen el mismo valor (AACC, 1999; Vázquez, 2007).

### **III. OBJETIVOS E HIPOTESIS**

#### **3.1. Objetivos**

El presente estudio tuvo los siguientes objetivos:

1. Evaluar la efectividad biológica del AIB en la producción de trigo de invierno en condiciones de riego.
2. Evaluar el efecto de AIB en la calidad harinera del grano de trigo producido bajo condiciones de riego.

#### **3.2. Hipótesis**

Las hipótesis planteadas fueron:

1. La aplicación exógena del AIB promueve mayormente la producción de trigo con la dosis más alta de este regulador de crecimiento, en dos etapas fenológicas distintas de crecimiento del cultivo.
2. La aplicación exógena del AIB mejora los parámetros de calidad harinera del trigo con la dosis más alta de este regulador de crecimiento en dos etapas fenológicas distintas de crecimiento del cultivo.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en el Campo Experimental Bajío INIFAP-CEBAJ en Celaya, Guanajuato, el cual se localiza a los 20° 3´ de LN y 100° 0´ de LO, a una altitud de 1754 m (Figura 1). El clima de la región de acuerdo con García (1988) es BS1hw (W) (e) q. La temperatura media anual es de 20.6 °C y la precipitación media anual es de 597 mm. El tipo de suelo del campo experimental corresponde, de acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (sus siglas en inglés USDA), a un Vertisol (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004). El Vertisol se caracteriza por ser un suelo oscuro y poseer cerca de 60% de arcilla en su fracción mineral, alto contenido de materia orgánica y alta capacidad de intercambio catiónico. Las arcillas que dominan están clasificadas como esmectitas del tipo 2:1, es decir, que estos filosilicatos en su estructura química poseen dos capas de tetraedros de silicio y una capa de octaedro de aluminio. Esta disposición cristalina les da la propiedad de ser expandibles cuando están hidratadas y contraíbles en estado seco. Estos suelos tienen un alto potencial para la producción agrícola y son representativos de las áreas de riego en donde se cultivan granos y hortalizas en el estado de Guanajuato.

### 4.2. Material vegetal

Se empleó la variedad de trigo harinero Cortazar S94, de gluten suave, ya descrita anteriormente. Esta variedad de trigo harinero fue liberada 1995 por el INIFAP-CEBAJ.



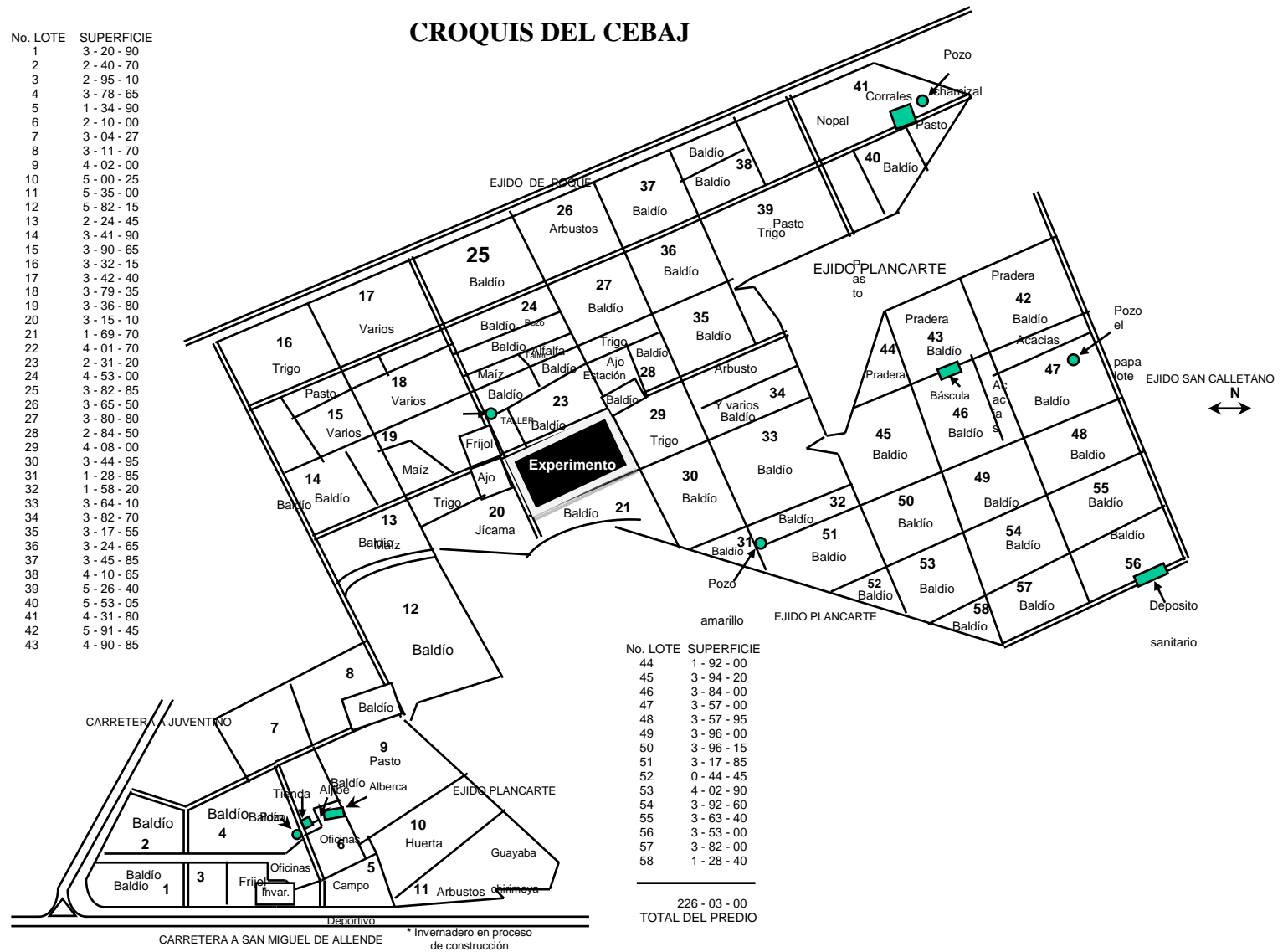


Figura 1. Croquis de localización. Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato (Báez-Pérez, 2009).

### 4.3. Diseño experimental

Se evaluó el efecto del ácido indol-3-butírico (**AIB**) contenido en el producto RADIX 35+ %, en la producción de trigo y calidad de grano (*T. aestivum* L.) variedad Cortazar S94. Se establecieron cuatro tratamientos que se describen en el Cuadro 1. El primero (T1) correspondió al testigo, sin aplicación de la hormona; en el segundo tratamiento (T2) se aplicó una dosis de 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB (3 pastillas de RADIX 35+ %) a los 28 días después de la emergencia de las plantas (DDE), cuando las plantas se encontraban en la etapa fenológica de encañe, de acuerdo con la escala de Zadoks *et al.* (1974). En el tercer tratamiento se aplicó la misma dosis que el anterior, pero a los 55 DDE, cuando las plantas se encontraban en la etapa fenológica de inicio de floración, de acuerdo con la escala de Zadoks. En el último tratamiento (T4) se aplicaron 18 g ha<sup>-1</sup> de AIB: la mitad a los 28 DDE y la otra mitad a los 55 DDE.

**Cuadro 7. Tres tratamientos con adición de AIB y el tratamiento testigo (sin AIB) a establecer para evaluar su efecto biológico en la producción de grano de trigo. Ciclo O/I 2009-2010 en el INIFAP-CEBAJ.**

Trat.	Dosis de AIB g ha <sup>-1</sup>	Época de aplicación	Escala Zadoks	Etapas fenológicas	Tabletas ha <sup>-1</sup> RADIX 35+%
1	0	-	-	-	0 + 0
2	9	28 días DDE	Encañazon	10-15 cm de altura	3 + 0
3	9	55 días DDE	Espigazon	Antes de emerger las espigas	0 + 3
4	18	T2 + T3	T2 + T3	T2 + T3	3 + 3

Se empleó un diseño experimental en bloques al azar con tres bloques, cuatro tratamientos y dieciocho repeticiones por tratamiento. El total de unidades experimentales correspondió a 72, 6 por cada bloque, para la evaluación de los componentes de rendimiento. La unidad experimental se conformó por 9 surcos de 182 m de largo.

#### 4.4. Manejo agronómico

El cultivo se condujo de acuerdo a la tecnología desarrollada en el Campo Experimental Bajío para trigo. La fecha de siembra se efectuó el 20 de diciembre de 2009 en surcos a doble hilera, con una distancia entre surcos de 0.80 m y 200 m de longitud (Fotos 1 y 2). El experimento se evaluó en una superficie de 1.5 hectáreas. La dosis de fertilización aplicada de N-P-K fue 250-80-50. Se utilizó como fuente de nitrógeno urea (46 % de N), como fuente de  $P_2O_5$  superfosfato de calcio triple (46 % de  $P_2O_5$ ) y como fuente de potasio el Cloruro de potasio (60 % de K). Las cantidades que se aplicaron de estos fertilizantes para ajustar la dosis de fertilización mencionada fue de: 543.5, 173.9 y 83.3 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. El 50 % del N se aplicó al momento de la siembra y el resto a los 48 DDE, cuando las plántulas de trigo se encontraban en estado de bota, de acuerdo con la escala fenológica de Zadoks, *et al.* (1974). Durante esta etapa se observó que ocurría la elongación de los entrenudos. En este momento también se aplicó el segundo riego. Se utilizó la variedad de trigo Cortazar con dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup>. El primer riego se aplicó dos días después de la siembra, con agua de pozo. Se aplicó un tercer riego a los 78 DDE y el último a los 102 DDE. Cuando las plantas de trigo se encontraban, de acuerdo con la escala de Zadoks, en las etapas fenológicas de llenado de grano y estado lechoso-masoso, respectivamente. En esta última etapa es importante que el cultivo cuente con disponibilidad de humedad suficiente en el suelo, para que el grano llene completamente y no tenga la apariencia de estar “chupados” al momento de la cosecha.



**Foto 1. Establecimiento del ensayo. (a) Preparación del terreno. (b) Fertilizante urea+supertriple+cloruro de potasio. (c) Trigo variedad Cortazar.**



**Foto 2. Ensayo establecido. (a) emergencia de las plantas. (b) Cultivo después de 20 días después de la emergencia de las plantas (DDE). (c) Cultivo 35 DDE**

El AIB contenido en las pastillas de RADIX 35+ % se aplicó en los tratamientos correspondientes de acuerdo a las especificaciones del producto. La sustancia se disolvió en 400 l de agua, agregando un adherente marca Surface (1 l ha<sup>-1</sup>). La aplicación se efectuó por aspersión directa al follaje (Foto 3).



**Foto 3. Preparación de la solución de AIB (pastillas solubles de RADIX 35+ %) en tanque antes de la aplicación del producto en campo.**



Foto 4. Aplicación del AIB combinado con el herbicida (28 de enero 2011)

## 4.5. Evaluación edafoclimática

### 4.5.1. Temperatura y precipitación

Se registró diariamente la temperatura máxima y mínima y la precipitación que imperaron a lo largo del ciclo de cultivo. Se utilizó la estación automática Vantage Pro2™ Plus inalámbrica, la cual está ubicada en el Campo Experimental Bajío.

### 4.5.2. Muestro de suelos

Se efectuó un muestreo de suelos de 0 a 30 cm de profundidad, en el cual se recolectó una muestra compuesta por 20 submuestras, en forma de zigzag, que ubicaron en la superficie del suelo en la parcela donde se llevó a cabo el experimento, la cual fue de 1.5 hectáreas. La muestra compuesta fue secada a la sombra y temperatura ambiente. Posteriormente se molió con un martillo de madera y se pasó a través de un tamiz de malla número 10 (apertura de 2 mm). Se homogenizó perfectamente y se llevó al laboratorio de suelos del Colegio de Postgraduados, donde se efectuaron las siguientes determinaciones:

**Textura.** Se evaluó mediante el método Bouyoucos, el cual consiste en pesar 50 g de suelo tamizado en malla de 2 mm de diámetro y dispersarlo mediante una licuadora agregando agua y una porción de exametafosfato de sodio. Después en una columna se afora a 1130 ml con el hidrómetro Bouyoucos adentro. Se agita vigorosamente la solución durante 60 segundos. A los 40 segundos se toma la primera lectura con el hidrómetro. Se determinó que después de 40 segundos de la agitación todas las partículas mayores de 0.05 mm de diámetro se han asentado, de tal manera que no tendrán influencia sobre el hidrómetro. Una hora después se asientan las partículas mayores de 5 micras y dos horas más tarde las de 2 micras. Los cálculos se realizaron de acuerdo con el método propuesto por Bouyoucos (1962).

**Potencial de hidrógeno (pH).** Este parámetro se evaluó directamente mediante la medición con un potenciómetro en solución de suelo con relación suelo/agua de 1:2. Se pesaron 10 g de suelo tamizado en malla 2 mm, los cuales se colocaron en vasos de precipitado de plástico de 50 ml, se agregaron 20 ml de agua destilada y se agitaron de forma manual con una varilla de vidrio por 1 minuto. La suspensión se dejó reposar por 15 minutos y se repitió la agitación, la lectura se tomó a los 30 minutos de la primera agitación suelo (Jackson, 1976).

**Conductividad eléctrica (CE).** Para esta medición se utilizó la misma muestra en la que se midió el pH. Se agregaron 30 ml de agua destilada, para obtener una relación de suelo/agua de 1:5. Se agito por 1 minuto la muestra con una varilla de vidrio. Se dejó reposar la solución de suelo por 16 horas, después de las cuáles se efectuó la lectura en cada muestra mediante un conductiméetro (Jackson, 1976).

**Materia orgánica (MO).** Se estimó mediante el método de oxidación húmeda con dicromato de potasio, propuesto por Walkley y Black, modificado por Jackson (1976), mediante este procedimiento, el carbono orgánico del suelo se oxida parcialmente y se utiliza un factor promedio de corrección para calcular el

contenido de materia orgánica total contenida en el suelo (Jackson, 1976). El procedimiento que se utiliza en México considera que se oxida sólo el 77 % del carbono orgánico y que la materia orgánica contiene 58 % de carbono (Aguilar, 1988).

**Fósforo extractable-Olsen (P-Olsen).** Se estimó mediante el método propuesto por Olsen (Olsen y Dean, 1965) que es propio para suelos básicos o ligeramente básicos. Todo el material utilizado para esta determinación es lavado en ácido y enjuagado con agua desionizada. Para la preparación de los reactivos también se utiliza agua desionizada. El procedimiento consiste en pesar 2.5 g de suelo molido y tamizado en malla de 10 mm y colocados en tubos de polipropileno de 100 ml, a los que se le agrego 50 ml de solución extractora de bicarbonato de sodio 0.5 M, ajustado a pH de 8.5. Los tubos se taparon y se colocaron de forma horizontal en un agitador mecánico de vaivén, y se agitaron por 30 minutos a razón de 180 oscilaciones por minuto. La suspensión se filtró inmediatamente a través de papel Ahlstrom no. 6100-1250, se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 50 ml, al que se le adiciono un poco de agua desionizada, 5 ml de la mezcla del molibdato de amonio con el reductor (ácido ascórbico) y se aforó con agua desionizada. Para la valoración de la absorbancia del complejo coloreado reducido, se utilizó un equipo Spectronic 20D regulado a 882 nm. La lectura se hizo a los 30 minutos y una hora después de adicionado el reductor (Jackson, 1976).

**Azufre (S).** Se determinó mediante un método turbidimétrico que se basa en la precipitación de los iones sulfato con cloruro de bario (0.38 g NaCl anhidro o 0.45 g NaCl dihidratado) en un medio ácido (ácido clorhídrico) (1.25 ml de disolución acondicionadora de pH entre 1 y 2) y la medición espectrofotométrica de la turbidez producida. Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro a 420 nm, utilizando celdas de 1 cm o más de paso de luz. La turbidez máxima se alcanza generalmente a los 2 minutos y es la que se consideró para la determinación (Jackson, 1976).

**Bases intercambiables.** La determinación del porcentaje de saturación de bases se realizó considerando la suma de los cationes solubles ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$ ) que se determinaron a partir de la medición de la CIC, la cual se hizo a partir de lavados de muestras de suelo con alcohol metílico. La capacidad de adsorción de iones se puede determinar mediante la saturación de la muestra con un ion que ésta prácticamente no contiene, y luego se determinó la suma de todos los iones reemplazados. Primero se emplea una solución concentrada de amonio para reemplazar y liberar los cationes propios del suelo, los cuales, de esta manera se pueden cuantificar individualmente en la solución sobrenadante. Queda entonces los  $\text{NH}_4$  adsorbidos al suelo, saturando todas las cargas negativas de éste. Luego se satura el suelo con sodio, empleando una solución de alta concentración de este catión, para reemplazar todos los  $\text{NH}_4$  adsorbidos (procedimiento efectuado en el paso anterior), por Na. Se elimina el sodio no adsorbido (y que han quedado en la solución sobrenadante) por lavados con alcohol libre de sodio. Finalmente se extrae el sodio adsorbido por saturación del complejo con amonio. Los cationes amonio reemplazan a los de Na, quedando éstos en solución. La valoración del sodio en la solución extraída representa el total de cargas disponibles para el intercambio catiónico (Jackson, 1976).

## **4.6. Evaluación agronómica**

### **4.6.1. Materia seca a la floración**

Se estimó la producción de materia seca aérea al inicio de la floración, que es cuando las plantas emiten las espigas después de la elongación del último entrenudo que sostiene la espiga. En la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974) es la etapa señalada con el número 55 (ver Cuadro 2).

Se recolectaron 6 muestras por tratamiento con una superficie de  $0.8 \text{ m}^2$  cada una: 1 m de longitud por 0.8 m de ancho. En cada área de muestra se contabilizó el número de plantas y número de tallos. Después se cortó el material vegetal a



ras de suelo y se guardó en una bolsa de papel. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa a una temperatura de 70 °C durante 48 horas. Se registraron los pesos y se estimó la producción de materia seca en  $t\ ha^{-1}$ .

#### **4.6.2. Componentes de rendimiento**

Para esta evaluación se consideraron 10 muestras por unidad experimental. Cada muestra tuvo una superficie de 0.8 m<sup>2</sup>, un metro de longitud por el ancho del surco de 0.8 m.

**Número de plantas m<sup>-2</sup>.** Durante la floración y a la cosecha se contabilizó el número de plantas en 10 muestras aleatorias, de cada unidad experimental.

**Número de tallos m<sup>-2</sup>.** El número de tallos emitidos por planta se contabilizó en 10 muestras aleatorias de cada unidad experimental.

**Índice de amacollamiento.** Es el parámetro que indica la emisión de tallos por planta en cultivos de grano pequeño como: avena trigo y cebada. Se obtiene dividiendo el número de tallos entre el número de plantas. Se contabilizó en 10 muestras aleatorias de cada unidad experimental.

**Altura de planta.** La altura de la planta en cm dentro de cada muestra, se midió en 20 plantas desde el suelo hasta la base de la espiga.

**Materia seca.** Se determinó el peso seco de las plantas de la parte área en muestras de cada unidad experimental. El material vegetal se secó en una estufa de secado marca Felco, a una temperatura de 70 °C por 72 horas.

**Peso de espigas.** Se determinó el peso de espigas por m<sup>2</sup> a la cosecha después del secado a 70°C durante 72 horas.

**Rendimiento de grano.** Este parámetro se evaluó de manera minuciosa en el presente estudio. Se evaluó a través de tres metodologías: a) de manera puntual, mediante el muestreo aleatorio y representativo, donde se evaluaron todas las variables que comprenden los componentes de rendimiento. Se recolectó el grano de las unidades experimentales. Se determinó la humedad de campo mediante un determinador automático Farmex Electronic Corp. Finalmente se ajustó su peso al 12% de humedad; b) mediante la obtención de muestras compuestas, es decir, se colectaron aleatoriamente dos muestras compuestas por cinco sub-muestras cada una de un metro lineal ( $0.8 \text{ m}^2$ ), obteniendo una muestra representativa en una superficie de  $4 \text{ m}^2$  por muestra compuesta, y; c) la determinación directa del rendimiento mediante una cosechadora combinada tipo John Deere.

**Peso de 200 granos.** Se contabilizaron 200 granos por muestra y se registró su peso en una balanza analítica marca Ohaus.

**Índice de cosecha.** Esta variable se determinó mediante la relación que guarda el rendimiento económico con el rendimiento biológico.

Así:  $IC = \text{Rendimiento de grano} / \text{Biomasa aérea}$ .



**Foto 5. Estado fenológico de la planta en madurez fisiológica. Grano de trigo madurando**



**Foto 6. Cosecha mecanizada de los tratamientos mediante máquina combinada**



**Foto 7. Proceso cosecha, beneficio y transporte del grano de trigo variedad Cortazar.**

#### **4.7. Evaluación del contenido de N-P-K en planta**

Al inicio de la floración se recolectó, en muestras compuestas, la hoja bandera de 10 plantas por tratamiento para llevarlas a peso seco y evaluar el contenido de N, P y K. Para la determinación de estos elementos, primero se utilizó el método de Kjeldahl modificado descrito por Jackson (1976) el cual consiste en una digestión del material vegetal en húmedo (mediante ácidos), agregando un catalizador a una temperatura en mufla de entre 380 y 400 °C. Posteriormente se cuantifica el nitrógeno de la muestra mediante arrastre de vapor en un equipo de destilación y después la titulación. El fósforo se determinó mediante un método denominado: azul molibdofosfórico obtenido por reducción con ácido cítrico en un sistema sulfúrico (Jakson, 1976). El método consiste en desarrollar color en una muestra de vegetal previamente digestada en un medio ácido y después desarrollar el color azul con molibdato de amonio y leer las muestras en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 nm. Para calcular el contenido de fósforo es necesario desarrollar una curva de calibración de concentración conocida para estimar el elemento contenido en cada muestra. La determinación de potasio se hizo

mediante un equipo de absorción atómica en muestras previamente pasadas por un proceso de digestión húmeda con ácidos (Jackson, 1976). Para este procedimiento se usa una lámpara de cátodo específica para potasio, la cual se acopla al equipo de absorción atómica. El principio es que cuando se hace pasar por una flama, producida por gas etileno, una micro solución acuosa de la muestra, los átomos se excitan y cuando los electrones que se encuentran en las últimas orbitas regresan a su estado basal, la lámpara es capaz de identificar el elemento en cuestión y medir indirectamente su concentración.

#### **4.8. Evaluación de calidad de grano**

La evaluación de los parámetros de calidad de grano se efectuaron en el Laboratorio de Farinología del INIFAP por el personal especializado. A continuación se describen los protocolos que se efectuaron para la evaluación de las siguientes determinaciones:

**Peso hectolítrico.** Se registró el peso de una muestra de grano, por unidad experimental, en un volumen de 1 l, se ajustó la humedad del grano al 12 %. Se determina empleando una balanza Schopper Chondrometer de  $\frac{1}{4}$  de litro de capacidad, haciendo la conversión a  $\text{kg hl}^{-1}$

**Dureza del grano.** Se evaluó en una perladora, máquina que tiene la propiedad de desgastar el grano en un tiempo determinado. El grano con un 12% de humedad.

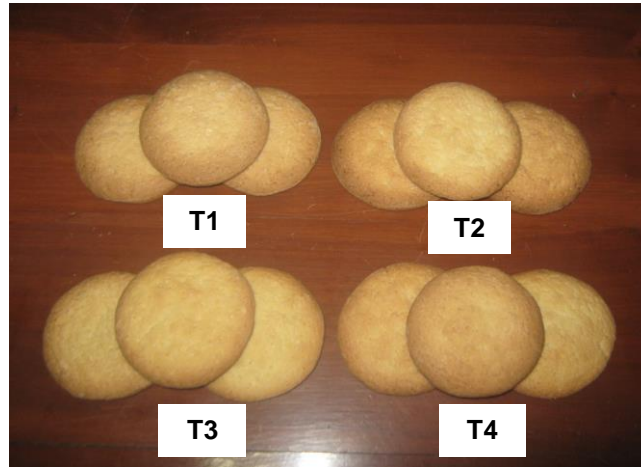
**Sedimentación.** Esta variable indica la calidad de proteína del grano. Se basa en las propiedades de floculación de las proteínas en un medio ácido. La unidad de medida es ml de sedimento. El valor obtenido de este índice depende más de la variedad que del efecto del ambiente. Se evaluó de acuerdo al método 56-60 de la AACC (1999).

**Proteína.** Las proteínas son compuestos nitrogenados que, en contacto con agua, formarán el gluten. Por ello, el contenido de proteína es una forma indirecta de estimar el contenido de gluten del grano, aunque no da indicación alguna sobre la calidad o comportamiento de ese gluten durante la panificación. En general, trigos de menos de 11 % de proteína no son aconsejables para producir pan. Para la determinación de la cantidad de proteínas se utiliza el método Kjeldahl (método 30-10, AACC (1999) así como el de reflectancia infrarrojo (NIR utilizando el equipo Infratec Tecator)

**Volumen de pan.** Para conocer el volumen de pan, se realizó la prueba de panificación, la cual evalúa los parámetros que integran la calidad de las harinas. El proceso de panificación se realizó siguiendo el método de masa directa, método 10-09 de la AACC (1999). Personal del Lab. de Farinología mezcló 100 g de harina con levadura, azúcar, sal y agua hasta desarrollar apropiadamente el gluten. Posteriormente la masa se sujeta a diferentes etapas de fermentación, modelado y horneado. En el pan se mide: volumen de pan, características internas y externas (color, textura de la miga y características de la corteza) y volumen específico.



**Foto 8. Prueba de panificación en los tratamientos**



**Foto 9. Prueba de calidad para producción de galleta**

**Gluten.** El análisis de gluten determina en corto tiempo la cantidad aproximada de proteína en trigo. Los valores de rendimiento de gluten en la muestra son utilizados como criterio de selección, clasificación y calidad de harina de trigo (NMX-FF-036-1996). Es medido a través del Alveógrafo de Chopin, es un sofisticado instrumental apto para simular el comportamiento de la masa durante su fermentación. Mide la extensibilidad/tenacidad de las masas y el trabajo necesario para su deformación. Éste genera un gráfico, conocido como alveograma, el cual es un trazado curvilíneo. La superficie por debajo de dicha curva, representa la “fuerza” de la masa. Fuerza es igual a  $W \times 10^4$  Joules.

**Tenacidad y extensibilidad.** El parámetro T/L indica el índice de tenacidad/extensibilidad en la harina y es medido con el Extensografo de Brabender. Altos valores de tenacidad en el trigo indica baja aptitud para la panificación.

#### **4.9. Análisis estadístico**

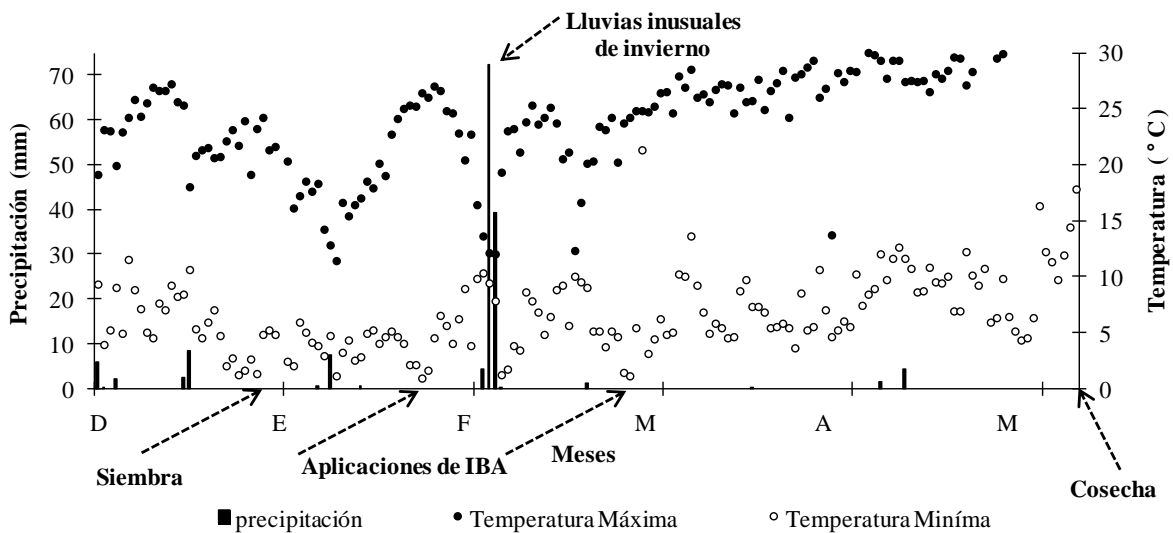
El análisis de varianza para los componentes de rendimiento; la concentración de nutrimentos en hoja y la calidad de grano se efectuaron mediante el programa estadístico Statistical Analysis Systems (SAS), versión 8.1. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0.05$ ), para lo cual se utilizó el mismo programa.

Así mismo, se calculó el coeficiente de correlación ( $r$ ) entre la estimación de rendimiento de grano por los métodos de muestra puntual y compuesta.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Temperatura y precipitación

Los regímenes de temperatura y precipitación diaria y mensual a lo largo de ciclo de cultivo, mostraron que el mes más frío fue enero, con una temperatura media mensual de 12 °C, mientras que en mayo, durante la época de cosecha, ésta fue mayor a 19 °C (Figura 2). Las temperaturas mínimas extremas, cerca de los cero grados, se presentaron más frecuentemente entre enero y febrero.



**Figura 2. Temperatura y precipitación diarias en el ciclo otoño-invierno 2009-2010 en el INIFAP-CEBAJ.**

La precipitación acumulada, durante el ciclo de cultivo otoño-invierno, fue mayor a 150 mm. La distribución diaria de las lluvias muestra que solamente en dos aguaceros cayeron cerca de 112 mm, es decir, el 75 % del volumen total (Figura 2). Esta cantidad de lluvia es inusual en la región Bajío durante la época invernal. Lo anterior necesariamente modificó el calendario de riego que estaba programado. Las condiciones meteorológicas imperantes durante el ciclo de cultivo provocaron una fuerte incidencia de roya lineal amarilla durante el desarrollo del experimento. Se estimó un daño de aproximadamente 30 %, lo cual



obviamente afectó el rendimiento de grano. En el Bajío dicha enfermedad afectó aun variedades reportadas como resistentes.

## **5.2. Características físico-químicas del suelo**

El suelo donde se estableció el ensayo experimental correspondió a un Vertisol Pélico. La textura es arcillosa, con más de 60 % de partículas inferiores a 2  $\mu\text{m}$ . El 20 % correspondieron a limos y otro tanto semejante a arenas. La cantidad de materia orgánica reportada por el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados fue de 1.8 %, la cual se considera de regular a baja. El pH del suelo, en agua relación 1:2, fue 7.8 y se clasifica como alcalino. La concentración de fósforo (P-Olsen) fue mediana (10 ppm), mientras que la de azufre fue muy baja (2 ppm).

## **5.3. Evaluación de materia seca a la floración**

Los resultados de la evaluación de materia seca a la floración (inicio del espigamiento) muestran que la población de plantas  $\text{m}^{-2}$  y tallos  $\text{m}^{-2}$  fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) en todos los tratamientos (Cuadro 8). Se observa que la altura de planta, al momento del corte fue mayor en el tratamiento T3 (aplicación del AIB a los 55 DDE), cerca de 7 % más respecto al tratamiento testigo (T1); sin embargo, a pesar de la tendencia, esta diferencia no fue significativa ( $p \leq 0.05$ ).

En la producción de materia seca el tratamiento T4 (aplicación del AIB a los 28 y a los 55 DDE) tuvo el mayor rendimiento y fue 7 % mayor respecto al tratamiento testigo. Aunque estadísticamente los tratamientos fueron semejantes entre sí ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística en la evaluación de variables de materia seca a la floración en tratamientos con AIB en el cultivo del trigo variedad Cortazar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.**

<u>Tratamiento</u>	T1	T2	T3	T4	Media	C.V.
<b>Variable</b>						
No. plantas m <sup>-2</sup>	81.9 ba	89.4 a	73.0 b	85.0 a	82.5	15.3
No. tallos m <sup>-2</sup>	429.0 ba	444.9 a	385.7 b	418.6ba	419.2	14.0
Índice de amacollamiento %	5.4 a	5.0 a	5.4 a	5.0 a	5.1	14.5
Altura de planta cm	58.5 ba	62.0 a	56.2 b	58.0 ba	58.8	10.4
Materia seca t·ha <sup>-1</sup>	11.5 a	11.1 a	11.2 a	12.3 a	11.5	16.9

Letras iguales dentro de columnas indican semejanza estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Aunque se observa una tendencia favorable en cuanto al desarrollo del cultivo y producción de materia seca de trigo por efecto de la aplicación del regulador de crecimiento, principalmente en T2, los resultados de esta evaluación muestran que en esta etapa fenológica aún no hubo diferencia entre los tratamientos por la aplicación de AIB.

#### **5.4. Evaluación de componentes de rendimiento**

Los parámetros: número de plantas y tallos, altura, longitud de espiga, peso de paja, rendimiento de grano, biomasa aérea y peso de doscientos granos mostraron efecto significativo de la aplicación del AIB ( $p \leq 0.05$ ). El tratamiento testigo, sin aplicación de la fitohormona, presentó los valores más bajos en las variables mencionadas (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Cuadrados medios y significancia estadística de variables evaluadas en tratamientos con AIB en el cultivo de trigo. Variedad Cortazar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ**

<b>Variables</b>	<b>T 1</b>	<b>T 2</b>	<b>T 3</b>	<b>T 4</b>	<b>Media</b>	<b>C. V.</b>
No. de plantas m <sup>-2</sup>	53.0 a	46.5 b	45.0 b	41.8 b	46.5	15.5
No. de tallos m <sup>-2</sup>	342.4 b	396.0 a	369.0 ba	345.0 b	363.1	12.8
Índice de amacollamiento	6.6 b	8.6 a	8.3 a	8.3 a	8.0	15.2
Altura de planta cm	81.1 b	82.2 ba	86.6 a	83.3 ba	83.3	7.4
Long. de espiga cm	9.9 b	10.1 ba	10.6 a	10.5 a	10.2	6.7
Peso de paja t·ha <sup>-1</sup>	8.6 b	10.1 a	9.3 ba	9.1 ba	9.2	13.8
Peso de grano t·ha <sup>-1</sup>	4.6 b	5.2 a	5.0 ba	4.8 ba	4.9	11.5
Biomasa aérea t·ha <sup>-1</sup>	13.2 b	15.3 a	14.3 ba	13.9 b	14.2	11.5
Peso de 200 granos g	10.5 b	10.8 a	11.1 a	11.0 a	10.8	3.2
No. de granos m <sup>-2</sup>	8.90 ba	9.70 a	9.10 ba	8.71 b	9.10	11.4
Índice de cosecha	0.35 a	0.34 a	0.35 a	0.35 a	0.35	8.18

Letras distintas en cada variable indican diferencia estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

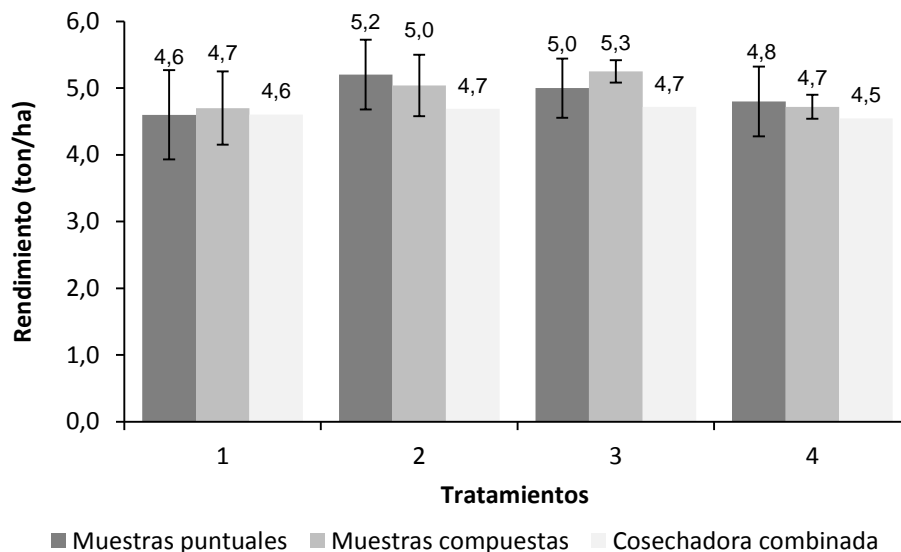
**Índice de amacollamiento.** Este parámetro fue mayor ( $p < 0.05$ ) en las plantas de trigo que recibieron la aplicación del AIB. En estos tratamientos (T2 a T4) las plantas emitieron alrededor de dos tallos más por planta, en promedio, respecto a lo contabilizado en T1, donde no se aplicó el AIB (Cuadro 9). Lo anterior significa que hubo aproximadamente 30 % mayor cantidad de espigas y número de granos m<sup>-2</sup> en los tratamientos que recibieron el regulador de crecimiento. Lo anterior necesariamente influyó para obtener una mayor de grano por efecto de la aplicación del AIB, como se explica más adelante.

**Altura de planta.** La mayor altura de planta, en promedio, se obtuvo en el T3 (86.6 cm), donde se aplicó el AIB a los 55 DDE; sin embargo, ésta fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) al desarrollo que tuvieron las plantas en T2 y T4, donde también se aplicó el regulador de crecimiento. La altura de planta en estos tratamientos fue entre 1.5 y 6.5 % mayor ( $p \leq 0.05$ ), respecto al que se obtuvo en el tratamiento testigo (T1). Lo anterior evidencia que hubo un efecto del AIB en este parámetro por efecto de

la aplicación del AIB, que puede estar directamente relacionado con la producción de paja y biomasa aérea, como se explicará más adelante.

**Rendimiento de grano.** Los resultados de este parámetro se presentan en la Figura 3, donde se muestran los valores de producción de grano de las tres maneras en que se calculó: muestreo puntual, muestras compuestas y con cosechadora combinada.

Se observó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos y la producción de trigo fue entre 5 y 10 % mayor en los tratamientos donde se aplicó el AIB.



**Figura 3. Estimación de rendimiento de grano de trigo variedad Cortázar por tres métodos distintos. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.**

La estimación del rendimiento que se obtuvo a través de muestras puntuales y compuestas presentó un grado mediano de asociación ( $r=0.76$ ). En esta comparación, T1 y T4 con dos aplicaciones de AIB fueron estadísticamente iguales. Aunque T2 y T3 tuvieron la mayor producción de grano, en la evaluación puntual T2 fue mayor a T3 y en la evaluación compuesta ocurrió lo contrario. Esto se debió, sin duda alguna, a efectos aleatorios del muestreo. Lo realmente importante es que desde el punto de vista estadístico ambos tratamientos fueron

semejantes ( $p \leq 0.05$ ) y significativamente mayores que T1. El margen de ganancia en T2 y T3, por efecto de la aplicación de AIB fue de alrededor de 0.6 t ha<sup>-1</sup>, respecto a T1, es decir, 13 % más producción de grano.

**Peso de paja.** Éste fue significativamente mayor ( $p \leq 0.05$ ) en los tratamientos donde se aplicó AIB. T3 produjo hasta 1.5 t ha<sup>-1</sup> más que T1 y fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) a la producción que se obtuvo en T2 y T4. Este comportamiento fue igual para las variables rendimiento de grano y la biomasa aérea, donde T3 tuvo una producción de 13 y 16 % mayor, respectivamente en comparación con el testigo. El índice de cosecha fue de 0.35 en promedio.

**Peso de 200 granos.** Los granos con mayor peso correspondieron a T2, T3 y T4, a los cuales les fue aplicado el AIB, registrando alrededor de 11 g de peso en promedio. Estos tratamientos tuvieron un peso de 0.5 g más, en promedio, respecto a T1, sin aplicación del AIB. Esta diferencia fue significativa ( $p \leq 0.05$ ).

#### 5.4. Evaluación del contenido de N-P-K en planta

El T1 mostró la mayor acumulación de N en el follaje, con 2.84 %, y fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) a lo que se estimó en T3 y T4 (Cuadro 10). No obstante, con la aplicación de AIB a los 28 DDE (T2) mostró la menor concentración de este elemento ( $p \leq 0.05$ ). La concentración de P y K en las hojas fue semejante ( $p \leq 0.05$ ) en todos los tratamientos, por lo cual no se puede atribuir que la aplicación de AIB en el cultivo del trigo, influya en la concentración de estos elementos.

**Cuadro 10. Concentración de N, P y K en la hoja bandera del cultivo de trigo, variedad Cortázar. Ciclo O/I 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.**

Elemento	T1	T2	T3	T4	Media	C.V.
N	2.84 a	2.00 b	2.27 ba	2.36 ba	2.36	11.9
P	0.23 a	0.23 a	0.20 a	0.22 a	0.21	16.5
K	2.47 a	2.43 a	2.41 a	2.30 a	2.40	6.5

Letras iguales dentro de columnas indican semejanza estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## 5.5. Evaluación de calidad de grano

El peso hectolítrico se define como el peso de grano (unidad de masa) en un volumen determinado. Es un parámetro que mide tanto la calidad física del grano como la calidad harinera. En los tratamientos evaluados éste fue ligeramente mayor donde se aplicó el AIB. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996, sobre calidad de productos alimenticios no industrializados en trigo, establece como parámetro de referencia dentro de las especificaciones físicas para calidad de grano del trigo, un valor de 0.76 de peso hectolítrico para calificar la mejor calidad de grano. Este valor se alcanzó en T3 con aplicación de AIB a los 55 días DDE (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia estadística de parámetros de calidad de grano en tratamientos con AIB en el cultivo de trigo, variedad Cortazar. Ciclo O/ 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.**

Variable	T1	T2	T3	T4	Media	CV
Peso Hectolítrico kg·hl <sup>-1</sup>	74.6 a	75.4 a	76.0 a	75.0 a	75.2	0.86
Dureza %	61.0 a	63.0 a	63.7 a	64.7 a	63.1	3.1
Sedimentación ml	18.0 a	16.3 a	14.3 a	15.7 a	16.1	10.5
Proteína en Grano %	10.7 a	10.6 a	10.4 a	10.7 a	10.6	5.3
Proteína en Harina %	8.4 a	7.7 a	7.4 a	7.5 a	7.7	6.2
Volumen de pan ml	690 a	678 a	677 a	692 a	684.1	7.8
Fuerza de gluten W x 10 <sup>-4</sup> J	65.3 a	57.3 a	84.3 a	79.7 a	71.6	0.6
Índice de equilibrio P/G	3.9 a	3.8 a	3.8 a	3.8 a	3.8	0.4
Relación Tenacidad/Extensibilidad T/L	1.5 a	1.4 a	1.3 a	1.2 a	1.3	33.7
Calificación de gluten	D-B	D-T	D-B	D-B		

Letras iguales dentro de columnas indican semejanza estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

La dureza de grano no mostró diferencias significativas desde el punto de vista estadístico ( $p \leq 0.05$ ). De acuerdo a los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos, que van de 61 % a 64.7 %, el grano de trigo de la variedad Cortazar

es suave, lo que concuerda con la descripción ya realizada anteriormente (Solís *et al.*, 1996).

Referente al índice de sedimentación, prueba que se basa en la capacidad de hidratación de la harina en un ácido débil, los resultados obtenidos y que están en el rango de 14.3 ml (T3) a 18 ml (T1) muestran, de acuerdo a los parámetros generales de este índice que es catalogado como de gluten débil, apto para la industria galletera. Estas características se encuentran relacionadas a su vez con la calidad de panificación. Estos resultados, por lo tanto, son características más propias de la variedad, que de los tratamientos con AIB.

Las variables de cantidad de proteína en grano, harina, fuerza de gluten (W), punto de equilibrio (P/G), relación tenacidad extensibilidad (T/L) y volumen de pan (Cuadro 11), indican y refuerzan la calidad harinera de la variedad Cortazar. En el valor de fuerza del gluten, representado por W, los valores obtenidos están en el rango de 57.3 (T2) a 84.3 (T3) siendo  $< 200 \times 10^{-4}$  Joules (AACC, 1999), indicando que es de gluten débil. Cabe destacar que la fuerza de gluten (W) fue 20 % y 30 % mayor en T4 y T3, respectivamente, comparado con el tratamiento testigo (T1). Estos resultados refuerzan el mejor comportamiento que tuvo T3 en la evaluación física de peso hectolítrico.

El valor de equilibrio P/G para T2, T3 y T4 es de 3.8 y para T1 de 3.9 no mostrando diferencia significativa y clasificando a la variedad Cortázar como una harina extensible (AACC, 1999). Tomando en cuenta estos dos resultados, fuerza del gluten (W) y punto de equilibrio (P/G), la harina de la variedad Cortazar es apta para la elaboración de galletas.

Los valores de volumen de pan que se obtuvieron en el presente ensayo fluctuaron en promedio entre de 680 y 690 ml, lo que corresponde a una calificación regular.

El parámetro T/L indica el índice de Tenacidad/Extensibilidad en la harina y es medido con el Extensógrafo de Brabender. Altos valores de tenacidad en el trigo indican baja aptitud para la panificación. Los valores obtenidos en el presente estudio van de 1.2 a 1.5. La norma indica que valores mayores a 1.2 corresponde a una clasificación como tenaz (NMX-FF-036-1996).



## VII. DISCUSIÓN

### Desarrollo del cultivo

El desarrollo del cultivo, de acuerdo a las condiciones meteorológicas que imperaron durante el ciclo agrícola, fue satisfactorio. La disponibilidad de agua para las plantas fue adecuada a lo largo del ciclo de cultivo, con excepción de febrero, cuando se registró una precipitación que sumó más de 110 mm en sólo dos aguaceros, lo que ocasionó exceso de agua para el cultivo, algo inusual para las condiciones de invierno que imperan en el Bajío. Es probable que lo anterior haya influido en el desarrollo de la enfermedad conocida como roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*), aunado con las temperaturas mínimas extremas, cercanas a 0 °C, que se registraron durante los meses de enero y febrero (ver Figura 2). La incidencia de esta enfermedad es el problema principal de las siembras comerciales del trigo harinero durante el ciclo otoño-invierno (Solís *et al.* 2007), y en especial fue un problema grave en la producción de trigo en el Bajío durante el año 2010. Stubbs (1988) menciona que el hongo causante de la roya lineal es un patógeno asociado a bajas temperaturas, por lo que se vuelve un problema importante en zonas de clima fresco y húmedo. Condiciones que imperaron durante el ciclo otoño-invierno 2009-2010 en el estado de Guanajuato, cuando se efectuó este experimento. El suelo del tipo vertisol, donde se desarrolló el ensayo, contiene más de 60 % de arcilla, lo cual indica que tiene alta capacidad para retener humedad, lo que puede favorecer la proliferación de enfermedades fúngicas en cultivos susceptibles o ciertas condiciones dadas, cuando hay lluvias excesivas, riegos en abundancia o cuando hay malas condiciones de drenaje en las parcelas de cultivo. En el Bajío, para la producción de trigo de invierno se utilizan regularmente 4 riegos a lo largo del ciclo de cultivo, los cuales se efectúan a los 0, 45, 75 y 100 después de la siembra (Solís *et al.*, 2007b): el primero para la germinación, el segundo entre la etapa de fin de amacollamiento y principios del encañe, el tercero en la etapa de floración y el último en la etapa de grano lechosos-masoso. Para el presente experimento éstos se efectuaron a los 0, 48,

78 y 102 después de la siembra, lo cual fue muy aproximado a dicha recomendación.

Las condiciones de exceso de humedad y bajas temperaturas en el cultivo ocurrieron cuando la planta se encontraba en la etapa fenológica denominada: “estado de bota”, según la escala de Zadoks *et al.* (1974). Es decir, en el momento en que ocurría la elongación de entrenudos; sin embargo, la enfermedad se manifestó de manera evidente durante la etapa de llenado de grano, de acuerdo con la escala de Zadoks. Aunque la enfermedad se controló totalmente con la aplicación de Folicur, fungicida sistémico cuyo ingrediente activo es el tebuconazol, se estima que hubo un abatimiento en la producción de grano de alrededor de 30 %. A pesar de ello todos los tratamientos estuvieron expuestos a las mismas condiciones, por lo cual no fue necesario considerar este efecto como un co-factor en los análisis estadísticos de los resultados.

### **Evaluación de materia seca a la floración**

El efecto de la aplicación del AIB en la producción de materia seca en la etapa fenológica conocida como espigamiento, según la escala de Zadoks *et al.* (1974), no mostró diferencias estadísticas significativas ( $\leq 0.05$ ) entre las diferentes dosis de aplicación del AIB al momento que se efectuó esta evaluación. Sin embargo, se observó que el tratamiento T4, con dos aplicaciones de AIB, tuvo una mayor tendencia en la producción de materia seca, 1 t ha<sup>-1</sup> más respecto a los demás tratamientos, lo que equivalió al 7 % de mayor rendimiento. Estos resultados coinciden con lo reportado por Báez-Pérez (2009) en un estudio semejante realizado en invernadero. El autor reportó que con la aplicación de 9 g·ha<sup>-1</sup> de AIB en plantas de trigo en macetas, se obtuvo 25 % mayor producción de biomasa a la floración, respecto al tratamiento donde no se aplicó el regulador de crecimiento, mientras que una dosis de hasta 22.5 g ha<sup>-1</sup> de AIB en trigo, promovió en 9 % mayor producción de materia seca, respecto al tratamiento donde se aplicaron sólo 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB. Al respecto Báez-Pérez (2009) reportó que encontró una relación muy estrecha ( $r^2=0.83$ ) entre el volumen de raíz y el peso seco de planta

en evaluaciones que efectuó en plantas de trigo con aplicación de AIB en dosis crecientes del regulador de crecimiento que fueron de 0, 9, 13.5, 18 y 22.5 g ha<sup>-1</sup>, y en mediciones que efectuó a los 27, 40 y 53 DDS. Se sabe que la proliferación de raíces adventicias en las plantas es promovida por la acción de auxinas como el ácido indol-3-acético y AIB (Woodward y Bartel, 2005).

Se ha determinado que AIB es un compuesto endógeno en una gran variedad de especies de plantas (Ludwig-Müller, 2000). Este autor menciona que cuando se aplica de manera exógena, éste tiene diferentes efectos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas, pero el compuesto se utiliza principalmente para la inducción de raíces adventicias. El mayor enraizamiento que promueve este regulador de crecimiento se atribuye principalmente a tres factores: su capacidad de inducir el movimiento del AIA desde el epicótilo hacia el hipocótilo (Teale *et al.*, 2006), su transformación lenta y continua en AIA (Bartel *et al.*, 2001; Ludwig-Müller, 2000) y su mayor estabilidad química (Norström *et al.*, 1991).

Con base en lo expuesto anteriormente, se esperaría que con la aplicación del AIB de manera exógena, se tuviera un mayor efecto en la producción de materia seca en etapas iniciales del crecimiento de las plántulas. Según Báez-Pérez *et al.* (2009), la respuesta de las plantas de trigo a la aplicación del AIB en etapas iniciales, después de etapa de germinación, puede observarse hasta alrededor de 50 DDE, con un peso de raíz de hasta 45 % mayor respecto al tratamiento control, sin aplicación del AIB, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio. El efecto que este regulador de crecimiento tiene en proliferación de raíces está ampliamente documentada (Flores-Ortiz *et al.*, 2009; Ruíz *et al.*, 2005). Sin embargo no hay información en cuanto al efecto que tiene el AIB en la producción comercial de trigo.

### **Evaluación del contenido de N-P-K en planta**

No hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos por efecto la aplicación del AIB en la evaluación de acumulación de N, P y K en las plantas.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Báez-Pérez (2009) para un estudio semejante que se efectuó en trigo en el Bajío un año anterior al que se presenta en este trabajo. El autor menciona que tampoco se observaron diferencias estadísticas en la acumulación de estos elementos en la raíz. Se destaca que a medida que el cultivo de trigo va creciendo, la biomasa aérea aumenta, pero la concentración de estos elementos disminuye. Es decir, que ocurre un efecto de dilución. El N, P y K pasan a formar parte de las estructuras, sustancias proteicas y producción de azúcares (Salisbury y Ross, 1996), por lo cual la respuesta en la traslocación de estos elementos en la planta puede traducirse en mayor producción de biomasa, punto que ya se explicó anteriormente, y en la mayor producción de grano, cómo se discutirá más adelante. La absorción de nutrientes en las plantas por efecto de la aplicación de AIB está relacionada principalmente con la mayor capacidad de exploración que tiene el cultivo por la proliferación de raíces adventicias (Ludwig-Müller, 2000). Bernal-Azofeifa (2009) y Esteban-Soto (2006) mencionan que el AIB promueve el desarrollo radicular en plantas de propagación asexual, debido a que esta hormona de crecimiento estimula la formación de largas estructuras celulares que les permiten absorber agua y nutrientes. Algo semejante debe ocurrir en gramíneas, aunque no hay estudios específicos en trigo al respecto. Sin embargo, en varios estudios (Báez-Pérez, 2012) se reporta el contenido de azúcares en las plantas como una variable para evaluar el efecto de dicho regulador de crecimiento. La concentración de azúcares podría estar relacionada con la absorción y disponibilidad de estos elementos. Algunos autores como Ruíz *et al.* (2005) y Esteban-Soto (2006) mencionan que no encontraron diferencias en la concentración de azúcares en sus estudios en plantas la aplicación exógena del AIB.

### **Evaluación de rendimiento de grano**

La producción de grano fue de 5 a 10% mayor en los tratamientos donde se aplicó el AIB, con respecto al tratamiento sin la aplicación del regulador de crecimiento. Después de efectuar la cosecha real mediante los implementos agrícolas

comúnmente utilizados en una agricultura mecanizada, estos resultados mostraron una ligera discrepancia con los obtenidos con los primeros dos métodos (muestras aleatorias y muestras puntuales), debido a una serie de factores que a se explican continuación:

1. Por el acame de una pequeña porción de tallos de trigo al final del ciclo de cultivo. Las muestras que se colectaron en el campo, durante el muestreo puntual y compuesto, se consideraron áreas donde todos los tallos se mostraban erectos. La cosecha mecanizada discrimina este factor y las espigas con tallos acamados, el grano contenido en ellas, no lograron ingresar a la máquina combinada. No se cuantificó el grado de acame, pero se estima que fue entre 5 y 10 %. Todos los tratamientos estuvieron en las mismas condiciones.
2. Por la eficiencia de la cosechadora. Todas las cosechadoras mecánicas tienen un grado de eficiencia. La combinada que efectuó el trabajo de cosecha se encontraba, aparentemente, en buenas condiciones. El máximo grado de eficiencia que tiene esta maquinaria es de 95%.
3. Por la incidencia de rolla lineal amarilla. Las condiciones climáticas que se presentaron durante el ciclo de cultivo, favorecieron la incidencia de esta enfermedad que se presentó a nivel estatal, aun en variedades que estaban consideradas como resistentes, tal es el caso de Maya y Urbina. Aunque este problema se controló lo más oportunamente posible en el ensayo, mediante la aplicación de Folicur, hubo cierto grado de incidencia que afectó el rendimiento de grano. Se esperaba un rendimiento potencial de entre 7 y 8 t ha<sup>-1</sup>. El especialista en trigo determinó cualitativamente una incidencia de la enfermedad de hasta 30 %. Lo anterior ocasionó que una pequeña porción de granos estuvieran vanos. Cabe mencionar que no se determinó la proporción de granos vanos entre tratamientos. La cosechadora mecánica está diseñada para eliminar el grano vano durante

el proceso de recolección. Todos los tratamientos estuvieron en las mismas condiciones

El aumento en la producción de grano de trigo por efecto del AIB fue de hasta 10%. Éste podría considerarse como pequeño; sin embargo, fue significativamente mayor ( $p \leq 0.05$ ) respecto a T1, sin la aplicación del regulador de crecimiento. Los tratamientos T2 y T3 con los mayores rendimientos de grano, tuvieron 600 y 400 kg ha<sup>-1</sup> más producción, respectivamente, comparados con T1. En general, se esperaba una mayor producción de trigo; sin embargo, debido a factores externos que se han explicado anteriormente, no ocurrió así. La aplicación exógena de AIB mostró un comportamiento semejante en la producción de grano ( $p \leq 0.05$ ) entre T2, T3 y T4, lo que sugiere que tanto la época de aplicación, como la conjunción de una mayor dosis de AIB distribuida en dos etapas distintas del crecimiento del cultivo, que se empleó en T4, tuvieron un mismo efecto en el rendimiento de grano. Lo anterior, de acuerdo con la escala de Zadocks *et al.* (1964), quiere decir que el efecto de la aplicación exógena del regulador de crecimiento es indistinta si se hace entre las etapas de amacollamiento y estado de “bota”. Sin embargo, considerando que uno de los objetivos de aplicar auxinas es promover la emisión de raíces laterales y un sistema radical más eficiente en las plantas, es mejor aplicar el AIB en la etapa más temprana.

Se observó que en los tratamientos con aplicación del AIB emitieron en promedio 2 tallos más por planta respecto a T1 (testigo). Lo anterior explica la mayor producción de grano en esos tratamientos. La aplicación exógena de AIB podría incidir en la emisión de tallos por planta y por lo tanto en la emisión de espigas e indirectamente en la producción de grano. Estos resultados coinciden con lo reportado por Báez-Pérez (2009) para rendimiento de trigo, quien obtuvo resultados semejantes en un estudio que se efectuó en invernadero. No se encontraron más estudios al respecto en publicaciones científicas; sin embargo, la producción de grano parece estar más relacionada con la nutrición de las plantas y emisión de tallos, y por tanto, la producción y calidad de grano depende más de

estos factores que de la aplicación del AIB. Es evidente que la inducción del regulador de crecimiento en la proliferación de raíces laterales puede influir en una mayor eficiencia en la nutrición de la planta, al dotar con una mayor capacidad de exploración el sistema radical del cultivo. Lo anterior ha sido más investigado en otras gramíneas como maíz (Fitze *et al.*, 2005).

La producción promedio de trigo para el estado de Guanajuato en 2010, que fue cuando se llevó a cabo el presente estudio, fue de 5.9 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2010). La mejor producción que se obtuvo en este estudio fue de 5.2 t ha<sup>-1</sup>, con aplicación exógena de AIB y que corresponde al tratamiento T2. Se estima que hubo una pérdida de alrededor de 30 % de la producción por la susceptibilidad que tuvo la variedad *Cortazar* a la incidencia de la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*) durante 2010. A pesar de ello, se obtuvo un rendimiento de grano cercano a al promedio estatal para ese año, en condiciones de riego.

### **Estudio de calidad de grano**

Con base en los resultados obtenidos en la evaluación de calidad de grano, se observó que el efecto de la aplicación exógena del AIB para este propósito es indirecto. Es decir, que depende de la influencia del regulador de crecimiento en la emisión de raíces laterales y con ello, aumentar el sistema radical de la planta y la producción de biomasa para su eficiencia en la nutrición. La calidad de grano en trigo, como en otras gramíneas, está en función de las características de la variedad, de la adecuada nutrición del cultivo, la disponibilidad de agua y nutrimentos y las condiciones ambientales. En este estudio, se observa que la estimulación del AIB en la emisión de tallos puede ser un factor importante para aumentar el rendimiento, como se explicó anteriormente. Los abundantes estudios del AIB que se encuentran en gran diversidad de publicaciones van encaminados a explicar procesos fisiológicos y de biología molecular durante la germinación de semillas, enraizamiento de estacas y hasta efecto en la simbiosis micorriza-planta. Sin embargo, no se encontraron estudios referentes al efecto de la aplicación exógena del AIB en la calidad en la producción de gramíneas u hortalizas. Desde

luego, como ya se ha explicado, hay un beneficio indirecto en la calidad de grano que es proporcionado, por una parte, a un sistema radical más eficiente, y por la otra la mayor producción de biomasa que puede implicar una mayor cobertura vegetal y así, una mayor tasa fotosintética. Lo anterior necesariamente influye en la calidad de grano.

El peso hectolitrico, que es un parámetro que indica la densidad y el grado de llenado del grano (Peña-Bautista, 2006), es característico de la variedad, por el tipo de gluten fuerte o suave. Sin embargo, depende también de manera importante de la nutrición del cultivo, de la adecuada disponibilidad de agua y la sanidad de la planta.

El contenido de proteína en grano es un parámetro que depende de manera primaria de la nutrición del cultivo, en especial de la disponibilidad del nitrógeno. En este caso, el efecto del AIB puede ser importante. Sin embargo, en los resultados no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los trigos de gluten fuerte, por naturaleza contienen niveles más altos de proteína que los trigos de gluten suave (Solís *et al.*, 2008b). En estos últimos se califica, si contienen entre 9 y 10 % de proteína, que tienen un nivel alto. Los resultados mostraron en este trabajo que el contenido de proteína en grano fue hasta cerca de 11 %, lo cual se puede considerar como muy alto. Por otra parte, el mismo autor menciona que el contenido de proteína generalmente se relaciona de manera inversa con el rendimiento. Sin embargo, lo anterior depende mucho de la disponibilidad de nitrógeno en etapas de desarrollo vegetativo del trigo, donde la aplicación exógena del AIB puede influir en el fortalecimiento del sistema radical, la producción de biomasa, y por lo tanto, en la producción y calidad de grano.

Otras características como dureza del grano, sedimentación y extensibilidad, son características inherentes al tipo de trigo y a la variedad en específico. Sin embargo, la aplicación exógena del AIB podría influir en la calidad de la proteína del trigo, inducida por una buena nutrición del cultivo. La calidad de la proteína



está determinada por la composición de las gliadinas y gluteninas que forman el gluten (Gianibelli *et al.*, 2002); cada una de estas fracciones confieren al gluten características particulares. Mientras las gluteninas le proporcionan al gluten las propiedades elásticas, las gliadinas son las responsables de su extensibilidad y cohesividad (Hosseney, 1991; Quaglia, 1991). En particular, las gluteninas de alto peso molecular permiten seleccionar los trigos de acuerdo con su tipo de gluten y aptitud para la elaboración de diferentes productos.

## VII. CONCLUSIONES

- El aumento en la producción de grano de trigo por efecto del AIB fue positivo, hasta 10 % ( $p \leq 0.05$ ) respecto a T1. Es decir, que el mejor rendimiento de grano con la aplicación exógena del regulador de crecimiento, fue de hasta  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  más de producción, respecto de T1.
- El incremento en el rendimiento de trigo por efecto de la aplicación del AIB se explica por la mayor emisión de tallos por planta.
- La aplicación del AIB, en los tratamientos T2, T3 y T4, indica la mejor calidad física del grano, comparado con el testigo T1, en cuanto a peso hectolítrico, aunque no de manera significativa.
- La aplicación del AIB a la planta, sugiere que esta influye de manera indirecta en la calidad del grano a través de la nutrición de la planta, al estimular raíces laterales y la producción de biomasa
- La calidad del grano de trigo resultó propia para la panificación manual o artesanal, la elaboración de galletas, tortillas, buñuelos y como corrector de trigos con gluten fuerte.
- La aplicación de AIB al cultivo de trigo no influyó en la calidad harinera de la variedad de trigo en estudio.
- La variedad Cortazar es un trigo suave con gluten débil, extensible y es apto para la industria galletera. Clasificado, de acuerdo a la Norma Oficial NMX-FF-036-1996 en el Grupo 3 (trigos suaves de gluten débil) caracterizados por poseer características de fuerza y propiedades viscoelásticas aptas para la industria galletera y para la elaboración de otros productos.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- American Association Cereal Chemists. 1999. Approved Method of the AACC. Cereal Laboratory Methods. AACC. Ed. St. Paul Minn, USA.
- Bartel, B.S., S. LeClare, M. Maguiding, and B.K. Zolman. 2001. Inputs to the active indole-3-acetic acid pool: *de novo* synthesis, conjugate hydrolysis, and indole-3-butiric acid  $\beta$ -oxidation. J. Plant Growth Reg. 20:198-216.
- Bartel, B. S., LeClere, S.; Magidin, M. and Zolman, B. 2005. Inputs to the active indole-3-acetic acid pool: *de novo* synthesis, conjugate hydrolysis, and indole-3- butiyric acid  $\beta$  oxidation. J. Plant Growth Reg. 20:198-216.
- Báez-Pérez, A. 2009. Evaluación del enraizador RADIX 35+% TB en trigo (*Triticum aestivum* L.) con riego por goteo. Informe de evaluación de estudio biológico. INIFAP-Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato.
- Báez-Pérez, A., Solís M., E.; Loza P., A, Bahena J., F., Huerta M., E. y Arreola T., J.M. 2012. Comportamiento de variedades de trigo bajo labranza de conservación en el Valle de Morelia-Queréndaro. INIFAP-CEBAJ. Folleto Técnico 4. 37 p
- Benítez-Riquelme, I. 2000. Recombinación genética y selección en trigo. En: El trigo de temporal en México (Villaseñor-Mir, H.E y Espitia-Rangel, E. eds.) pp. 123-150
- Benjamins, R. and Scheres, B. 2008. Auxin: The looping star in plant development. Annu. Rev. Plant Biol. 59:443-465.
- Bernal-Azofeifa, J., A. Rojas y A. Hine. 2009. Optimización del proceso de enraizamiento y climatización de vitroplantas de *Swietenia macrophylla* King (Orden: Meliaceae). Tecnología en Marcha 22:34-41.
- Bouyoucos, G. J. 1962. "Hidrometer method improved for makig particle size analysis of soil". Agron J. 54:464-465.
- Camargo, B. I.; Bernal, J. y Montero, G. 2006. Evaluación de la eficiencia biológica del enraizador Radix 35% AIB (ácido indol-3-butírico), para inducción de la formación de raíces en el cultivo de arroz. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 8 p.

- Campanella J.J.; AF Olajide, V Magnus, J Ludwig-Müller, J. 2004. A novel auxin conjugate hydrolase from wheat with substrate specificity for longer side-chain auxin amide conjugates. *Plant Physiology* 135: 2230–2240.
- Casta, P. 2008. Resultados de calidad de nuevas variedades de trigo (folleto): campañas 2006-2007 y 2007-2008. Valladolid. ITACyL. 43p
- Davies, P.J. 1995. *Physiology, biochemistry and molecular biology. Plant hormones*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 1995.
- Davies, P.J. 2004. The plant hormones: their nature, occurrence and functions. In: *Plant Hormones, Biosynthesis, Signal Transduction, Action*. P J Davies (ed). Kluwer Acad. Pub. Netherlands p 5-6.
- De la O, O., M; Espítia R., E.; López S., H.; Villaseñor M., H.E.; Peña B., R.J. y Herrera H., J. 2012. Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 3 Núm. 2 p 271-283.
- De la Vega, R.G. 2009. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*. Vol. 13 Núm. 38 pp 27-32
- Devlin, M.R. 1980. *Fisiología Vegetal*. Barcelona, España. Omega. 412 p.
- Enríquez del Valle, J.R.; G. Carrillo-Castañeda, P. Sánchez-García<sup>3</sup>, Ma. de las N. Rodríguez-Mendoza y Ma. del C. Mendoza-Castillo. 2001. Efectos de los ácidos acetilsalicílico e indolbutírico en el enraizamiento *in vitro* y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Fitotec. Mex.* 24:71-78.
- Espítia R. E.; Peña B. R.; Villaseñor M. E.; Huerta E. J. y Limón O. A. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I Comparación de variedades y causas de variación. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 26:4 p 249-256
- Esteban-Soto, L. 2006. Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Benjamina ficus* L. en diferentes épocas del año. *Revista Ra Ximhai Universidad Autónoma Indígena de México* 2:795-814.
- Fernández, G; Johnsto, M. 1986. *Fisiología vegetal experimental*. San José, Costa Rica. IICA.

- Fitze, D., A. Wiepning, M. Kaldorf, J. Ludwig-Müller. 2005. Auxins in the development of an arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize. *J. Plant Physiology* 162:1210-1219.
- Flores-Ortiz, M.C., A. Cabañas-Cabrera, I. Peñaloza-Castro, R.E. Quintanar-Zuñiga, J. Vazquez-Medrano y M.A. Urzúa-Meza. 2009 Auxinas endógenas, AIA-oxidasa y enraizamiento en *Vigna radiata* L. Wilczek inducido por auxina exógena libre y conjugada. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 32:61-66.
- Friml J. 2003. Auxin transport-shaping the plant. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6:7-12.
- Gaines, C.S.; Finney, P.L. and Andrews, C. 1997. Influence of kernel size and shriveling on soft wheat milling and baking quality. *Cereal Chemistry*. 74(6):700-704
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. 243 p
- Gaspar T, M Hofinger. 1988. Auxin metabolism during adventitious rooting. *Adv. Plant Sci. Series* 2:117-131.
- Grageda-Cabrera, O.A., T. Medina-Cázares, J.L. Aguilar-Acuña, M. Hernández-Martínez, E Solís-Moya, G.A. Aguado-Santacruz y J.J. Peña-Cabriales. 2004. Pérdidas de nitrógeno por emisión de N<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. *Agrociencia* 38:625-633.
- Gianibelli, M. R., Larroque, O. R.; McRitchie, F. and Wrigley, W. 2002. Biochemical, genetics and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chem.* 28:1-120.
- Halverson, J. and Zeleny, L. 1988. Criteria of wheat quality. In: Pomeranz, Y. (ed) *Wheat chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN. 15-24 p.
- Hoseney, R.C. 1991. *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Huerta-Espino, J., H.E. Villaseñor-Mir1, E. Solís-Moya, R. Sánchez-de la Cruz y P. Pérez-Herrera. Monarca F2007: nueva variedad de trigo harinero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1001-1007.

- IICA, CR. 1987. Memoria: curso de tejido vegetal (2, 1987, Turrialba, Costa Rica). Turrialba, Costa Rica. 124 p.
- Intercontinent.al Import Export, MX. 2006. Ácido indol-butírico y ácido indolacético avances en el conocimiento de la bio-síntesis, regulación accional e interacción de las auxinas. México, Intercontinental. 17 p.
- Intercontinental Import Export. 2010. Ficha técnica de RADIX® 35+% TB. Ácido indol butirico 35% tabletas solubles en agua regulador de crecimiento vegetal. pp. 3. [http://www.interie.net/f\\_tecnicas/radix35tb.pdf](http://www.interie.net/f_tecnicas/radix35tb.pdf).
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. 3a ed. Trad. Al español por José Beltrán Martínez. Omega. Barcelona, España.
- Jordán, M. y Casaretto, J. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: auxinas, giberelinas y citicininas. Fisiología vegetal. Ediciones Universidad de la Serna, Chile. pp. 9-25.
- Kent, N.L. 1987. Tecnología de los cereales. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Ludwig-Müller J. 2000. Indole-3-butyric acid in plant growth and development. *Plant Growth Regulation* 32:219–230.
- Ludwig-Müller J, A Vertocnik, C. D Town. 2005. Analysis of indole-3-butyric acid induced adventitious root formation on Arabidopsis stem segments. *J. Exp. Bot.* 56:2095-2105.
- Lucas-Carrillo, E.A. 1997. Auxinas (en línea). España. Consultado 30 agosto 2012. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos10/auxinas/auxinas.shtml>
- McDonald M.S. 2003. Adventitious root formation in woody tissue: peroxidase a predictive marker of root in *Betula pendula*. *In vitro Cell. Develop. Biol.* 39:234-236.
- Metaxas D J, T D Syros, T Yupsanis, A S Economou. 2004. Peroxidases during adventitious rooting in cuttings of *Arbutus unedo* and *Taxus baccata* as affected by plant genotype and growth regulator treatment. *Plant Growth Reg.* 44:257-266.
- Moya Varas, M.P. 2003. Evaluación del producto Acti-Root en la actividad radicular de plántulas de Nemaguard (en línea). Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. Consultado 3 mayo 2007.

- Nag S, K Saha, M A Choudhuri. 2001. Role of auxin and polyamines in adventitious root formation in relation to changes in compounds involved in rooting. *J. Plant Growth Reg.* 20:182-194.
- Nordström A C, F Alvarado, L Eliasson. 1991. Effect of exogenous indole-3-acetic acid and indole-3-butyric acid on internal levels of the respective auxins and their conjugation with aspartic acid during adventitious root formation in pea cuttings. *Plant Physiol.* 96:856-861.
- Norma Oficial Mexicana. NMX-FF-036-1996. 1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* desf.). Especificaciones y métodos de prueba. Non industrialized food products. Cereal. Wheat. (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* desf.). specifications and test methods. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- OEIDERUS: Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. 2010. Estudio estadístico-documental sobre variedades, grupos y calidad del trigo del Valle de Mexicali. Gobierno de Baja California
- Peña-Bautista, R.J. 2006. Calidad de trigo. En: Primer Foro de Producción y Comercialización de Trigo en México. Editores: Ríos-Ruíz S.A., Soilís-Moya, E. Hernández-Martínez M. Salamanca, Guanajuato. pp. 168-175.
- Pomeranz, Y. 1988. *Wheat chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN.
- Quaglia, G. 1991. *Ciencia y tecnología de la panificación*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 485.
- RADIX, 2010. Regulador de crecimiento vegetal para incrementar la calidad y cantidad de las cosechas. Uso y aplicación en el cultivo de trigo. Desplegable publicado por la empresa Intercontinental Import Export S.A. de C.V.
- Ray, P.M. 1964. *La planta viviente*. Trad. por Antonio Marino Ambrosio. México, Continental. 272 p.
- Rodríguez, B.R.; Castillo, V.Y. y Prieto C.Y. 2006. *Fisiología Vegetal*. La Habana, Cuba, Universidad de La Habana, Facultad de Biología.

- Rodríguez, V. J. 1992. La importancia del trigo en la producción de alimentos en México. 1ra Conferencia Nacional de Trigo en México. SARH-INIFAP-CIFAP Sonora, Cd Obregón, Son. México. pp: 5-34
- Rojas G., M. y Rovalomerino, M. 1979. Fisiología Vegetal. McGraw-Hill, 2ª. Ed. Monterrey, México. 230 p.
- Ruíz G., R.; J.J. Vargas H., V.M.; Cetina A. y Villegas M., A. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. Rev. Fitotecnia Mexicana 28:319-326.
- Salazar Zazueta, Alfredo. 2000. Calidad industrial del trigo para su comercialización. En: El Trigo de Temporal en México. Libro técnico No. 1. INIFAP, México. 289-313 p.
- Sanfuentes J., H.S. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 420 p.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1996. Fisiología Vegetal. Grupo editorial Iberoamericana. México. 759 p.
- Schneider, E.A.; Kazakoff, C.W. y Wightman. 1985. Gas chromatography-mass spectrometry evidence for several endogenous auxins in pea seedling organs. Planta 165:232-241.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agrícola y Pesquera. Gobierno Federal. <http://www.siap.gob.mx>.
- SIAP. 2012. Servicio de Información Agrícola y Pesquera. Gobierno Federal. <http://www.siap.gob.mx>.
- Solís. M., E.; Salazar Z., A. y Narro S., J. 1996. Cortazar S94: Nueva variedad de trigo harinero para El Bajío. Folleto técnico 2. INIFAP-CEBAJ. Celaya, Guanajuato. México.
- Solís M., E.; Salazar Z., A.; Huerta E., J.; Ramírez R., A.; Villaseñor-Mir, H.E. y Espitia R., E. 2003. Bárcenas S2002: Nueva variedad de trigo harinero para El Bajío. Folleto técnico No. 1 INIFAP, CIRCE, CEBAJ Celaya, Guanajuato. México. 24 p.



- Solís M., E., Huerta E., J., Pérez H., P., Ramírez R., A., Villaseñor-Mir H. E. y Espitia R., E. 2007. Urbina S2007: Nueva variedad de trigo harinero para riego en El Bajío. Folleto Técnico No. 2. INIFAP, CIRCE, CEBAJ, Celaya Guanajuato, México. p 24.
- Solís M., E., S. A. Ríos R., H. García N., A. Arévalo V., O. A. Grageda C., M.A. Vuelvas C., J. G. Díaz de León T., J. L. Aguilar A., A. Ramírez R., J. Narro S., R. Bujanos M., A. Marín J. y R. Peña M. 2007b. Producción de trigo de riego en el Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato., México. (Folleto Técnico no. 3). pp: 28-29.
- Solís M., E.; Huerta E., J.; Pérez H., P.; Ramírez R., A.; Villaseñor-Mir H., E.; Espitia R., E. 2008. Maya S2007 nueva variedad de trigo para riego en El Bajío. Folleto Técnico No. 3. INIFAP, CIRCE, CEBAJ, Celaya Guanajuato, México. 24 p.
- Solís, M.E., J. Huerta-Espino, P. Pérez-Herrera, A. Ramírez-Ramírez, H.E. Villaseñor. 2008b. Urbina S2007: nueva variedad de trigo harinero para la región el Bajío. Agricultura Técnica en México 113-118.
- Solís M., E.; Huerta E., J.; Villaseñor Mir, H. E.; Pérez H., P; Ramírez R., A.: Rodríguez G., F.; Espinosa T., E. y Santa R., R. H. 2009. Triunfo F2004: Nueva variedad de trigo harinero para zonas de temporal en Guanajuato. Desplegable técnica No. 3 INIFAP, CIRCE, CEBAJ, Celaya Guanajuato, México. p. 10-15.
- Solís M., E.; Huerta E., J.; Villaseñor Mir, H. E.; Pérez H., P; Ramírez R., A. y De la C G., M. L. 2011. Anatoly C2011 Nueva variedad de trigo cristalino para riego en El Bajío y el norte de México. Folleto técnico No. 11. INIFAP, CIRCE, CEBAJ. Celaya, Guanajuato. México. 40 p.
- Stubbs, R.W. 1988. Pathogenecity analysis of yellows (stripe) rust of wheat and its significance in a global context. N.W. Simmonds and S. Rajaram (eds.) Breeding Strategies for Resistance to the Rust of Wheat CIMMYT: México D.F. pp.23-38

- Teale W. D., Paponov I.A. y Palme K. 2006. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* Weigth in *Triticum durum*. *Cereal Chemistry*. 76(1):45-49
- Troccoli, A. and di Fonzo, N. 1999. Relationship between kernel size features and test weigth in *Triticum durum*. In *Cereal Chemistry*. 76 (1):45-49
- Vázquez C., L.C. 2007. Calidad física, química reológica y de panificación del trigo y su harina. Criterios de calidad. En: *Contactos*. Núm. 63. Depto. De Biotecnología, UAM-I. p 31-38.
- Vázquez L., F.; Camacho C., M.A.; Granados N., M.C.; Silva E., B.A. e Islas R., A.R. 2009. Propiedades reológicas y composición protéica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. En: *Biotecnia*. Vol. XI Núm. 2, 29-36 p.
- Villaseñor-Mir, H.E. y Espitia, R.E. 2000. El trigo de temporal en México. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, México. 313 p
- Villaseñor-Mir, H.E.; Huerta E.J.; Solís, M.E.; Espitia, R.E.; Ireta M.J. y Galván L.R. 2012. Norteña F2007, nueva variedad de trigo para siembras de riego en la región norte y El Bajío de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:207-212.
- Weaver, J.R. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Trillas. México, D.F. 622 p
- Woodward, W. A. and Bartel, B. 2005. Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany* 95: 707–735.
- Zadoks, J.C.; Chang, T.T. and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. In *Weed Research* 14:415-421