



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
México

Báez-Pérez, Aurelio; González-Molina, Lucila; Solís Moya, Ernesto; Bautista-Cruz, Angélica; Bernal-Alarcón, Ma. de los Ángeles

Efecto de la aplicación del ácido indol-3-butírico en la producción y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.)

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 6, núm. 3, mayo-junio, 2015, pp. 523-537  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263138088007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Efecto de la aplicación del ácido indol-3-butírico en la producción y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.)\*

### Effect of the application of indole-3-butyric acid in production and quality of wheat (*Triticum estivum* L.)

Aurelio Báez-Pérez<sup>1</sup>, Lucila González-Molina<sup>2§</sup>, Ernesto Solís Moya<sup>1</sup>, Angélica Bautista-Cruz<sup>3</sup> y Ma. de los Ángeles Bernal-Alarcón<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km. 6.5. C. P. 38110. Celaya, Guanajuato. Tel: 61-153-23, Ext. 310. (baez.aurelio@inifap.gob.mx; solis.ernesto@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Textcoco, km13.5, Coatlinchán. C. P. 56250. Textcoco, Estado de México. Tel: 015959212657, ext. 162. <sup>3</sup>CIIDIR IPN Oaxaca. Depto. de Recursos Naturales. Hornos 1003, Sta. Cruz Xoxocotlan. C. P. 71230. Oaxaca, México. Tel: 951 5170400. (angeli73@hotmail.com). <sup>4</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan, km 2.5. San Sebastián Xhala, Cuautitlán de Romero Rubio, Estado de México. C. P. 54714. (angelesbernal13@telmexmail.com). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: gonzalez.lucila@inifap.gob.mx.

## Resumen

El ácido indol-3-butírico (AIB) es un promotor para el crecimiento de las raíces laterales de las plantas, la dosis y época de aplicación son críticas para estimular el enraizamiento. Se establecieron dos ensayos para evaluar el efecto del AIB en la producción y calidad de trigo. El primero en macetas, y se experimentó con cinco dosis crecientes de este regulador de crecimiento: 0, 3, 4.5, 6.0 y 7.5 g ha<sup>-1</sup>. Se evaluaron: el volumen la raíz a los 27, 40 y 53 días después de la emergencia de las plantas (DDE), la acumulación de materia seca y la asimilación de N, P y K. En el experimento de campo se establecieron los siguientes tratamientos: sin aplicación de AIB (T1), con aplicación de 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB a los 28 DDE (T2), con 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB a los 55 días DDE (T3), con 9 g ha<sup>-1</sup> del AIB a los 28 DDE más 9 g ha<sup>-1</sup> los 55 DDE (T4). Se evaluaron: el contenido de N, P y K en la hoja bandera; los componentes de rendimiento y la calidad harinera del grano. En el primer experimento se observó que los tratamientos con aplicación de AIB tuvieron mayor volumen de raíz y peso de raíz y parte aérea; sin embargo, esta tendencia no fue significativa ( $p \leq 0.05$ ), al igual que el contenido de N, P y K. En el peso de grano y peso de 100 granos si hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) por la aplicación del AIB, y éstos fueron 14 y 9% mayores ( $p \leq$

## Abstract

Indole-3-butyric acid (AIB) is growth a promoter of lateral roots from plants, dose and time of application are critical to stimulate rooting. Two trials to evaluate the effect of AIB in the production and quality of wheat were established. The first trial in pots, and evaluated five increasing doses of this growth regulator: 0, 3, 4.5, 6.0 and 7.5 g ha<sup>-1</sup>. Evaluated: root volume at 27, 40 and 53 days after plant emergence (DDE), dry matter accumulation and assimilation of N, P and K. On the second experiment under field conditions was established the following treatments: without application of AIB (T1), with application of 9 g ha<sup>-1</sup> AIB at 28 DDE (T2), with 9 g ha<sup>-1</sup> AIB at 55 days DDE (T3), with 9 g ha<sup>-1</sup> AIB at 28 DDE plus 9 g ha<sup>-1</sup> at 55 DDE (T4). Evaluated: N, P and K content in flag leaf, yield components and grain quality; in the first experiment was observed that treatment with AIB application had greater root volume and root weight and aerial parts; however, this trend was not significant ( $p \leq 0.05$ ), as well as the content of N, P and K. Grain weight and 100 grain weight had significant differences ( $p \leq 0.05$ ) by the application of AIB and these were 14 and 9% higher ( $p \leq 0.05$ ), compared to the control treatment. Field experiment had significant differences by the application of AIB in grain production. T2 with

\* Recibido: agosto de 2014  
Aceptado: enero de 2015

0.05), respecto al tratamiento testigo. En el experimento de campo hubo diferencias significativas por la aplicación del AIB en la producción de grano. T2 con el mayor rendimiento, 5.2 t ha<sup>-1</sup>, fue 13% mayor respecto T1. El peso hectolítrico, parámetro de calidad física de grano, tuvo su mayor valor en T3, con 0.76, que corresponde a la mejor calidad de grano, según a Norma Oficial Mexicana sobre calidad de productos alimenticios no industrializados en trigo.

**Palabras clave:** cereales, manejo de cultivos, regulador de crecimiento.

## Introducción

El desarrollo de las plantas está regulado por dos factores fundamentales: (1) 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 detienen o paralizan el desarrollo de las raíces y la parte aérea de las plantas (Salisbury y Ross, 1996). Entre las fitohormonas más importantes se encuentran las auxinas, las cuales intervienen en la elongación celular (Woodward y Bartel, 2005). Se sintetizan en las regiones meristemáticas de los tallos y se desplazan hacia otras zonas de la planta, principalmente hacia la raíz, 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 se encuentra el AIB, un regulador del crecimiento que promueve y acelera la formación de raíces adventicias en las plantas. Se utiliza frecuentemente para la propagación de esquejes o estacas y acodos. Este tipo de hormonas de crecimiento ha mostrado un efecto positivo en el desarrollo de las plantas al estimular la formación de raíces laterales. 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.

the highest yield, 5.2 t ha<sup>-1</sup> was 13% higher than T1. The hectolitre weight, physical parameter of grain quality, had its highest value in T3, with 0.76, which corresponds to the best grain quality, according to the Official Mexican Standard on quality of non-industrialized food products in wheat.

**Keywords:** cereal, crop management, growth regulator.

## Introduction

The development of plants is regulated by two main factors: (1) plant nutrition through adequate availability of essential nutrients in soil solution or in hydroponic means; and (2) physiologically by natural production of plant hormones that stop or paralyze the development of roots and aerial parts of the plants (Salisbury and Ross, 1996). Among the most important plant hormones are auxins, which are involved in cell elongation (Woodward and Bartel, 2005). Are synthesized in the meristematic regions of stems and move to other areas of the plant, mainly to the root, establishing a concentration gradient (Weaver, 1976).

The most abundant type of auxin in nature is indole-3-acetic acid (IAA), since indole-3-butyric acid (AIB) is found in lesser amounts in plants (Schneider *et al.*, 1985). AIB is among the synthetic hormones, a growth regulator that promotes and accelerates the formation of adventitious roots in plants. It is often used to propagate cuttings and layering. This type of growth hormones has shown a positive effect on plant growth to stimulate lateral root formation. AIB was initially used as a growth promoter of roots for asexual propagation of ornamental plants and fruit. Currently some studies (Intercontinental Import Export, 2010) have shown that AIB provides direct benefits in plant growth that are sown from seed: promotes nutrient absorption, accelerates growth, favors root formation and optimizes metabolic functions.

Application test made at fertigation and foliar level have shown good results in the development of horticultural crops, such as tomatoes (Enríquez del Valle *et al.*, 2001) and basic grains in preliminary trials with AIB. In wheat under greenhouse conditions have shown to favor root and stem development, thus absorption of N, P and K in plant and grain yield (Intercontinental Import Export, 2010).

Pruebas efectuadas en aplicaciones a nivel foliar y de fertirrigación han mostrado buenos resultados en el desarrollo de cultivos hortícolas como el jitomate (Enríquez del Valle *et al.*, 2001) y en granos básicos en ensayos preliminares efectuados con AIB. En el cultivo de trigo, en condiciones de invernadero han mostrado que favorece el desarrollo de la raíz, tallo así como en la absorción de N, P y K en la planta y la producción de grano (Intercontinental Import Export, 2010).

El cultivo de trigo en el estado de Guanajuato ocupa el tercer lugar a nivel nacional, con cerca de 47 775 hectáreas sembradas (SIAP, 2012) y un rendimiento promedio en condiciones de riego de 6 t ha<sup>-1</sup>, lo cual representa cerca de 16 a 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 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.

## Materiales y métodos

Se evaluaron dos experimentos: el primero en macetas, para generar información de referencia en cuanto a la dosis de AIB que podría aplicarse al cultivo de trigo en condiciones de campo. Al mismo tiempo para tener información de referencia del comportamiento de las diversas variables de estudio por efecto de la aplicación exógena de este regulador de crecimiento. No se encontraron estudios publicados del uso AIB con fines de producción y calidad comercial del cultivo trigo. El segundo experimento se estableció en campo, para evaluar el efecto del regulador de crecimiento en condiciones de producción comercial.

### Ubicación y caracterización del sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias- Campo Experimental Bajío (INIFAP-CEBAJ), ubicado a los 20° 3' de latitud norte y 100° 0' de longitud oeste, a una altitud de 1 754 m. 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 donde se establecieron los ensayos, de acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) sus siglas en inglés, fue un Vertisol pelico,

In the state of Guanajuato wheat ranks third nationally, with close to 47 775 hectares planted (SIAP, 2012) and an average yield under irrigation of 6 t ha<sup>-1</sup>, which represents around of 16 to 28% annual domestic production. Statewide, Cortazar wheat variety ranks second in cultivated area (22%), only after Bárcenas variety, which occupies 29% of the surface. The purpose of this study was to evaluate the biological effectiveness of AIB in commercial production and grain quality of wheat in the state of Guanajuato.

## Materials and methods

Two experiments were evaluated: the first in pots, to generate reference information as to the doses of AIB that could be applied to wheat under field conditions. At the same time to have reference information on the behavior of different study variables by the effect of exogenous application of this growth regulator. No published studies were found on the use of AIB with commercial production and quality purposes in wheat. The second experiment was established in the field to assess the effect of the growth regulator under commercial production conditions.

### Location and characterization of the experimental site

The study was conducted at the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas and Pecuarias, experimental field Bajío (INIFAP-CEBAJ), located at the 20° 3' north latitude and 100° 0' west longitude, at an altitude of 1754 m. The climate of the region according to García (1988) is BS1hw (W) (eq). The average annual temperature is 20.6 °C and average annual precipitation is 597 mm. The soil where trials were established, according to the classification of the United States Department of Agriculture (USDA), was a vertisol Vertisol, with over 60% clay (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004). In the state of Guanajuato, these soils have a high potential for agricultural production and are representative of irrigated areas where grains and vegetables are grown.

### Pots trial

Five treatments with increasing doses of AIB were tested: 0, 3, 4.5, 6 and 7.5 g ha<sup>-1</sup> of indole-3-butyric acid (AIB), T1 to T5, respectively. A complete randomized design with five replications was used. Eight pots were used per treatment with a capacity of 5 kg of dry soil, where eight

con más de 60% de arcilla (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004). En el estado de Guanajuato, 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.

### Experimento en macetas

Se evaluaron cinco tratamientos con dosis crecientes del AIB: 0, 3, 4.5, 6 y 7.5 g ha<sup>-1</sup> de ácido indol-3-butírico (AIB), T1 a T5, respectivamente. Se estableció un experimento completamente al azar con cinco repeticiones. Se emplearon ocho macetas por tratamiento con capacidad de 5 kg de suelo seco, donde se colocaron ocho semillas a doble hilera de la variedad Cortazar S94. El regulador de crecimiento se suministró a las plántulas de manera exógena en una sola aplicación, a través del riego por goteo, 13 días después de la emergencia de las plantas (DDE), cuando éstas tenían una altura aproximada de 10 cm.

El AIB se suministró mediante tabletas de RADIX 35+ %, las cuales son fabricadas por la empresa Intercontinental Import Export S.A de C.V. Las tabletas son solubles en agua y cada una de ellas contiene 3 g de ingrediente activo. Se hicieron muestreos destructivos de planta a los 27, 40 y 53 días después de la emergencia las plantas (DDE). Las variables que se evaluaron en la raíz fueron: longitud, peso seco y volumen.

En la parte aérea de la planta se evaluaron: peso seco del follaje, y al final del ciclo de cultivo el peso de grano. El volumen de raíz se midió mediante la inmersión de la raíz en agua en una probeta de 100 ml, donde el volumen desplazado correspondió al volumen de raíz. El material vegetal se secó en una estufa a 70 °C durante 72 h. El peso de grano se ajustó al 12% de humedad. También se determinó el contenido de N, P y K en la raíz y en la parte aérea de las plantas. El N se determinó de acuerdo con el método de microkjeldahl (Chapman y Pratt, 1973). El P, K, se cuantificaron por el método de molibdo vanadato de amonio y por flamometría, respectivamente, según Chapman y Pratt (1973).

### Experimento de campo

Se evaluó el efecto del ácido indol-3-butírico (AIB) en la producción de trigo y calidad de grano. Se evaluaron cuatro tratamientos (T) de aplicación del AIB en diferentes etapas fenológicas del cultivo según la escala de Zadoks *et al.* (1974): testigo (T1), sin aplicación de la hormona; T2, con la aplicación de 9 g ha<sup>-1</sup> de AIB (3 pastillas de RADIX 35+

seeds of Cortazar S94 variety were placed in double rows. The growth regulator was applied to seedlings exogenously in a single application through drip irrigation, 13 days after plant emergence (DDE), when plants had an approximate height of 10 cm.

AIB was supplied by tablets RADIX 35+%, which are manufactured by the company Intercontinental Import Export SA de C.V. The tablets are water soluble and each contains 3 g of active ingredient. Destructive samplings of plants at 27, 40 and 53 days after emergence (DDE) were made. The variables that were evaluated in root: length, dry weight and volume.

In the aerial part of the plant were evaluated: dry weight of foliage, and at the end of the growing season grain weight. Root volume was measured by immersing roots in water in a 100 ml graduated cylinder, where the displaced volume corresponded to root volume. Plant material was dried in an oven at 70 °C for 72 h. Grain weight was adjusted to 12% moisture. N, P and K content in root and aerial parts of the plants were also determined. N is determined according to the microkjeldahl method (Chapman and Pratt, 1973). P and K were quantified by the ammonium molybdo vanadate method and flamometry, respectively, Chapman and Pratt (1973).

### Field trial

The effect of indole-3-butyric acid (AIB) was evaluated in wheat production and grain quality. Four treatments (T) were assessed for the application of AIB in different phenological stages of the crop, according to Zadoks *et al.* (1974) scale: control (T1) without application of the hormone; T2, with the application of 9 g ha<sup>-1</sup> of AIB (3 tablets of RADIX 35+%) at 28 days DDE in the phenological stage of stalk formation; T3, with the same dose of the previous treatment, but at 55 DDE, at early flowering; in T4, applied 18 g ha<sup>-1</sup> of AIB, half at 28 DDE and the other half at 55 DDE. AIB was applied by spraying in 400 L of water. The experiment was established in a randomized block design with eighteen replications. The treatments are presented in Table 1.

### Agronomic management

Variety of bread wheat Cortazar S94 was used for having the following characteristics: soft gluten; potential yield of 8.5 t ha<sup>-1</sup>; medium late cycle of 133 days to physiological maturity; moderately resistant to lodging; resistant to



%) a los 28 días DDE, en la etapa fenológica de encañe; T3, con la misma dosis del tratamiento anterior, pero a los 55 DDE, al inicio de floración; en el 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. El AIB se aplicó por medio de aspersión en 400 L de agua. El experimento se estableció en un diseño de bloques al azar con dieciocho repeticiones. Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 1.

Manejo agronómico

Se usó la variedad de trigo harinero Cortazar S94 que tiene las características siguientes: gluten suave; un potencial de rendimiento de 8.5 t ha<sup>-1</sup>; ciclo intermedio semitardío de 133 días a la madurez fisiológica; moderadamente resistente al acame; resistente a la incidencia de la roya lineal amarilla y roya de la hoja (Solís *et al.*, 1996). El cultivo se sembró el 20 de diciembre de 2009, con una densidad de siembra de 100 kg ha<sup>-1</sup>, en surcos a doble hilera y con una distancia entre surcos de 0.80 m y cerca de 200 m de longitud. La dosis de fertilización de N-P-K que se aplicó fue de 250-80-50 y las fuentes de fertilizante fueron urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente.

El 50% del N se aplicó al momento de la siembra y el resto a los 48 DDE, cuando las plantas de trigo se encontraban en estado de bota, según la escala Zadoks. Durante esta etapa se observó que ocurría la elongación de los entrenudos y en este momento también se aplicó el segundo riego. El primer riego se aplicó dos días después de la siembra, el tercero a los 78 DDE y el último a los 102 DDE, en las etapas fenológicas de llenado de grano y estado lechosos masoso, respectivamente, según la escala Zadoks.

Parámetros evaluados

Se evaluaron los siguientes parámetros relacionados con los componentes de rendimiento: altura de planta, longitud de espiga; peso de mil granos, número de plantas m<sup>-2</sup>, número de tallos m<sup>-2</sup>, índice de amacollamiento (número de plantas/número de espigas), peso de seco de paja, peso de grano, biomasa aérea e índice de cosecha (IC). La altura de planta se consideró desde la base del tallo hasta la punta de la espiga. La longitud de espiga correspondió a la distancia que hubo desde la base de la espiga hasta la punta de ésta, sin considerar las aristas. El peso de paja se determinó después secarla en una estufa a 75 °C durante 72 h. El peso de grano se ajustó al 12% de humedad. El IC calculó al dividir el peso de grano entre la biomasa aérea.

incidence of stripe rust and leaf rust (Solís *et al.*, 1996). The crop was sown on December 20, 2009, with a seed rate of 100 kg ha<sup>-1</sup>, double row grooves and a row spacing of 0.80 m and about 200 m in length. Fertilization dose of N-P-K was 250-80-50 and fertilizer sources were urea, calcium triple superphosphate and potassium chloride, respectively.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para el ensayo en campo. Ciclo otoño-invierno 2009-2010. INIFAP-Campo Experimental Bajío.

Table 1. Treatments evaluated for field trial. Autumn-winter 2009/2010. INIFAP-Experimental fiel Bajío.

Tratamiento	AIB (g ha <sup>-1</sup> )	Aplicación DDE	Escala Zadoks	Tabletas ha <sup>-1</sup> RADIX 35+%
1	0	-	-	0
2	9	28	Encañe (E)	3
3	9	55	Floración (F)	3
4	9 + 9	28 + 55	E + F	3 + 3

50% of N was applied at planting and the rest at 48 DDE, when wheat plants were in booting, according to Zadoks scale. During this stage was observed that internode elongation occurred and at this time was also applied the second irrigation. The first irrigation was applied two days after sowing, the third at 78 DDE and the last at 102 DDE in the phenological stages of grain filling and milky doughy stage, respectively, according to Zadoks scale.

Parameters evaluated

The following parameters related to yield components were evaluated: plant height, spike length; thousand grain weight, number of plants m<sup>-2</sup>, number of stems m<sup>-2</sup>, tillering rate (number of plants / number of spikes), dry weight of straw, grain weight, aerial biomass and harvest index (IC). Plant height was considered from stem base to the tip of the spike. The spike length corresponded to the distance from the base of the spike to the tip thereof, excluding beard. The straw weight was determined after drying it in an oven at 75 °C for 72 h. Grain weight was adjusted to 12% moisture. IC was calculated by dividing the grain weight / biomass.

Grain quality parameters that were evaluated according to the specifications established by the Official Mexican Standard NMX-FF-036 (1996) on non-industrialized food

Los parámetros de calidad de grano que se evaluaron, según las especificaciones que establece la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036 (1996) sobre calidad de productos alimenticios no industrializados en trigo, fueron: peso hectolítrico ( $\text{kg hL}^{-1}$ ); dureza (%); proteína en grano (%); proteína en harina (%); volumen de pan (ml); fuerza de gluten ( $\text{W} \times 10^{-4} \text{ J}$ ); índice de equilibrio (P/G); relación tenacidad/extensibilidad (T/L); y calificación de gluten.

El peso hectolítrico mide tanto la calidad física del grano como la calidad harinera y es el peso de grano (unidad de masa) en un volumen determinado. El contenido de proteína se determinó de manera indirecta mediante el método kjeldahl. Las otras variables se determinaron según las definiciones y especificaciones que establece la Norma antes indicada. Se midieron a lo largo del ciclo de cultivo las temperaturas máximas y mínimas y precipitación mediante una estación automática Vantage Pro2™ Plus inalámbrica que se ubica en el Campo Experimental Bajío.

Los datos se analizaron mediante el programa System analysis Statistical (SAS) y la comparación de medias se hizo mediante el método de Tukey  $\alpha=0.05$  (SAS, 1998).

## Resultados y discusión

### Ensayo en macetas

Los resultados de volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco del follaje y longitud de raíz no mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos por efecto de la aplicación del AIB en los diferentes momentos en que se efectuaron las mediciones (Cuadro 2).

Woodward y Bartel (2000) mencionaron que el efecto del AIB incide más sobre el desarrollo de raíces laterales que sobre la longitud. El crecimiento de la raíz está regulado por señales endógenas que mantienen la actividad del meristemo apical de la raíz y contribuyen con el patrón de generación de nuevas raíces laterales, donde el AIB influye de manera importante, pero al mismo tiempo otras hormonas contribuyen a la conformación de la arquitectura total de la raíz (Jovanovic *et al.*, 2008). Es importante destacar algunas tendencias, se observó que 40 DDE en T5, con la mayor dosis de AIB, el volumen de raíz fue 18% mayor respecto al tratamiento sin AIB (T1), mientras que el peso de follaje y peso total de planta, a los 53 DDE en el mismo tratamiento, fueron 46 y 34% mayores respecto a T1.

products in wheat were: hectolitre weight ( $\text{kg hL}^{-1}$ ); hardness (%); grain protein (%); flour protein (%); bread volume (ml); gluten strength ( $\text{W} \times 10^{-4} \text{ J}$ ); balance index (P / G); tenacity / extensibility relationship (T / L); and grading of gluten.

Hectolitre weight measures both the physical quality of the grain and flour quality and is the grain weight (unit of mass) in a given volume. Protein content was determined indirectly by the Kjeldahl method. The other variables were determined according to the definitions and specifications established by the aforementioned Standard. Throughout the crop cycle maximum and minimum temperatures and precipitation were measured by an automatic station Vantage Pro2™ Plus wireless which is located in the experimental field Bajío.

Data was analyzed by the Statistical Analysis System (SAS) and comparison of means was made through Tukey  $\alpha=0.05$  (SAS, 1998).

## Results and discussion

### Pot trial

The results of root volume, root dry weight, dry weight of foliage and root length did not show significant statistical differences ( $p \leq 0.05$ ) between treatments by effect of AIB application at different times when measurements were made (Table 2).

Woodward and Bartel (2000) mentioned that the effect of AIB influence more on the development of lateral roots than on the length. Root growth is regulated by endogenous signals that maintain the activity of apical meristem of the root and contributes with the generation of new lateral roots, where AIB has a significant influence, but at the same time other hormones contribute to the formation of the overall architecture of the root (Jovanovic *et al.*, 2008). Importantly, some trends, found that 40 DDE in T5, with the highest dose of AIB, root volume was 18% higher than the treatment without AIB (T1), while the weight of the foliage and total weight of plant, at 53 DDE in the same treatment, were 46 and 34% higher compared to T1.

Meanwhile root length in T2 and T3 were about 18% longer than no AIB was applied. This behavior had influence on grain weight, where there were significant differences

**Cuadro 2. Comparación de medias de diferentes parámetros evaluados en ensayo en macetas. Campo Experimental Bajío. Ciclo primavera-verano 2009.**

**Table 2. Comparison of means from different parameters evaluated in pot trial. Experimental field Bajío. Spring-summer 2009.**

Trat.	Dosis AIB (g ha <sup>-1</sup> )	Días después de la emergencia de las plantas (DDE)												LR (cm)	Peso de grano (g maceta <sup>-1</sup> )	Peso cien granos (g)
		27	40	53	27	40	53	27	40	53	27	40	53			
		Volumen de raíz (cm <sup>3</sup> )			PS follaje (g)			PS raíz (g)			PS total (g)					
T1	0	3.2a	6.5a	10.5a	2.8a	7.4a	14.1a	5.6a	5.8a	6.5a	8.4 <sup>a</sup>	13.2a	20.6a	33.6a	48.2b	4.51b
T2	3.0	2.9a	6.7a	13.4a	2.2a	7.8a	20a	5.2a	6.4a	6.8a	7.4 <sup>a</sup>	14.2a	26.8a	35.5a	55.1a	4.92a
T3	4.5	3.5a	6.6a	13.2a	2.5a	8a	15.6a	5.5a	6.8a	8a	8.0a	14.8a	23.6a	39.6a	45.5b	4.44b
T4	6	2.9a	6.1a	13.2a	2.2a	9.2a	14.4a	5.4a	6.4a	7.5a	7.6 <sup>a</sup>	15.6a	21.9a	39.7a	49.2b	4.72b
T5	7.5	2.8a	7.7a	10.8a	2.5a	8.9a	20.6a	5.5a	6.5a	7.2a	8a	15.4a	27.8a	35.7a	53.7b	4.93a
CV (%)		10.2	12.5	15.1	7.9	11.5	14.3	7.3	10	10.8	8.9	9.6	10.4	11.5	8.3	8

CV= coeficiente de variación; PS= peso seco; LR= longitud de raíz. Letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ).

Mientras tanto la longitud de raíz en T2 y T3 fueron alrededor de 18% más largas que donde no se aplicó el AIB. Este comportamiento necesariamente influyó en peso de grano, donde si hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) por efecto de la aplicación exógena del AIB. La producción de grano en T2, que tuvo el mayor rendimiento, fue 14% mayor comparado con el tratamiento sin aplicación de AIB, y al mismo tiempo también presentó el mayor peso de 100 granos (Cuadro 2). Estos resultados sugieren que si hubo una respuesta en la producción de trigo en función de las dosis crecientes de AIB, lo cual es un referente importante para el estudio posterior que se efectuó en condiciones de campo, ya que no se encontró información de estudios publicados en cuanto al uso del AIB para la producción y calidad de trigo.

En la evaluación del contenido de macroelementos en planta, se observó que el N en hoja fue significativamente mayor ( $p \leq 0.05$ ) en T2, T4 y T5, respecto a T1, de 8 a 12% respectivamente. Lo anterior hasta los 53 DDE. Lo anterior se relacionó estrechamente ( $r = 0.77$ ) con el rendimiento de grano en las macetas. Al respecto Hayat *et al.* (2009) y Li *et al.* (2009) confirman el efecto del AIB y otras hormonas en la absorción de N en otros cultivos de semilla, como el garbanzo y arroz. Mientras tanto el contenido de P en planta y raíz sólo presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) a los 27 DDE en T2 y T5; es decir, en la etapa más temprana de desarrollo del cultivo, y fueron entre 7 y 10% mayor respecto a T1. Esta diferencia fue mayor en la raíz: 24 y 44% respectivamente.

El efecto del AIB en el contenido P en planta ha sido abordado por Amin *et al.* (2013) para cultivo de garbanzo. Ellos reportan la asimilación de este elemento en el cultivo

( $p \leq 0.05$ ) by effects of exogenous application of AIB. Grain yield in T2, which had the highest yield was 14% higher compared to treatment without application of AIB and at the same time showed the highest weight for 100 grains (Table 2). These results suggest that there was a response in wheat production in terms of increasing doses of AIB, which is important for the subsequent study that was conducted under field conditions, since no published information was found regarding the use of AIB, for the production and quality of wheat.

In the evaluation of macro elements content in plant, it was observed that N in leaf was significantly higher ( $p \leq 0.05$ ) in T2, T4 and T5, compared to T1, from 8 to 12% respectively. The latter till 53 DDE. This was highly related ( $r = 0.77$ ) with grain yield in pots. Hayat *et al.* (2009) and Li *et al.* (2009) confirm the effect of AIB and other hormones in N uptake in other seed crops such as chick pea and rice. Meanwhile, P content in plant and root only showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) at 27 DDE in T2 and T5; i.e., in the earliest stage of plant development and were between 7 and 10% greater compared to T1. This difference was higher in root: 24 and 44% respectively.

The effect of AIB in P content has been addressed by Amin *et al.* (2013) for chickpea. They report the assimilation of this element in the crop by exogenous application of AIB. As the potassium content in both plant and root was similar in all assessments. Overall, it was observed that N, P and K content decreased as the crop was growing (Table 3). This behavior is because there is an effect of lower concentration of the element to increase the amount of dry matter.



por la aplicación exógena del AIB. En tanto el contenido de potasio, tanto en planta como en raíz, fue semejante en todas las evaluaciones. De manera general, se observó que el contenido de N, P y K disminuyó a medida que el cultivo fue creciendo (Cuadro 3). Este comportamiento se debe a que hay un efecto de concentración menor del elemento al aumentar la cantidad de materia seca.

**Cuadro 3. Resultados de contenido de nutrientes en parte aérea y raíz en plantas de trigo.**

**Table 3. Results of nutrient content in shoot and root of wheat plants.**

Trat	Dosis AIB (g ha <sup>-1</sup> )	Parte aérea		Raíz			
		N (%)	P (%)	K (%)	N (%)	P (%)	K (%)
27 días después de la emergencia							
T1	0	5.07a	0.58b	4.42a	2.85a	0.34b	1.93a
T2	3.0	5.25a	0.62a	4.38a	2.57a	0.41ba	2a
T3	4.5	5.17a	0.57ba	4.13a	2.6a	0.33b	1.86a
T4	6.0	5.14a	0.53b	3.73a	2.48a	0.34b	1.74a
T5	7.5	5.36a	0.64a	4.44a	2.77a	0.49 <sup>a</sup>	2.15a
CV (%)		2.3	4.8	3.6	2.2	3.5	5.8
40 días después de la emergencia							
T1	0	4.4a	0.47a	4.57a	2.01a	0.3 <sup>a</sup>	1.61a
T2	3	4.34a	0.46a	4.68a	1.87a	0.29 <sup>a</sup>	1.62a
T3	4.5	4.03a	0.37a	5.27a	1.95a	0.23 <sup>a</sup>	1.59a
T4	6	4.4a	0.42a	5.12a	2.05a	0.32 <sup>a</sup>	1.52a
T5	7.5	4.17a	0.5a	4.5a	1.98a	0.33 <sup>a</sup>	1.24a
CV (%)		2.5	3.8	2.6	4.2	3.1	2.9
53 días después de la emergencia							
T1	0	2.85b	0.32a	3.48a	1.36a	0.22 <sup>a</sup>	0.78a
T2	3	3.19 <sup>a</sup>	0.35a	3.79a	1.36a	0.23 <sup>a</sup>	1a
T3	4.5	2.87b	0.33a	3.57a	1.15a	0.24 <sup>a</sup>	0.73a
T4	6	3.15 <sup>a</sup>	0.4a	4.02a	1.16a	0.21 <sup>a</sup>	0.7a
T5	7.5	3.08 <sup>a</sup>	0.35a	3.76a	1.25a	0.23 <sup>a</sup>	0.83a
CV (%)		2.1	2.9	2.1	3.2	2.1	3.9

Letras iguales en cada columna son estadísticamente semejantes ( $p < 0.05$ ).

## Ensayo de campo

### Temperatura y precipitación

En la Figura 1 se presentan las temperaturas y precipitación registradas durante el desarrollo del cultivo del trigo. Las temperaturas mínimas extremas se registraron a inicios enero de 2010, después de la germinación de las plantas, y estuvieron por encima de 1 °C. Durante el mes de abril, al finalizar el ciclo de cultivo, se presentaron las temperaturas máximas extremas por encima de 30 °C. El volumen de

## Field trial

### Temperature and precipitation

Figure 1 presents temperature and precipitation recorded during crop development. Extreme minimum temperatures were recorded in early January 2010, after plant

germination, and were above 1 °C. In April, at the end of crop cycle, extreme maximum temperatures above 30 °C were present. The volume of rainfall during the autumn-winter (December to May) was 131.2 mm, and 85% of it was recorded in two intense rains that occurred during early February (Figure 1), which is unusual for climatic conditions of the region.

These conditions influenced on the development of stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*). The incidence of this disease is the main problem of commercial plantings in bread wheat during the autumn-winter cycle (Solis *et al.*, 2007),

precipitación pluvial durante el ciclo agrícola otoño-invierno (diciembre a mayo) fue de 131.2 mm, y 85% de ésta se registró en dos lluvias intensas que se presentaron durante a inicios de febrero (Figura 1), algo inusual para las condiciones climatológicas de la región.

Estas condiciones influyeron en el desarrollo de la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f sp. *tritici*). 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) mencionó 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. 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.

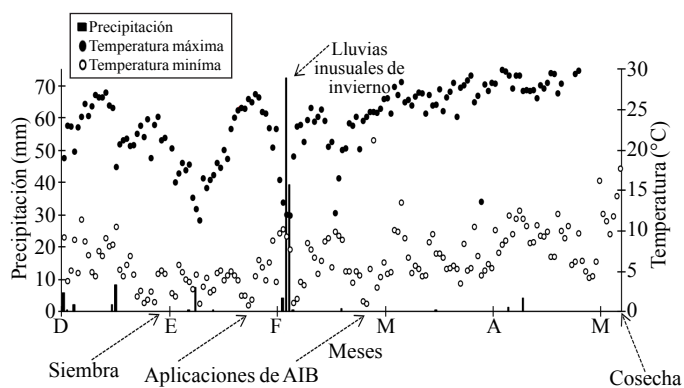
Es decir, en el momento en que ocurría la elongación de entrenudos; sin embargo, la enfermedad se manifestó de manera evidente durante la etapa de llenado de grano. Aunque la enfermedad se controló totalmente con la aplicación un fungicida sistémico (Folicur), se estima que hubo un abatimiento en la producción de grano cercano al 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.

### Comportamiento de las variables evaluadas

El índice de amacollamiento (IA), longitud de espigas, peso de paja, peso de grano, biomasa aérea y peso de 1000 granos tuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) por efecto la aplicación del AIB (Cuadro 4). En lo referente al IA, las plantas de los tratamientos T2 a T4 emitieron alrededor de dos tallos más por planta, en promedio, respecto a T1. Lo anterior implicó que hubo mayor cantidad de espigas, alrededor de 30% y mayor número de granos  $m^{-2}$ , y por tanto se obtuvo una producción de grano mayor por unidad de superficie. Estos resultados coinciden con lo que se obtuvo en el experimento en macetas. Ghodrat *et al.* (2012) han reportado el efecto de la aplicación exógena del AIB en la producción de otros cereales como maíz.

and in particular was a serious problem in wheat production at the Bajío in 2010. Stubbs (1988) mentioned that the fungus responsible for stripe rust is a pathogen associated with low temperatures, so it becomes a major problem in areas with cool to wet climate; conditions that prevailed during the autumn-winter 2009-2010 cycle in the state of Guanajuato, when this trial took place. The conditions of high humidity and low temperatures in the crop occurred when plants were in booting, according to Zadoks scale.

That is, at the time that internode elongation was occurring; however, the disease appeared in an evident way during grain filling. Although the disease was fully controlled with the application of a systemic fungicide (Folicur), it is estimated that there was a decrease in grain production close to 30%. However, all treatments were exposed to the same conditions, so it was not necessary to consider this effect as a co-factor in the statistical analysis of the results.



**Figura 1. Temperatura y precipitación durante ciclo otoño-invierno de 2009-2010 en el Campo Experimental Bajío en Celaya, Guanajuato.**

**Figure 1. Temperature and precipitation during autumn-winter, 2009-2010 at the experimental field Bajío in Celaya, Guanajuato.**

### Behavior of variables evaluated

Tillering index (IA), spike length, straw weight, grain weight, biomass and 1 000 grain weight had significant differences ( $p \leq 0.05$ ) by effect of the application of AIB (Table 4). Regarding to IA, plants from treatment T2 to T4 had two more stems per plant, on average, compared to T1. This implied that there were a higher number of spikes about 30% and higher grain number  $m^{-2}$ , and hence a greater production of grain per unit area was obtained. These results coincide with those obtained in pot trial. Ghodrat *et al.* (2012) reported the effect of exogenous application of IBA in the production of other cereals such as corn.

**Cuadro 4. Comparación de medias de las variables evaluadas en campo en tratamientos con AIB en el cultivo de trigo, variedad Cortazar.****Table 4. Comparison of means from variables evaluated in field, in treatments with AIB on Cortazar wheat variety.**

Trat.	Dosis AIB (g ha <sup>-1</sup> )	TA	Plantas * m <sup>2</sup>	Tallos * m <sup>2</sup>	IA	Altura planta (cm)	Long. espiga (cm)	Paja (t ha <sup>-1</sup> )	Peso grano (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Mil granos (g)	Mil granos (m <sup>-2</sup> )	IC
T1	0	0	53a	342.4b	6.6b	81.1b	9.9b	8.6b	4.6b	13.2b	52.5b	9.68ba	0.35a
T2	9	28	46.5b	396a	8.6a	82.2ba	10.1ba	10.1a	5.2a	15.3a	54a	9.1a	0.34a
T3	9	55	45b	369ba	8.3a	86.6 <sup>a</sup>	10.6a	9.3ba	5ba	14.3ba	55.5a	8.86ba	0.35a
T4	9+9	28+55	41.8b	345b	8.3a	83.3ba	10.5a	9.1ba	4.8ba	13.9ba	55a	8.71b	0.35a
		CV (%)	9.4	12.1	13.5	7.6	5.2	15.2	11.5	13.2	5.5	7.3	2.8

§Trat. = tratamiento; DDE = días después de la emergencia de las plantas; TA = tiempo de aplicación. Letras iguales en cada columna son estadísticamente semejantes ( $p < 0.05$ ).

La mayor altura de planta se obtuvo en el T3 (86.6 cm en promedio), 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, y fueron entre 1.5 y 6.5% mayor, comparado con el crecimiento que se obtuvo T1. El crecimiento de las plantas que está directamente relacionado con la producción de paja y biomasa aérea, presentó el mismo comportamiento. La aplicación de AIB promovió una producción de paja entre 0.5 y 1.5 t ha<sup>-1</sup> más respecto a T1, mientras tanto la producción de biomasa aérea en T2, T3 y T4 fue entre 13 y 16% mayor en comparación con T1. El rendimiento de grano también mostró diferencia significativa por efecto de la aplicación de AIB, y fue entre 5 y 10% mayor que el T1, independientemente de la dosis y época de aplicación. El peso de 1 000 granos, parámetro que influye directamente en el rendimiento de grano, tuvo el mismo comportamiento.

La aplicación exógena de AIB en T2, T3 y T4 tuvo un efecto semejante en la producción de grano, lo que sugiere que tanto la época de aplicación, entre las etapas de amacollamiento y estado de “bota”, así como la aplicación de doble dosis de AIB distribuida en dos etapas distintas del crecimiento del cultivo como se usó en T4, tuvieron un mismo efecto en el rendimiento de grano. Considerando que uno de los objetivos de aplicar el AIB de manera exógena es promover la emisión de raíces laterales y un sistema radical más eficiente en las plantas, es mejor aplicar el regulador de crecimiento en la etapa más temprana.

No se encontraron estudios al respecto en publicaciones científicas; sin embargo, la producción de trigo parece estar más relacionada con la nutrición de las plantas y emisión de tallos, por tanto, la producción y calidad de grano por efecto de la aplicación del AIB es indirecta. Fue evidente que la

The highest plant height was obtained in T3 (86.6 cm on average), where AIB was applied at 55 DDE; however, this was similar ( $p \leq 0.05$ ) to the development that plants had at T2 and T4, where the growth regulator was also applied, and were between 1.5 and 6.5% higher compared to the growth obtained in T1. Plant growth that is directly related with straw and biomass production, showed the same behavior. The application of AIB promoted a straw production between 0.5 and 1.5 t ha<sup>-1</sup> more than in T1, while the production of biomass in T2, T3 and T4 was between 13 and 16% higher compared to T1. Grain yield also showed significant difference by effect of the application of AIB, and was between 5 and 10% higher than T1, regardless of the dose and time of application. The 1 000 grain weight, parameter that directly affects grain yield had the same behavior.

The exogenous application of AIB in T2, T3 and T4 had a similar effect on grain production, suggesting that both time of application, between the stages of tillering and booting, thus the double-dose of AIB on two different stages of crop growth as used in T4, had the same effect on grain yield. Taking into account that one of the objectives of applying AIB exogenously is to promote the appearance of lateral roots and a more efficient root system in plants, it is better to apply the growth regulator at the earliest stage.

No studies on the subject were found in scientific publications; however, wheat production seems to be related with plant nutrition and stem appearance, therefore, production and grain quality by effect of the application of AIB is indirect. It was evident that the induction of growth regulator in the proliferation of lateral roots can influence in higher efficiency of plant nutrition, by providing a greater ability to explore the root system of the crop. This has been studied in other poaceae such as maize (Fitze *et al.*, 2005).

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 estudiado en otras gramíneas como maíz (Fitze *et al.*, 2005).

La producción promedio de trigo para el estado de Guanajuato en 2010, cuando se llevó a cabo el presente estudio, fue de 5.9 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2010) y la mejor producción que se obtuvo en este estudio fue de 5.2 t ha<sup>-1</sup> 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 S94 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 al promedio estatal para ese año, en condiciones de riego.

Evaluación del contenido de N-P-K en planta

No hubo diferencias significativas entre tratamientos por efecto de la aplicación de AIB en la evaluación de acumulación de N, P y K en las plantas a excepción del T1 con respecto al T2 para N (Cuadro 5). Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado en el ensayo en macetas. Al respecto es importante hacer notar 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 translocación de estos elementos en la planta puede traducirse en mayor producción de biomasa y en la mayor producción de grano.

Cuadro 5. Concentración de N, P y K en la hoja bandera del cultivo de trigo, variedad Cortázar. Ciclo otoño-inverno 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.

Table 5. Concentration of N, P and K in flag leaf in wheat variety Cortazar. Autumn-Winter 2009-2010. INIFAP-CEBAJ.

Elemento	§T1	T2	T3	T4	Media	CV
N	2.84 a	2.00 b	2.27 ab	2.36 ab	2.36	11.9
P	0.23 a	0.23 a	0.2 a	0.22 a	0.21	16.5
K	2.47 a	2.43 a	2.41 a	2.3 a	2.4	6.5

§Trat.= tratamiento= T1=0 g de AIB ha<sup>-1</sup>; T2= 9 g AIB ha<sup>-1</sup> a los 28 DDE; T3= 9 g de AIB ha<sup>-1</sup> a los 55 DDE; T4=18 g de AIB ha<sup>-1</sup>, mitad a los 28 DDE y la otra mitad a los 55 DDE. Letras iguales en cada columna son estadísticamente semejantes (p<0.05).

Según Ludwig-Müller (2000), 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.

The average wheat production for the state of Guanajuato in 2010, when the present study was conducted was 5.9 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2010), and the best production obtained in this study was 5.2 t ha<sup>-1</sup> corresponding to treatment T2. It is estimated that there was a loss of 30% in production by the susceptibility that Cortazar S94 variety had to the incidence of yellow rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) in 2010. Despite this, it was obtained a grain yield close to state average for that year, under irrigation.

Assessment of N-P-K content in plant

There were no significant differences between treatments by effect of the application of AIB in the assessment of N, P and K accumulation in plants, except from T1 with respect to T2 for N (Table 5). These results coincide partially with those reported in pot trial. In this regard it is important to note that as wheat grows, biomass increases, but the concentration of these elements decreases; i.e. a dilution effect occurs. N, P and K become part of the structures, protein and sugar production (Salisbury and Ross, 1996), so the response in translocation of these elements in the plant can translate in increased production of biomass and in more grain production.

According to Ludwig-Müller (2000), nutrient uptake in plants by effect of the application of AIB is primarily related to higher capacity of exploration that the crop has by the proliferation of adventitious roots. Esteban-Soto (2006) mentioned that AIB promotes root development in asexual propagation of plants, because this growth hormone stimulates the formation of long cellular structures that allows it to absorb water and nutrients.

Something similar may occur in poaceae, although there are no specific studies in wheat. However, several studies report sugar content in plants as a variable to assess the effect of the growth regulator. Sugar concentration may be

Esteban-Soto (2006) mencionó 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 le permiten absorber agua y nutrientes.

Algo semejante puede ocurrir en gramíneas, aunque no hay estudios específicos en trigo. Sin embargo, en varios estudios 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. Esteban-Soto (2006) menciona que no encontró diferencias en la concentración de azúcares en sus estudios en plantas con aplicación exógena del AIB.

### Evaluación de calidad de grano

El peso hectolítrico se define como el peso de grano (unidad de masa) en un volumen determinado y mide tanto la calidad física del grano como la calidad harinera. En los tratamientos evaluados no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos aunque los valores fueron ligeramente mayores donde se aplicó el AIB. La Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036 (1996) sobre calidad de productos alimenticios no industrializados en trigo, establece un valor de 0.76 de peso hectolítrico para calificar la mejor calidad de grano y este valor sólo se alcanzó en T3 (Cuadro 6).

related to the absorption and availability of these elements. Esteban-Soto (2006) mentions that found no differences in sugar concentration in their studies in plants with exogenous application of AIB.

### Assessment of grain quality

Hectolitre weight is defined as grain weight (unit of mass) in a given volume and measures both the physical quality of the grain and flour quality. In assessed treatments, no significant differences were found between treatments, although the values were slightly higher where AIB was applied. The Official Mexican Standard NMX-FF-036 (1996) on non-industrialized food quality in wheat, sets a value of 0.76 for hectolitre weight to qualify the best grain quality and this value was reached only in T3 (Table 6).

The results of grain hardness (%) showed no statistically significant differences, ranging from 61 to 64.7% in the four treatments and are within the range reported for wheat Cortazar described in Solís *et al.* (1996) work.

The values of the variables of amount of protein in grain, flour, gluten strength (W), balance point (P / G) ratio of tenacity / extensibility (T / L) and bread volume (Table 3) reinforced flour quality of Cortazar. Values on gluten strength are in the range of 57.3 (T2) to 84.3 (T3) being  $<200 \times 10^{-4}$  Joules (AACC, 1999), indicating that gluten is weak. Note that the

**Cuadro 6. Comparación de medias de diferentes parámetros de calidad de grano en tratamientos con AIB en el cultivo de trigo, variedad Cortazar.**

**Table 6. Comparison of means of different grain quality parameters in treatments with AIB in wheat variety Cortazar.**

Parámetro	§T1	T2	T3	T4	Media	CV
Peso hectolítrico (kg hl <sup>-1</sup> )	74.6 a	75.4 a	76 a	75 a	75.2	0.86
Dureza (%)	61 a	63 a	63.7 a	64.7 a	63.1	3.1
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 * 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 T/L <sup>ε</sup>	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		

§Trat.= tratamiento= T1=0 g de AIB ha<sup>-1</sup>; T2=9 g AIB ha<sup>-1</sup> a los 28 DDE; T3=9 g de AIB ha<sup>-1</sup> a los 55 DDE; T4= 18 g de AIB ha<sup>-1</sup>, mitad a los 28 DDE y la otra mitad a los 55 DDE. <sup>ε</sup>T/L= relación tenacidad/extensibilidad. Letras iguales en cada columna son estadísticamente semejantes ( $p < 0.05$ ).



Los resultados de la dureza de grano (%) no mostraron diferencias estadísticas significativas, van de 61 a 64.7% en los cuatro tratamientos y están dentro de lo reportado para la variedad de trigo Cortazar descrito en el trabajo de Solís *et al.* (1996).

Los valores de 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 3) reforzaron la calidad harinera de la variedad Cortazar. Los valores de la fuerza del gluten están en el rango de 57.3 (T2) a 84.3 (T3) siendo  $< 200 \times 10^{-4}$  Joules (AACC, 1999), que indican que el gluten es 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). Los valores de equilibrio P/G no mostraron diferencias significativas y ubicaron a la variedad Cortazar como una harina extensible (American Association Cereal Chemists, 1999). Considerando los valores de 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 680 y 690 ml que corresponde a una calificación regular. Los valores del parámetro T/L (índice de Tenacidad/Extensibilidad en la harina), mayores a 1.2 obtenidos en el presente estudio según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996, corresponden a una clasificación como tenaz. 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. Los resultados no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, pero se ubicaron cercanos a 11% que puede considerarse como alto, ya que Solís *et al.* (2008b) indica que los trigos de gluten fuerte, por naturaleza contienen niveles más altos de proteína que los trigos de gluten suave y si contienen entre 9 y 10% de proteína se considera que tienen un nivel alto.

Este autor menciona que el contenido de proteína generalmente se relaciona de manera inversa con el rendimiento y depende de la disponibilidad de nitrógeno en etapas de desarrollo vegetativo del trigo. Por lo anterior la aplicación exógena del AIB puede influir en el fortalecimiento del sistema radical, la producción de biomasa, nutrición vegetal y por lo tanto, en la producción y calidad de grano.

strength of gluten (W) was 20% and 30% higher in T4 and T3, respectively, compared to control treatment (T1). The equilibrium values P / G showed no significant differences and placed Cortazar variety as extensible flour (American Association Cereal Chemists, 1999). Considering the values of gluten strength (W) and balance point (P / G), flour from Cortazar variety is suitable for the elaboration of biscuits.

The values of bread volume ranged on average between 680 and 690 ml, corresponding to a regular grade; the values of T / L (Tenacity / Extensibility index in flour), greater than 1.2 obtained in the present study according to the Official Mexican Standard NMX-FF-036-1996, correspond to tenacious. Protein content in grain is a parameter that depends primarily on crop nutrition, especially nitrogen availability. The results showed no significant differences between treatments, but were located near to 11% which can be considered high, since Solís *et al.* (2008b) indicate that strong gluten wheat, by nature contain higher levels of protein than soft gluten wheat and if containing between 9 and 10% protein, is considered to have a high level.

The author mentions that protein content is generally inversely related to yield and depends on nitrogen availability in vegetative growth stages of wheat. Therefore exogenous application of AIB may influence in strengthening the root system, biomass production, plant nutrition and therefore, in the production and grain quality.

Based on the results it was observed that the effect of exogenous application of AIB to evaluate quality variables in wheat is indirect and as in other poaceae, is in function of variety characteristics, adequate crop nutrition, water availability and nutrients and environmental conditions and use of growth regulator. AIB directly influences on the appearance of lateral roots, increased root system of the plant and biomass production both aerial and underground that can improve plant nutrition and provide greater plant cover and photosynthetic rate. In this study is observed that stimulation of AIB in appearance of stems can be an important factor in increasing yield.

## Conclusions

The increase in grain production of wheat by effect of AIB was in order of 10% compared to control. The increase in wheat yield by effect of the application of AIB is explained by the increased appearance of stems per plant.

Con base en los resultados obtenidos se observó que el efecto de la aplicación exógena del AIB para evaluar la variables de calidad en trigo es indirecto y 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 y el uso del regulador de crecimiento. El AIB influye directamente en la emisión de raíces laterales, aumento del sistema radical de la planta y la producción de biomasa tanto aérea como subterránea que puede mejorar la nutrición de la planta así como dar una mayor cobertura vegetal y tasa fotosintética. En este estudio, se observa que la estimulación del AIB en la emisión de tallos puede ser un factor importante para aumentar el rendimiento.

## Conclusiones

El aumento en la producción de grano de trigo por efecto del AIB fue en el orden de 10% con respecto al testigo. 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 aplicación de AIB al cultivo de trigo no influyo en la calidad harinera de la variedad de trigo en estudio.

## Agradecimiento

A la empresa Intercontinental Import Export S. A. de C. V. y al Ing. Raúl Canales Canales, por el financiamiento otorgado para la presente investigación.

## Literatura citada

- American Association Cereal Chemists. 1999. Approved Method of the AACC. Cereal Laboratory Methods. AACC. Ed. St. Paul Minn, USA.
- Amin, A. A.; Gharib, F. A.; Abouziena, H. F. and Dawood, M. G. 2013. Role of indole-3-butyric acid or/and Putrescine in Improving Productivity of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Plants. Pakistan J. Bio. Sc. 16:1894-1903.
- Enríquez del Valle, J. R.; Carrillo-Castañeda, G.; Sánchez-García, P.; Rodríguez-Mendoza, Ma. de las N. y Mendoza-Castillo, Ma. del C. 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.
- 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 (UAIM). 2:795-814.
- Ghodrat, V.; Roust, M. J.; Tadaion, M. S. and Karampour, A. 2012. Yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) in response to foliar application with indole butyric acid and gibberellic acid. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 12:1246-1251.
- Grageda-Cabrera, O. A.; Medina-Cázares, T.; Aguilar-Acuña, J. L.; Hernández-Martínez, M.; Solís-Moya, E.; Aguado-Santacruz, G. A. y Peña-Cabriaes, J. J. 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.
- Fitze, D.; Wipning, A.; Kaldorf, M. and Ludwig-Müller, J. 2005. Auxins in the development of an arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize. J. Plant Physiol. 162:1210-1219.
- Hoseney, R. C. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Hayat, Q.; Hayat, S.; Ali, B. and Ahmad, A. 2009. Auxin analogues and nitrogen metabolism, photosynthesis, and yield of chickpea. J. Plant Nutr. 32:1469-1485.
- Intercontinental Import Export. 2010. Ficha técnica de Radix® 35+% TB. Ácido indol butírico 35% tabletas solubles en agua regulador de crecimiento vegetal. 3 pp. [http://www.interie.net/f\\_tecnicas/radix35tb.pdf](http://www.interie.net/f_tecnicas/radix35tb.pdf).
- Jovanovic, M.; Lefebvre, V.; Laporte, P.; González-Rizzo, S.; Lelandais Brière, C.; Frugier, F.; Hartmann, C. and Crespi, M. 2008. How the environment regulates root architecture in dicots. Adv. Bot. Res. 46:35-74.
- Li, X.; Suzuki, T. and Sasakawa, H. 2009. Promotion of root elongation and ion uptake in rice seedlings by 4,4,4-trifluoro-3-(indole-3-) butyric acid. Soil Sci. Plant. Nutr. 55:385-393.
- Ludwig-Müller J. 2000. Indole-3-butyric acid in plant growth and development. Plant Growth Regulation 32:219-230.
- 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. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- Peña-Bautista, R. J. 2006. Calidad de trigo. In: Primer Foro de Producción y Comercialización de Trigo en México. (Eds.) Ríos-Ruiz, S. A.; Solís-Moya, E. y Hernández-Martínez, M. Salamanca, Guanajuato. 168-175 pp.

*End of the English version*



- Quaglia, G. 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 485 p.
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera SIAP. 2010. Gobierno Federal. <http://www.siap.gob.mx>.
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera SIAP. 2012. Gobierno Federal. <http://www.siap.gob.mx>.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1996. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamericana. México. 759 p.
- Schneider, E. A.; Kazakoff, C. W. and Wightman. 1985. Gas chromatography-mass spectrometry evidence for several endogenous auxins in pea seedling organs. *Planta* 165:232-241.
- Solís, M. E.; Salazar, Z. A. y Narro, S. J. 1996. Cortazar S94: nueva variedad de trigo harinero para El Bajío. Folleto técnico Núm. 2. INIFAP-CEBAJ. Celaya, Guanajuato. México.
- Solís, M. E.; Ríos, R. S. A.; García, N. H.; Arévalo, V. A.; Grageda, C. O. A.; Vuelas, C. M. A.; Díaz de León, T. J. G.; Aguilar, A. J. L.; Ramírez, R. A.; Narro, S. J.; Bujanos, M. R.; Marín J. A. y Peña, M. R. 2007. Producción de trigo de riego en el Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico Núm. 3. 28-29 pp.
- 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 Núm. 3. INIFAP, CIRCE, CEBAJ, Celaya Guanajuato, México. 24 p.
- 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.
- SAS Institute. 1998. SAS/SAT User's Guide. Version 6.09. SAS Inst., Cary. NC. 100-120 pp.
- 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. 23-38 pp.
- 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.