

# APLICACIÓN DE COMPOST, A BASE DE CHAMPIÑÓN ENRIQUECIDA CON SILICIO, EN TRIGO (*Triticum* spp.)

## SILICON ENRICHED MUSHROOM BASED COMPOST APPLICATION ON WHEAT (*Triticum* spp.)

Helio A. **García-Mendivil**, Luciano **Castro-Espinoza**, Eunice **Guzmán-Fierros**, Catalina **Mungarro-Ibarra**, Maritza **Arellano-Gil**, José L. **Martínez-Carrillo**, Marco A. **Gutiérrez-Coronado\***

Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero 818 sur. Colonia Centro. Ciudad Obregón, Sonora México, (marco.gutierrez@itson.edu.mx).

### RESUMEN

Los desechos orgánicos y sus composts representan una fuente de nutrientes imprescindible para la agricultura sostenible, ya que proveen fertilizantes naturales y reduce la contaminación ambiental. El objetivo de este estudio fue medir el efecto del compost en el desarrollo, rendimiento y calidad del trigo en el Valle del Yaqui. El experimento se estableció en condiciones de campo en dos tipos de suelo de la región, litosol de textura media y litosol de textura media tendiente a la compactación. Se evaluaron dos variedades de trigo duro (*Triticum durum* L.), Imperial F2008 y Cirno C2008, y dos variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), Tacupeto F2001 y Norman F2008. El diseño experimental fue de bloques al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones: testigo (sin aplicación), 2.5, 5.0 y 7.5 t ha<sup>-1</sup> de compost. Las variables fueron clorofila total, fotosíntesis, componentes del rendimiento agronómico y la concentración de nutrimentos. Hubo respuestas significativas de la incorporación de compost: la clorofila total aumentó casi 15 %, la fotosíntesis 15 %, y el rendimiento cerca de 10 %; la concentración de nitrógeno, calcio y magnesio se duplicó, y el fósforo aumentó cuatro veces. Las necesidades nutrimentales de las variedades de los trigos duros y harineros se cubrieron, y la respuesta fue mejor en las variables evaluadas en los tratamientos con compost. La aplicación de 5.0 t ha<sup>-1</sup> compost aumentó el rendimiento promedio del trigo en 20 %.

**Palabras clave:** Fertilizante orgánico, sustrato, sostenibilidad agrícola, fisiotecnia, fotosíntesis.

### ABSTRACT

Organic waste and their composts are an essential source of nutrients for sustainable agriculture. They provide natural fertilizers and reduce environmental pollution. The objective of this study was to measure the effect of compost on development, yield and quality of wheat in the Yaqui Valley. The experiment was established in field conditions in two types of soil of the region: lithosol of medium texture and lithosol of medium texture with a tendency to compaction. Two varieties of hard wheat (*Triticum durum* L.), Imperial F2008 and Cirno C2008, and two varieties of flour wheat (*Triticum aestivum* L.), Tacupeto F2001 and Norman F2008, were evaluated. The experimental design was randomized blocks with four treatments and four replications: control (with no application), 2.5, 5.0 and 7.5 t ha<sup>-1</sup> compost. The variables were total chlorophyll, photosynthesis, agronomic yield components and concentration of nutrients. There was significant response to incorporation of compost: total chlorophyll increased almost 15 %, photosynthesis 15 %, and yield nearly 10 %; the concentration of nitrogen, calcium and magnesium doubled and phosphorus increased four times. In general, nutrient requirements of the hard and flour wheat varieties were fulfilled, and the response, reflected in the assessed variables, was better in the compost treatments. Application of 5.0 t ha<sup>-1</sup> compost increased average wheat yield by 20 %.

**Key words:** Organic fertilizer, substrate, sustainable agriculture, physiotechniques, photosynthesis.

### INTRODUCTION

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most cultivated cereals in the world, and in 2011 it was third among the cereals with the highest production. Currently,

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2014. Aprobado: agosto, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 691-702. 2014.

## INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más cultivados en el mundo y en 2011 ocupó el tercer lugar entre los cereales con mayor producción. Actualmente se realizan programas de mejoramiento genético en instituciones de investigación en México y otros países, para obtener nuevos genotipos con alto rendimiento; sin embargo, se usa mucho tiempo y tiene un costo alto. Por ello, los fitomejoradores buscan nuevas metodologías para evaluar múltiples genotipos en corto tiempo con técnicas fisiológicas modernas (Gutiérrez *et al.*, 2005).

Los desechos orgánicos y sus composts representan una fuente de nutrientes para la agricultura sostenible. La composta de sustrato gastado es el material residual del compostaje del sustrato usado en la producción de champiñón. Este compost tiene usos benéficos, como agente de biocontrol orgánico, que suprime el desarrollo de hongos indeseables en el acolchado de césped, y es una buena fuente de materia orgánica y de nutrientes (Davis *et al.*, 2005). Los beneficios del compost son: 1) mejora las características de los suelos, como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, y mineralización de nitrógeno, fósforo y potasio; 2) mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas; 3) fomenta la actividad microbiana (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). Al emplear compost se reducen los fertilizantes químicos y hay menor contaminación ambiental, con lo cual disminuye el costo de producción. En consecuencia, los agricultores que usan estas prácticas esperan mayores ingresos, debido a los altos rendimientos y una mejora en la fertilidad y la productividad del suelo (Sarwar, *et al.*, 2008; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012). Además de liberar nutrientes lentamente, también se impide las pérdidas de fertilizantes químicos a través de la desnitrificación, volatilización, y lixiviación (Arshad *et al.*, 2004). Por lo tanto, es probable que cuando se aplica abono enriquecido con fertilizantes químicos, la composta evita las pérdidas de nutrientes. Así, el uso integrado de fertilizantes químicos y residuos orgánicos reciclados puede mejorar la eficiencia de los primeros y por lo tanto reducir su uso con el fin de mejorar la productividad de los cultivos, así como mantener la salud del suelo y la fertilidad (Abedi *et al.*, 2010). La aplicación de compost de paja de arroz ya sea solo o en combinación con fertilizantes inorgánicos en el sistema de arroz y trigo mejora

breeding programs are being carried out in research institutions in Mexico and other countries to obtain new, high-yielding genotypes. This, however, is time consuming and costly. For this reason, plant breeders are seeking new methods to assess multiple genotypes in a short time with modern physiological techniques (Gutiérrez *et al.*, 2005).

Composted organic waste represents a source of nutrients for sustainable agriculture. Compost made from depleted substrate is the composted residual substrate material used in the production of mushrooms. This compost has beneficial use, such as an organic bio-control agent that suppresses the development of undesirable fungi in the grass mulch and a source of organic matter and nutrients (Davis *et al.*, 2005). The compost benefits the soil in several ways: 1) It improves soil characteristics, such as fertility and water storage capacity, and mineralizes nitrogen, phosphorus and potassium; 2) it maintains values of pH at an optimum for plant growth; and 3) it promotes microbial activity (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). By using compost, chemical fertilizers are reduced, there is a lower environmental pollution, and production costs are reduced. Consequently, farmers who undertake these practices can expect higher incomes from high yields and improved soil fertility and productivity (Sarwar, *et al.* 2008; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012). Besides slowly releasing nutrients, compost impedes chemical fertilizer losses through de-nitrification, volatilization and leaching (Arshad *et al.*, 2004). It is therefore likely that when organic fertilizer is enriched with chemical fertilizers, the compost prevent loss of nutrients. Consequently, the integrated use of chemical fertilizers and organic recycled residues can improve efficiency of the former and reduce their use to improve crop productivity, as well as to maintain soil health and fertility (Abedi *et al.*, 2010). Application of rice straw compost, alone or in combination with inorganic fertilizers in rice and wheat systems, significantly improves aggregate stability and carbon sequester in the soil (Sodhi *et al.*, 2009).

The long-term advantages of improving soil with compost amendments has been demonstrated in wheat crops, which can depend on soil residual nitrogen as fertilization. The nutrients are released in the measure they are needed for metabolic processes in the plant body thereby improving plant tissues and allowing it to function more efficiently (Sarwar *et al.*,

significativamente la estabilidad de los agregados y el secuestro de carbono en el suelo (Sodhi *et al.*, 2009).

Las ventajas a largo plazo de mejoramiento del suelo a través de enmiendas de compost se muestran en los cultivos de trigo, donde se puede depender del nitrógeno residual en el suelo como fertilización. Los nutrientes se liberan a medida que son necesarios para realizar los procesos metabólicos en el cuerpo de la planta, por lo que mejora los tejidos de las plantas y les permite realizar sus funciones de manera más eficiente (Sarwar *et al.*, 2009). La aplicación de compost al suelo produce una mejora en las propiedades físicas y biológicas del mismo, así como en la producción y la calidad del trigo (Singer *et al.*, 2004; Blackshaw, 2005; Tejada y Gonzalez, 2007; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012).

Los impactos positivos son mayores en los nutrientes residuales del suelo, medido a través de rendimientos de grano en trigo, en tratamientos con composta que en tratamientos con fertilizantes sintéticos. Estos resultados subrayan la capacidad de las enmiendas de compost para apoyar los rendimientos de los cultivos a largo plazo, así como generar un mayor contenido de proteína de trigo (Hepperly *et al.*, 2009). La aplicación combinada de compost y fertilizante mineral en cantidades ambientalmente seguras es una opción viable para mantener y mejorar la fertilidad del suelo en sistemas de arroz-trigo y algodón (Qazi *et al.*, 2009). Otras investigaciones muestran la mejora del crecimiento del trigo y el rendimiento con el uso de abonos orgánicos cuando se compararon con el fertilizante químico; además mejora la calidad del suelo (Ibrahim *et al.*, 2008).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue medir el efecto del compost en el desarrollo, rendimiento y calidad del trigo en el Valle del Yaqui.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en campo en el Valle del Yaqui, Sonora, la última semana de noviembre de 2011. La aplicación de compost se realizó en presiembra, en banda, en trigo de las variedades Imperial C2008 y Norman F2008, en un suelo de tipo litosol de textura franco arcillosa (Pueblo Yaqui, Sonora, México, 27° 19' 23.7" N, 110° 04' 40.1" O); y en las variedades Cirno C2008 y Tacupeto F2001, en un suelo de tipo litosol de textura franco arcillosa tendiente a la compactación (Centro Experimental de Transferencia de Tecnología ITSON- CETT-910, 27° 21' 57.3" N, 109° 54' 55.3" O). Ambos suelos con pH de 7.2 a 7.3 y contenidos de materia orgánica de 0.8 a

2009). Application of compost improves soil physical and biological properties as well as production and wheat quality (Singer *et al.*, 2004; Blackshaw, 2005; Tejada and Gonzalez, 2007; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012).

The positive impacts are greater on soil residual nutrients, measured by wheat grain yields, in treatments with compost than in treatments with synthetic fertilizers. These results highlight the ability of compost amendments to support long-term crop yields as well as to generate higher protein content in wheat (Hepperly *et al.*, 2009). Combined application of compost and mineral fertilizer in environmentally safe quantities are a viable option in maintaining and improving soil fertility in rice-wheat and cotton systems (Qazi *et al.*, 2009). Other studies have showed improved wheat growth and yield with the use of organic fertilizers, relative to those with chemical fertilizer, in addition to improving soil quality (Ibrahim *et al.*, 2008).

Thus, the objective of this study was to measure the effect of compost on development, yield and quality of wheat in the Yaqui Valley.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was set up in the field in the Yaqui Valley, Sonora, during the last week of November, 2011. Compost was applied in bands before planting. The wheat varieties used were Imperial C2008 and Norman F2008 cultivated in lithosol type soil with a clay loam texture (Pueblo Yaqui, Sonora, México, 27° 19' 23.7" N, 110° 04' 40.1" W) and the varieties Cirno C2008 and Tacupeto F2001 in a lithosol type soil with a clay loam texture and a tendency to compaction (Experimental Center for Transfer of Technology ITSON- CETT-910, 27° 21' 57.3" N, 109° 54' 55.3" W). Both soils had pH of 7.2 to 7.3 and organic matter content of 0.8 to 1.0. The treatments were the control, 2.5, 5.0 and 7.5 t ha<sup>-1</sup> of solid compost made from the substrate used for mushroom production (Table 1) enriched with 20.4 kg silicon (SiO<sub>2</sub>) per ton of compost (to facilitate the use of other nutrients by the plant), manufactured by the company Fertilizantes Nitrogenados y Fosfatados, S. de R.L. de C.V., La Barca, Jalisco. The seed was donated by the Sonora state research trustees. Tacupeto and Norman are of the group of bread wheats and Cirno and Imperial of the group of pasta wheats. Crop management was in accord with the agronomic requirements recommended by the Northwest Regional Center for Research.

The experimental design was randomized blocks with four treatments and four replications per treatment. The experimental unit was three rows 0.80 m wide by 5 m long. The useful plot was

1.0 respectivamente. Los tratamientos fueron: testigo, 2.5, 5.0 y 7.5 t ha<sup>-1</sup> de compost sólido de sustrato usado en la producción de champiñón (Cuadro 1), enriquecido con 20.4 kg de silicio (SiO<sub>2</sub>) por cada tonelada de compost (para facilitar a la planta la utilización de los otros nutrimentos), proveniente de la empresa Fertilizantes Nitrogenados y Fosfatados, S. de R.L. de C.V. de La Barca, Jalisco. La semilla fue donada por el patronato para la investigación del estado de Sonora, siendo Tacupeto y Norman del grupo de los trigos panaderos y Cirno e Imperial del grupo de los trigos macarroneros. El cultivo se manejó acorde a sus requerimientos agronómicos según recomendación del Centro de Investigación Regional del Noroeste.

El diseño experimental fue de bloques al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Como unidad experimental se consideraron tres surcos de 0.80 m de ancho x 5 m de largo; la parcela útil fue el surco central eliminando 1.5 m de cabecera de ambos lados.

Las variables evaluadas se describen a continuación.

#### Clorofila total

Las lecturas de clorofila se realizaron semanalmente con el medidor de clorofila SPAD 502 Plus® (modelo 2900P, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, Illinois, USA), desde la etapa de encañe hasta espigamiento, y se reportaron en unidades Spad.

the central row from which 1.5 m was eliminated from each end. The assessed variables are described in the following sections.

#### Total chlorophyll

Weekly, chlorophyll readings were taken with the chlorophyll meter SPAD 502 Plus® (model 2900P, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, Illinois, USA) from the stalk formation stage to spiking and reported in SPAD units. These readings were taken at three points of the flag leaf of four plants of each experimental unit.

#### Photosynthesis

Photosynthetic rate was determined with a portable photosynthesis system (model LI-6400XT, LI-COR, Lincoln, NE, USA). The readings were taken between 11:00 and 14:00 on three plants selected at random in each useful plot during the stages of stalk formation and flowering and were reported in  $\mu\text{g CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ . The range of photosynthetically active radiation incident on the leaf (PARi) was 1800 to 2000  $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  at the time readings were taken

#### Number of grains per spike

Grains were counted manually on ten spikes per replication.

**Cuadro 1. Composición de nutrientes de la compost a base de sustrato gastado de champiñón.**

**Table 1. Nutrient composition of compost made with used mushroom substrate.**

Parámetro	Valor	Tratamientos de composta		
		2500	5000	7500
kg ha <sup>-1</sup> de nutrientes aportados				
Nitrógeno (%)	1.5	37.50	75.00	112.50
Fósforo (%)	0.85	21.25	42.50	63.75
Potasio (%)	1.35	33.75	67.50	101.25
Azufre (%)	3	75.00	150.00	225.00
Magnesio (%)	0.7	17.50	35.00	52.50
Calcio (%)	7.5	187.50	375.00	562.50
Sodio (g kg <sup>-1</sup> )	2300	5.75	11.50	17.25
Fierro (g kg <sup>-1</sup> )	2600	6.50	13.00	19.50
Aluminio (g kg <sup>-1</sup> )	3700	9.25	18.50	19.50
Manganeso (g kg <sup>-1</sup> )	3800	9.50	19.00	27.75
Cobre (g kg <sup>-1</sup> )	280	0.70	1.40	28.50
Zinc (g kg <sup>-1</sup> )	230	0.57	1.15	1.73
Humedad (%)	30			
pH	7.15			
Materia orgánica (%)	44.5			
Conductividad eléctrica	14.4			
Relación carbono:nitrógeno	25:1			

Dichas lecturas se tomaron en tres puntos de la hoja bandera de cuatro plantas de cada unidad experimental.

#### Fotosíntesis

La tasa fotosintética se determinó con un sistema de fotosíntesis portátil (modelo LI-6400XT, LI-COR, Lincoln, NE, USA). Las lecturas se realizaron de 11:00 a 14:00 en tres plantas tomadas al azar de cada parcela útil en las etapas de encañe y floración, y se reportó en  $\mu\text{gCO}_2\text{S}^{-1}\text{cm}^{-2}$ . El rango de radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la hoja (PARi) fue de 1800 a 2000  $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  al momento de las lecturas.

#### Número de granos por espigas

Se realizó manualmente, midiendo diez espigas por cada repetición.

#### Número de granos por metro cuadrado

El número de granos se determinó con un contador de grano (Modelo 801-10/b, Seedburo®, IL, USA).

#### Rendimiento

Se calculó extrapolando el peso de los granos por metro cuadrado obtenidos de cada muestra cosechadas, en  $\text{t ha}^{-1}$ .

#### Análisis nutricional de la planta

Una muestra de tejido vegetal se tomó de cada repetición de los cuatro tratamientos, se colocaron en bolsas de papel estraza y se secaron en estufa a 60 °C hasta eliminar toda la humedad. Las muestras se molieron y se homogenizaron para tomar una parte representativa de cada una. Cada muestra se analizó con el kit para análisis de tejido vegetal (DR/2500; Hach company, Loveland, Colorado, USA) bajo las especificaciones del fabricante (HACH, 2003), para determinar nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Con los datos se realizó un análisis de varianza con STATGRAPHICS Versión 16.1.11 (StatPoint Technologies, Inc., 2010) y las medias se compararon con la prueba Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Clorofila total

Las variedades de trigo evaluadas en Pueblo Yaqui Imperial C2008 y Norman F2008 mostraron au-

### Number of grains per square meter

The number of seeds was determined with a grain counter (Model 801-10/b, Seedburo®, IL, USA).

### Yield

Yield was calculated by extrapolating grain weight per square meter obtained from each of the harvested samples, to  $\text{t ha}^{-1}$ .

### Plant nutrient analysis

A tissue sample was taken from each of the replications of the four treatments. Samples were placed in brown paper bags and dried in an oven at 60 °C until all of the moisture was eliminated. The samples were then ground and homogenized to take a representative part of each. Each of the samples was analyzed with the plant tissue analysis kit (DR/2500; Hach Company, Loveland, Colorado, USA) following the specifications of the manufacturer (HACH, 2003) to determine nitrogen, phosphorus, potassium calcium and magnesium.

With the data, an analysis of variance was performed with STATGRAPHICS Version 16.1.11 (StatPoint Technologies, Inc., 2010), and means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

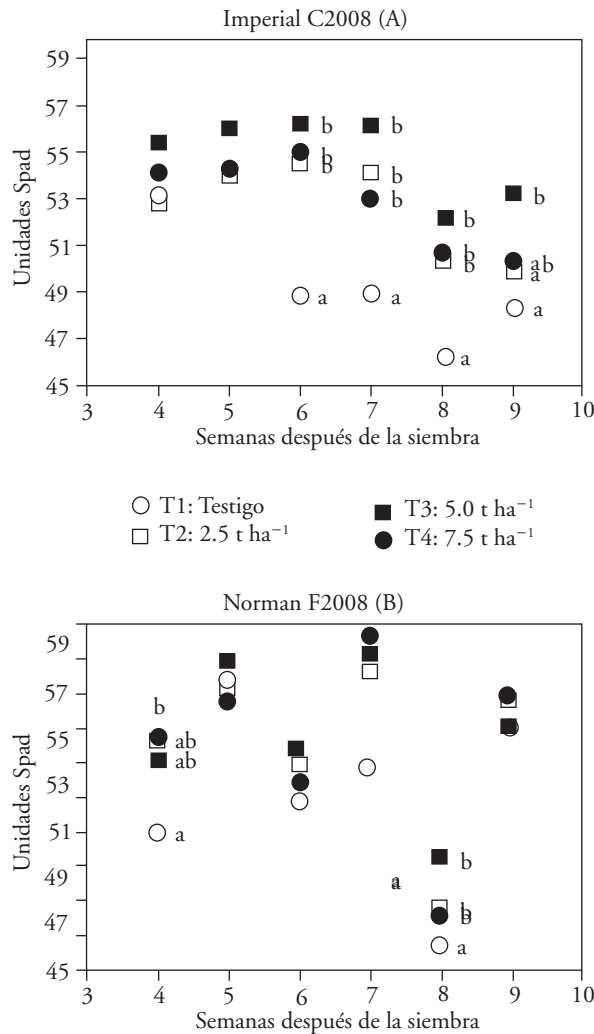
### Total chlorophyll

The wheat varieties assessed in Pueblo Yaqui, Imperial C2008 and Norman F2008, showed increases of 14.5 and 7 %, respectively, in chlorophyll content (Figure 1A and 1B). The variety Cirno C2008 in treatment 4 had 3.26 % more units of chlorophyll than the control, while the variety Tacupeto F2001 had increases of 8 % (Figure 2A and 2B).

High chlorophyll content in wheat is associated with high transpiration efficiency, which leads to greater water use efficiency (Fotovat *et al.*, 2007). According to Cartelat *et al.* (2005), chlorophyll content can be used as an indicator of nitrogen deficiency. In wheat chlorophyll content in leaves correlates significantly with SPAD values, and thus the SPAD chlorophyll meter can be used to measure the status of nitrogen in wheat (Prost and Jeuffroy, 2007; Uddling *et al.*, 2007; Haiyun *et al.*, 2009). SPAD values are also highly correlated with biological and grain yields in winter wheat (Spaner *et*

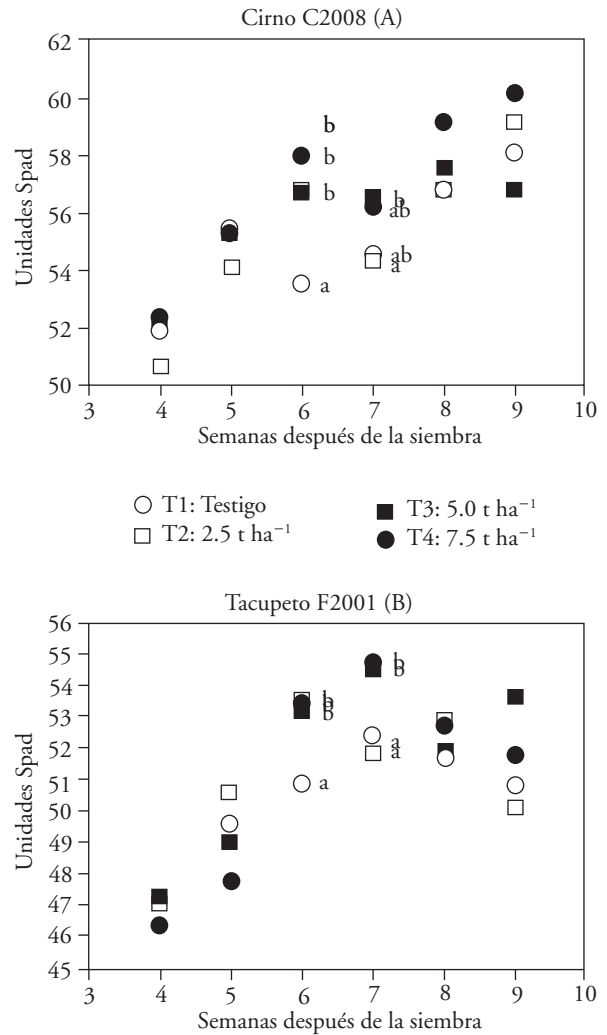
mentos en el contenido de clorofila de 14.5 y 7 %, respectivamente (Figura 1A y B). En la variedad Cirno C2008 el tratamiento 4 mostró 3.26 % más unidades clorofila que el testigo; mientras que la variedad Tacupeto F2001 presentó aumentos del 8 % (Figura 2A y B).

Un contenido alto de clorofila en trigo está asociado con una eficiencia alta de transpiración, lo



**Figura 1.** Efecto de la aplicación de compost sobre el contenido de clorofila en las variedades de trigo cultivadas en Pueblo Yaqui, Sonora, México. Símbolos con diferente letra son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

**Figure 1.** Effect of compost application on chlorophyll content in wheat varieties cultivated in Pueblo Yaqui, Sonora. Symbols with different letters are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 2.** Efecto de la aplicación de compost sobre el contenido de clorofila en las variedades de trigo cultivadas en CETT-910. Símbolos con diferente letra son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

**Figure 2.** Effect of compost application on chlorophyll content in wheat varieties cultivated in CETT-910. Symbols with different letters are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

*al.*, 2005; Debaeke *et al.*, 2006; Man-Xin *et al.* 2006). Similar studies have found significant increases in chlorophyll content after application of different organic fertilizers, relative to a control (Ouda and Mahadeen, 2008; López *et al.*, 2008; Amujoyegbe *et al.*, 2007).

### Photosynthesis

Photosynthetic activity during the stalk formation stage in the Norman F2008 variety increased 9.3 %

cual trae consigo mayor eficiencia en el uso de agua (Fotovat *et al.*, 2007). De acuerdo con Cartelat *et al.* (2005), el contenido de clorofila puede utilizarse como un indicador de deficiencia de nitrógeno. El trigo muestra una correlación significativa entre el contenido de clorofila en las hojas y los valores SPAD, lo que implican que el medidor de clorofila SPAD puede usarse para medir el estatus de nitrógeno en trigo (Prost and Jeuffroy, 2007; Uddling *et al.*, 2007; Haiyun *et al.*, 2009). Dichos valores también están altamente correlacionados con los rendimientos biológicos y de grano, en trigo de invierno (Spaner *et al.*, 2005; Debaeke *et al.*, 2006; Man-Xin *et al.*, 2006). Estudios similares presentaron aumentos significativos en el contenido de clorofila con la aplicación de distintos abonos orgánicos, en comparación con el testigo (Ouda y Mahadeen, 2008; López *et al.*, 2008; Amujoyegbe *et al.*, 2007).

**Fotosíntesis**

La actividad fotosintética en la etapa de encañe en la variedad Norman F2008 presentó un aumento de 9.3 % en el tratamiento 3 respecto al testigo. Mientras que para la variedad Imperial C2008 el tratamiento 4 aumentó 16.4 % la actividad fotosintética. Para la etapa de floración, el tratamiento 2 presentó un aumento de 19.6 % respecto al testigo en la variedad Cirno C2008 (Cuadro 2).

En cereales como el trigo, la fotosíntesis de la hoja bandera tiene una función primordial en el rendimiento de grano, pues es la principal fuente de fotosintatos durante la etapa de llenado del mismo (Frederick y Bauer, 1999). Incrementos en fotosíntesis de la hoja están estrechamente asociados a incrementos similares en rendimiento de grano y contenido de N, P y K en la hoja (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1990; Long *et al.*, 2006). En experimentos realizados para examinar el efecto de aplicaciones de distintos abonos orgánicos sobre fotosíntesis de distintos cultivos los comportamientos fueron similares (Xu *et al.*, 2000; Xu, 2001).

**Número de granos por espiga**

Las variedades Norman F2008 e Imperial C2008 mostraron diferencias estadísticas en esta variable. En la variedad Norman F2008 el tratamiento 4 fue mejor con 46 % más de número de granos por

in treatment 3, relative to the control, while that of the variety Imperial C2008 of treatment 4 increased 16.4 %. During the flowering stage, treatment 2 caused an increase of 19.6 %, relative to the control, in the variety Cirno C2008 (Table 2).

In cereals such as wheat, photosynthesis in the flag leaf has a primordial function in grain yield since it is the main source of photosynthates during the grain filling stage (Frederick and Bauer, 1999). Increases in photosynthesis is closely associated to similar increases in grain yield and N, P and K contents of this leaf (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1990; Long *et al.*, 2006). Similar behavior was found in experiments conducted to examine the effect of applications of different organic fertilizers on photosynthesis in different crops (Xu *et al.*, 2000; Xu, 2001).

**Number of grains per spike**

The varieties Norman F2008 and Imperial C2008 were statistically different in this variable. With the variety Norman F2008, treatment 4 was the best, with 46 % more grains per spike than the control,

**Cuadro 2. Efecto de la aplicación de compost sobre la fotosíntesis ( $\mu\text{g CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ) en las variedades Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 y Cirno C2008, en dos tipos de suelo en el Valle del Yaqui, Sonora.**

**Table 2. Effect of compost application on photosynthesis ( $\text{mg CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ) in the varieties Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 and Cirno C2008, in two types of soil in the Yaqui Valley, Sonora.**

Tratamientos	Variedad			
	Norman F2008	Imperial C2008	Tacupeto F2001	Cirno C2008
Etapa de encañe				
T1: Testigo	20.05 a	22.78 a	19.74 a	22.02 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	20.78 ab	24.80 ab	21.63 a	22.53 a
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	21.92 b	24.55 ab	20.81 a	22.67 a
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	21.01 ab	26.52 b	21.51 a	22.48 a
Etapa de floración				
T1: Testigo	22.42 a	20.32 a	22.02 a	21.97 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	22.48 a	21.17 a	22.06 a	26.27 b
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	23.90 a	21.11 a	22.27 a	23.25 ab
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	22.91 a	19.59 a	23.84 a	24.13 ab

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Values with different letters in a column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

espiga, en relación con el testigo. Mientras que en la variedad Imperial C2008 el tratamiento 3 presentó un aumento de 44 % (Cuadro 3).

Existe una correlación entre la tasa fotosintética antes de la etapa de antesis con el número de grano por espiga (Frederick y Camberato, 1995a, 1995b). Una mayor acumulación de asimilados en la espiga durante las tres semanas anteriores a dicha etapa está asociada con un gran número de granos por espiga (Slafer *et al.*, 1990; Siddique *et al.*, 1989). Tejada y Gonzales (2007) encontraron que la aplicación de compost incrementó de 39 a 45.5 granos por espiga. Según Sefidhooki *et al.* (2012), el incremento de 33.5 a 42.38 granos por espiga fue significativo. Sin embargo, Tejada *et al.* (2005), al evaluar la aplicación de una mezcla de fertilizantes orgánico e inorgánico en comparación con un fertilizante organomineral, no encontraron diferencias significativas.

### Número de granos por metro cuadrado

Para esta variable el tratamiento 3 mostró un aumento de 50 % sobre el testigo en la variedad Imperial C2008 (Cuadro 4).

Los incrementos en el contenido de clorofila en la antesis y en la tasa fotosintética durante el llenado de grano en trigo están asociados con un mayor número de granos por metro cuadrado y mejores rendimientos (Xiao *et al.*, 2012). El número de granos por metro cuadrado puede explicar en gran parte el rendimiento de grano en trigo (Albrizio *et al.*, 2010). En estudios similares hubo aumentos significativos para esta variable; así, Keeling *et al.* (2003) encontraron un incremento de 15 716, en el testigo, a 18 313 granos por metro cuadrado con la aplicación de compost en combinación con fertilizantes inorgánicos.

### Rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ )

Hubo diferencias significativas para las variedades Norman F2008 e Imperial C2008 monitoreadas en el suelo de Pueblo Yaqui, donde el tratamiento 3 mostró un rendimiento 17 % mayor que el testigo en la variedad Norman F2008 y 24 % en la variedad Imperial C2008 (Cuadro 5).

El rendimiento final de un cultivo es el resultado de la interacción de diversos factores influenciados por las condiciones climáticas y las prácticas de manejo del cultivo (Gutiérrez *et al.*, 2005). En

**Cuadro 3. Efecto de la aplicación de compost sobre número de granos por espiga en las variedades Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 y Cirno C2008 en dos tipos de suelo en el Valle del Yaqui, Sonora.**

**Table 3. Effect of compost application on number of grains per spike in the varieties Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 and Cirno C2008, in two types of soil in the Yaqui Valley, Sonora.**

Tratamientos	Variedad			
	Pueblo Yaqui		CETT-910	
	Norman F2008	Imperial C2008	Tacupeto F2001	Cirno C2008
T1: Testigo	27.21 a	30.10 a	34.27 a	37.53 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	34.34 ab	38.82 ab	33.89 a	43.32 a
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	32.68 ab	43.60 b	32.46 a	41.27 a
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	39.83 b	32.05 a	36.04 a	44.57 a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Values with different letters in a column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

while in Imperial C2008) treatment 3 produced an increase of 44 % (Table 3).

Photosynthetic rate before the anthesis stage correlates with the number of grains per spike (Frederick and Camberato, 1995a, 1995b). A larger accumulation of assimilates in the spike during the three weeks before this stage is associated with a larger number of grains per spike (Slafer *et al.*, 1990; Siddique *et al.*, 1989). Tejada and Gonzales (2007) found that the application of compost increased the number of grains per spike from 39 to 45.5. Sefidhooki *et al.* (2012) also reported a significant increase from 33.5 to 42.38 grains per spike. However, Tejada *et al.* (2005), who assessed a mixture of organic and inorganic fertilizers and compared it with an organo-mineral fertilizer, did not find significant differences.

### Number of grains per square meter

This variable, in treatment 3, increased 50 %, relative to the control, in the variety Imperial C2008 (Table 4).

The increases in chlorophyll content in anthesis and in photosynthetic rate during grain fill in wheat are associated with a higher number of grains per square meter and better yields (Xiao *et al.*, 2012). The



**Cuadro 4. Efecto de la aplicación de compost sobre el número de granos por metro cuadrado en las variedades Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 y Cirno C2008 en dos tipos de suelo en el Valle del Yaqui, Sonora.**

**Table 4. Effect of compost application on number of grains per square meter in the varieties Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 and Cirno C2008, in two types of soil in the Yaqui Valley, Sonora.**

Tratamientos	Variedad			
	Pueblo Yaqui		CETT-910	
	Norman F2008	Imperial C2008	Tacupeto F2001	Cirno C2008
T1: Testigo	7922 a	7020 a	10226 ab	11541 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	8790 a	10266 bc	10200 ab	11397 a
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	10080 a	10581 c	9723 a	10753 a
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	10001 a	8459 ab	11331 b	12362 a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Values with different letters in a column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

experimentos similares al presente estudio hubo aumentos significativos en el rendimiento de grano de trigo con la aplicación de distintas concentraciones de compost y los aumentos en el rendimiento podrían atribuirse a una mayor eficiencia del uso de nutrientes debido al fertilizante orgánico. Keeling *et al.* (2003) obtuvieron un incremento de 4.1 % respecto al testigo, el cual tuvo un rendimiento de 12.8 t ha<sup>-1</sup>. Según Sarwar *et al.* (2007), el rendimiento fue de 4.2 t ha<sup>-1</sup> al aplicar la dosis recomendada de fertilizante inorgánico, mientras que con la aplicación combinada de compost y fertilizante inorgánico, el rendimiento aumentó a 5.73 t ha<sup>-1</sup>.

### Análisis de nutrientes de la planta

La concentración de los principales nutrimentos fue significativamente superior a la del testigo: los aumentos para nitrógeno, calcio y magnesio fueron más del doble, en fósforo casi cuatro veces más y en potasio casi el 60 % (Cuadro 6). El porcentaje de nitrógeno aumentó proporcionalmente al incremento de la dosis de compost.

La incorporación de abonos orgánicos aumenta la movilización de fósforo y la actividad microbiana del suelo, y mejora el sistema radicular y la nutrición del cultivo (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2006; Millaleo *et al.*,

number of grains per square meter largely explains grain yield in wheat (Albrizio *et al.*, 2010). In similar studies there were significant increases for this variable; Keeling *et al.* (2003) found an increase from 15 716, in the control, to 18 313 grains per square meter with application of compost in combination with inorganic fertilizers.

### Yield (t ha<sup>-1</sup>)

There were significant differences between the varieties Norman F2008 and Imperial C2008 in the soil of Pueblo Yaqui, where treatment 3 had a yield 17 % higher than the control in the variety Norman F2008 and 24 % in the variety Imperial C2008 (Table 5).

The final yield of a crop is the result of the interaction of diverse factors influenced by climatic conditions and crop management practices (Gutiérrez *et al.*, 2005). In experiments similar to our study there were significant increases in wheat grain yield with application of different concentrations of compost and the increases in yield can be attributed to better efficiency in the use of nutrients due to the organic fertilizer. Keeling *et al.* (2003) obtained an increase of 4.1 %, relative to

**Cuadro 5. Efecto de la aplicación de compost sobre el rendimiento (en t ha<sup>-1</sup>) en las variedades Norman F2008, Imperial C2008, Tacupeto F2001 y Cirno C2008 en dos tipos de suelo en el Valle del Yaqui, Sonora.**

**Table 5. Effect of compost application on yield (t ha<sup>-1</sup>) in the varieties Norman F2008, Tacupeto F2001, Imperial C2008 and Cirno C2008, in two types of soil in the Yaqui Valley, Sonora.**

Tratamientos	Variedad			
	Pueblo Yaqui		CETT-910	
	Norman F2008	Imperial C2008	Tacupeto F2001	Cirno C2008
T1: Testigo	5.57 a	5.54 a	6.00 a	7.60 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	5.78 ab	6.49 bc	6.34 a	8.00 a
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	6.54 c	6.87 c	6.38 a	8.11 a
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	6.28 bc	5.66 ab	6.60 a	8.30 a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Values with different letters in a column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

2006; Iqbal *et al.*, 2008). Estas concentraciones de nitrógeno son altas en relación a otros estudios y son un indicador de una adecuada nutrición del cultivo (Takahashi *et al.*, 2007; Eusuf *et al.*, 2008). Según Bar-Tal *et al.* (2004) y Ahmad *et al.* (2007), el contenido total de nitrógeno, potasio y fósforo en plantas aumentó significativamente en respuesta a la aplicación combinada de compost y fertilizante químico.

### CONCLUSIONES

En general se cubrieron las necesidades nutrimentales de las variedades de los trigos duros y harineros, y se observó una mejor respuesta en las variables evaluadas en los tratamientos con compost. La aplicación de 5.0 t ha<sup>-1</sup> compost incrementó el rendimiento del trigo en 20 % promedio.

### LITERATURA CITADA

Abedi, T., A. Alemzadeh, and S. A. Kazemeini. 2010. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. *Aust. J. Crop Sci.* 4: 384-389.

Ahmad, R., S. M. Shahzad, A. M. Khalid, and M. Mahmood. 2007. Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea Mays* L.) to nitrogen and L-Tryptophan enriched compost. *Pak. J. Bot.* 39: 541-549.

Albrizio, R., M. Todorovic, T. Matic, and A. M. Stellacci. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 115 (2): 179-190.

Álvarez-Sánchez, E., A. Vázquez-Alarcón, J. Z. Castellanos, y J. Cueto-Wong. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. *Terra Latinoam.* 24 (2): 261-268.

Amujoyegbe, B. J., J. T. Opabode1, and A. Olayinka. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizer on yield and chlorophyll content of maize (*Zea mays* L.) and sorghum *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Afr. J. Biotechnol.* 6: 1869-1873.

Arshad, M., A. Khalid, M. H. Mahmood, and Z. A. Zahir. 2004. Potential of nitrogen and L-tryptophan enriched compost for improving growth and yield of hybrid maize. *Pak. J. Agric. Sci* 41: 16-24.

Blackshaw, R. E. 2005. Nitrogen fertilizer, manure, and compost effects on weed growth and competition with spring wheat. *Agron. J.* 97: 1612-1621.

Bar-Tal, A., U. Yermiyahu, J. Beraud, M. Keinan, M. Rosenberg, D. Zohar, V. Rosen, and P. Fine. 2004. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake by wheat and their distribution on soil followin successive, annual compost applications. *J. Environ. Qual.* 33 (5): 1855-1865.

Cartelat, A., Z. G. Cerovic, Y. Goulas, S. Meyer, C. Lelarge, J. L. Prioul, and I. Moya. 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.* 91: 35-49.

**Cuadro 6. Respuesta de la aplicación de compost en la concentración de nutrientes de la planta en las variedades Tacupeto F2001, Norman F2008, Imperial C2008 y CirnoC2008.**

**Table 6. Response to application of compost in terms of concentrations of nutrients in plants of the varieties Tacupeto F2001, Norman F2008, Imperial C2008 and CirnoC2008.**

	(N)	(P)	(K)	(Ca)	(Mg)
Pueblo Yaqui					
Norman F2008					
T1: Testigo	2.0 a	0.28 a	2.1 a	0.14 a	0.30 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	2.6 ab	0.56 b	3.4 b	0.25 b	0.40 b
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	3.0 c	0.69 b	4.4 b	0.26 b	0.42 b
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	3.3 c	0.54 b	2.5 a	0.34 b	0.42 b
Imperial C2008					
T1: Testigo	1.6 a	0.23 a	3.9 a	0.18 a	0.22 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	2.2 b	0.63 b	4.5 b	0.35 b	0.35 b
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	2.0 b	0.62 b	2.8 a	0.36 b	0.42 b
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	2.2 b	0.52 b	2.6 a	0.36 b	0.42 b
CETT-910					
Tacupeto F2001					
T1: Testigo	1.6 a	0.18 a	2.0 a	0.16 a	0.21 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	2.5 ab	0.68 b	2.6 b	0.33 b	0.35 b
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	3.4 c	0.54 b	2.4 b	0.42 b	0.36 b
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	3.6 c	0.60 b	2.5 b	0.42 b	0.40 b
Cirno C2008					
T1: Testigo	2.2 a	0.19 a	1.3 a	0.18 a	0.26 a
T2: 2.5 t ha <sup>-1</sup>	2.2 a	0.20 a	1.6 ab	0.32 b	0.40 b
T3: 5 t ha <sup>-1</sup>	2.6 b	0.39 b	1.8 ab	0.32 b	0.40 b
T4: 7.5 t ha <sup>-1</sup>	2.6 a	0.67 b	2.3 b	0.36 b	0.42 b

the control, and a yield of 12.8 t ha<sup>-1</sup>. According to Sarwar *et al.* (2007), yield was 4.2 t ha<sup>-1</sup> when applying the recommended dosage of inorganic fertilizer, whereas with the combined application of compost and inorganic fertilizer, yield increased to 5.73 t ha<sup>-1</sup>.

### Plant nutrient analysis

The concentration of the principal nutrients was significantly higher than that in the control: increases for nitrogen, calcium and magnesium were more than double, phosphorus was almost four times higher, and potassium nearly 60 % higher (Table 6). The percentage of nitrogen increased proportionally to the increase in the dosage of compost.

- Cruz-Lázaro, E., M. A. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández, y R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25: 59-67.
- Davis, D. D., L. J. Kuhns, and T. L. Harpster. 2005. Use of mushroom compost to suppress artillery fungi. *J. Environ. Hort.* 24: 212-215.
- Debaeke, P., P. Rouet, and E. Justes. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *J. Plant Nutr.* 29: 75-92.
- Eusuf, Z. A. K., T. Horiuchi, and T. Matsui. 2008. Effects of green manure and compost of pea plant on wheat. *Compost Sci. Util.* 16: 275-284.
- Frederick, J. R., and P. J. Bauer. 1999. Physiological and numerical components of wheat yield. In: Satorre, E. H., and G. A. Slafer (eds). *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Hawort Press Inc. pp: 503.
- Frederick, J. R., and J. J. Camberato. 1995a. Water and nitrogen effects on winter wheat in the southeastern Coastal Plain: I. Grain yield and kernel traits. *Agron. J.* 87: 521-526.
- Frederick, J. R., and J. J. Camberato. 1995b. Water and nitrogen effects on winter wheat in the southeastern Coastal Plain: II. Physiological responses. *Agron. J.* 87: 527-533.
- Fotovat R., M. Valizadeh, and M. Toorchi. 2007. Association between water-use efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (*Triticum aestivum* L.) under well-watered and drought stress conditions. *J. Food Agric. Environ.* 5: 225-227.
- Gutiérrez, R. M., M. P. Reynolds, E. J. A. Escalante, y S. A. Larqué. 2005. Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia Ergo Sum* 12: 149-154.
- HACH (2003). DR/2500 Spectrophotometer. Procedure manual. Hach company. USA. 790p.
- Haiyun, L. I., R., Qiuping, S. Shu'e. 2009. Study on Relation between SPAD Value and Chlorophyll Contents in 10 kinds Horticulture Woody Plants [J]. *Forest. Sci. Technol.* 3: 026.
- Hepperly, P., D. Lotter, C. Ziegler U., R. Seidel, and C. Reider. 2009. Compost, manure and synthetic fertilizer influences crop yields, soil properties, nitrate leaching and crop nutrient content. *Compost Sci. Util.* 17: 117-126.
- Ibrahim, M., A. Hassan, M. Iqbal, and E. E. Valeem. 2008. Response of wheat growth and yield to various levels of compost and organic manure. *Pak. J. Bot.* 40: 2135-2141.
- Iqbal, M., A. Hassan, and M. Ibrahim. 2008. Effects of tillage systems and mulch on soil physical quality parameters and maize (*Zea mays* L.) yield in semi-arid Pak. *Biol. Agric. Hort.* 25: 311-325.
- Keeling, A. A., K. R. McCallum, and C. P. Beckwith. 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. *Bioresource Technol.* 90: 127-132.
- Long, S. P., X. G. Zhu, S. L. Naidu, and D. R. Ort 2006. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant Cell Environ.* 29: 315-330.
- López, C., F. A. Lorente, and L. Romero. 2008. Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels? *J. Plant Nutr.* 17: 979-990.
- Incorporation of organic fertilizers increases phosphorus mobility and microbial activity in the soil; it improves the root system and crop nutrition (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2006; Millaleo *et al.*, 2006; Iqbal *et al.*, 2008). These concentrations of nitrogen are high, compared with other studies, and indicate that the crop was adequately nourished (Takahashi *et al.*, 2007; Eusuf *et al.*, 2008). According to Bartal *et al.* (2004) and Ahmad *et al.* (2007), total nitrogen, potassium and phosphorus contents increased significantly as a response to the combined application of compost and chemical fertilizer.

## CONCLUSIONS

In general, the nutritional needs of the hard and flour wheat varieties were met, and a better response was observed in the variables assessed in the compost treatments. Application of 5.0 t ha<sup>-1</sup> compost increased wheat yield by an average of 20 %.

—End of the English version—



- Man-Xing, Z. H. A. O., Z. H. O. U. Jian-Bin, Y. A. N. G. Rong, Z. H. E. N. G. Xian-Feng, Z. H. A. I. Bing-Nian, and L. I. Sheng-Xiu. 2006. Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dryland [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.* 02.
- Manjarrez-Martínez, M. J., R. Ferrera-Cerrato, y M. C. González-Chávez. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra* 17: 9-15.
- Millaleo, R., C. Montecinos, R. Rubio, A. Contreras, and F. Borie. 2006. Effect of compost addition on arbuscular mycorrhizal propagules in a southern Chilean ultsol. *Rev. Ciencia Suelo Nutr.* 6: 26-39.
- Ouda, B. A., and A. Y. Mahadeen. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea*). *Int. J. Agric. Biol.* 10: 627-632.
- Prost, L., and M. H. Jeuffroy. 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agron. Sustain. Dev.* 27: 1-10.
- Qazi, M. A., N. Akram, J. F. Artiola, and M. Tuller. 2009. Economical and environmental implications of solid waste compost applications to agricultural fields in Punjab, Pakistan. *Waste Manage.* 29: 2437-2445.
- Sarwar, G., N. Hussain, H. Schmeisky, and S. Muhammad. 2007. Use of compost an environment friendly technology for enhancing rice-wheat production in Pakistan. *Pak. J. Bot.* 39: 1553-1558.

- Sarwar, G., H. Schmeisky, N. Hussain, S. Muhammad, M. Ibrahim, and E. Safdar. 2008. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. *Pak. J. Bot.* 40: 275-282.
- Sarwar, G., H. Schmeisky, N. Hussain, S. Muhammad, M. A. Tahir, and U. Saleem. 2009. Variations in nutrient concentrations of wheat and paddy as affected by different levels of compost and chemical fertilizer in normal soil. *Pak. J. Bot.* 41: 2403-2410.
- Sefidkoochi, A. A., M. G. Sepanlou, and M. A. Bahmanyar. 2012. Investigating the effects of long-term application of compost-like output on wheat yield and N, P and K in kernel and soil under planting. *Afr. J. Agric Res.* 7: 2215-2224.
- Siddique, K. H. M., E. J. M. Kirby, and M. W. Perry. 1989. Ear-to-stem ratio in old and modern wheats: relationship with improvement in number of grain per ear and yield. *Field Crops Res.* 21: 59-64.
- Singer, J. W., K. A. Kohler, M. T. Liebman, L. Richard, C. A. Cambardella, and D. D. Buhler. 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean, and wheat and soil fertility. *Agron. J.* 96: 531-537.
- Slafer, G. A., F. H. Andrade, and E. H. Satorre. 1990. Genetic-improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. *Field Crops Res.* 23 (3): 255-263.
- Sodhi, G. P. S., V. Beri, and D. K. Benbi. 2009. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system. *Soil Tillage Res.* 103: 412-418.
- Spaner, D., A. G. Todd, A. Navabi, D. B. McKenzie, and L. A. Goonewardene. 2005. Can leaf chlorophyll measures at differing growth stages be used as an indicator of winter wheat and spring barley nitrogen requirements in Eastern Canada? *J. Agron. Crop Sci.* 191: 393-399.
- Takahashi, S., R. A. Muhuddin, and G. V. Sharon. 2007. Effects of compost and nitrogen fertilizer on wheat nitrogen use in Japanese soils. *Agron. J.* 99: 1151-1157.
- Tejada, M., C. Benitez, and J. L. Gonzalez. 2005. Effects of application of two organomineral fertilizers on nutrient leaching losses and wheat crop. *Agron J.* 97: 960-967.
- Tejada, M., and J. L. Gonzalez. 2007. Application of different organic wastes on soil properties and wheat yield. *Agron. J.* 99: 1597-1606.
- Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki, and H. Pleijel. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth Res.* 91: 37-46.
- Xiao, Y. G., Z. G. Qian, K. Wu, J. J. Liu, X. C. Xia, W. Q. Ji, and Z. H. He. 2012. Genetic gains in grain yield and physiological traits of winter wheat in Shandong Province, China, from 1969 to 2006. *Crop Sci.* 52: 44-56.
- Xu, H. L. 2001. Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. *J. Crop Prod.* 3: 183-214.
- Xu, H. L., R. Wang, and M. A. U. Mridha. 2000. Effects of organic fertilizers and a microbial inoculant on leaf photosynthesis and fruit yield and quality of tomato plants. *J. Crop Prod.* 3: 173-182.