

# REPLACING CLEAN FALLOW WITH MINIMUM TILLED PULSE LEGUME IN A SUBTROPICAL DRYLAND AT POTHWAR, PAKISTAN

## REEMPLAZO DE BARBECHO LIMPIO CON ARADO MÍNIMO Y LEGUMINOSA EN UN SUBTRÓPICO SECO DE POTHWAR, PAQUISTÁN

Shahzada **Sohail-Ijaz**\* and Safdar Ali

Department of Soil Science & SWC, PMAS-Arid Agriculture, University Rawalpindi, Pakistan.  
(shahzadasohail@gmail.com).

### ABSTRACT

Clean fallowing has been criticized in the recent past due to the fact that it causes accelerated soil erosion, emission of CO<sub>2</sub> to the atmosphere and reduction in farm income. In an effort to reduce fallowing in Pothwar, Pakistan, field experiments were carried out from 2005 through 2008 at three locations (Rawalpindi, Chakwal and Fateh Jang). The experimental design was split-plot and treatments were applied as follows: conventional cultivator, moldboard plow and minimum tillage in main plots; fallow, legume (mungbean, *Vigna radiata*) and mulch of wheat straw were used in sub plots. Wheat (*Triticum aestivum*) was planted in all the subplots during winter. All the treatment plots had equivalent volumetric water content at wheat planting. Consequently, the wheat biomass and grain yields were also statistically equivalent under all the applied treatments. The average yields were 7.37, 6.19 and 4.27 Mg ha<sup>-1</sup> for wheat biomass and 3.06, 3.56 and 1.6 Mg ha<sup>-1</sup> for wheat grain yield at Rawalpindi, Chakwal and Fateh Jang sites. Irrespective of the tillage system, summer legume treatment had the highest average gross margins of 55 924, 37 864 and 33 722 rupees (1 dollar = 80 Rs.) and efficiency coefficients of 4.20, 2.86 and 2.54, at Rawalpindi, Chakwal and Fateh Jang sites. The three-year consistent results allow concluding that replacing intensively tilled summer fallow with minimum tilled grain legume provides equivalent wheat yield to conventional practices while increasing income.

**Key words:** fallow, tillage, mungbean, soil water content, wheat, gross margins.

### RESUMEN

El uso de barbecho limpio ha sido criticado en los últimos años debido a que causa una erosión rápida del suelo, emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y reducción de los ingresos agrícolas. En un esfuerzo por reducir el uso de barbecho en Pothwar, Pakistán, se realizaron experimentos de campo entre 2005 y 2008 en tres localidades (Rawalpindi, Chakwal y Fateh Jang). El diseño experimental fue parcelas divididas y los tratamientos fueron así: cultivador convencional, arado de vertedera y labranza mínima en las parcelas principales; barbecho, leguminosas (frijol mungo, *Vigna radiata*) y la capa de paja de trigo se usaron en las subparcelas. Se plantó trigo (*Triticum aestivum*) en todas las subparcelas durante el invierno. Todas las parcelas de tratamiento tenían un contenido volumétrico de agua equivalente a la siembra de trigo. En consecuencia, los rendimientos de biomasa y grano de trigo también fueron estadísticamente equivalentes en todos los tratamientos aplicados. Los rendimientos promedio fueron 7.37, 6.19 y 4.27 Mg ha<sup>-1</sup> para la biomasa de trigo y 3.06, 3.56 y 1.6 Mg ha<sup>-1</sup> para el rendimiento de grano de trigo en los sitios de Rawalpindi, Chakwal y Fateh Jang. Independientemente del sistema de labranza, el tratamiento de verano de leguminosas tuvo el mayor margen bruto promedio de 55 924, 37 864 y 33 722 rupias (1 dólar = 80 Rs.) y los coeficientes de eficiencia de 4.20, 2.86 y 2.54, en Rawalpindi, Chakwal y Fateh Jang. Los sólidos resultados de tres años permiten concluir que el reemplazo del barbecho intensivo de verano por leguminosas de grano con cultivo mínimo proporciona un rendimiento de trigo equivalente a las prácticas convencionales y aumenta los ingresos.

**Palabras clave:** barbecho, labranza, frijol mungo, contenido de agua del suelo, trigo, márgenes brutos.

### INTRODUCCIÓN

En la meseta de Pothwar con agricultura de temporal (32° 10' a 34° 9' N y 71° 10' a 73° 55' E), en Pakistán, la precipitación total es

\*Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: October, 2009. Approved: December, 2010.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 45: 43-53. 2011.

## INTRODUCTION

In the rainfed Pothwar plateau (32° 10' to 34° 9' N and 71° 10' to 73° 55' E), Pakistan, total rainfall is adequate for crop production; however, seasonal rainfall patterns do not coincide with plant growth requirements, especially wheat (Sahi *et al.*, 1997). Wheat is planted in winter, while about 60-70 % of total annual rainfall takes place during summer (Nizami *et al.*, 2004). In order to meet the moisture requirement of winter wheat, a six-month summer fallowing is a common practice in the area. The farmers perform around 10 plowings during a single fallow period to control weeds and conserve moisture. Excessive plowing not only accentuates the erosion problem, but also increases CO<sub>2</sub> released to the atmosphere which in turn adds up to global warming. The strategy suggested to face this problem is to grow cover crops and perform conservation tillage practices during summer period (Lal, 2004).

When used as cover crops, legumes reduce the surface evaporation and soil erosion; besides, they improve soil quality by increasing organic matter content, structure, water holding capacity and nutrient availability (Buresh and Dedatta, 1991; Lawrence *et al.*, 2008). Cereals cropped in sequence with legumes derive N benefits from them, compared with cereal monoculture. The benefits in legume-cereal rotations have been attributed entirely to the transfer of biologically fixed N (Munyinda *et al.*, 1998). Such benefits are more important for farmers in rainfed areas who practice low-input agriculture because of high risk due to climatic uncertainties. However, there is a risk that the summer legume may use soil moisture and leave the soil drier for the ensuing wheat.

Conservation tillage systems produce equal or even higher crop yields in many regions along with saving time, fuel, money and soil. By definition, they include any system with 30 % residue remaining after planting (Eltiti, 2003); also, they include minimum tillage, mulch tillage and even no tillage. However, performance of conservation tillage systems is not consistent in different agro-ecological conditions. Some studies showed no difference between conventional and reduced tillage (Schillinger, 2001; Lampurlanes *et al.*, 2002). Even negative results, in terms of moisture conservation and crop yield, have

adeuada para la producción agrícola; sin embargo, los patrones estacionales de lluvia no coinciden con los requisitos de crecimiento de las plantas, especialmente de trigo (Sahi *et al.*, 1997). El trigo se siembra en invierno, mientras que 60-70 % de la precipitación total anual ocurre en el verano (Nizami *et al.*, 2004). Para cumplir con el requisito de humedad del trigo de invierno, un barbecho de verano de seis meses es práctica común en la zona. Los agricultores realizan alrededor de 10 arados durante un sólo período de barbecho para controlar el crecimiento de arvenses y conservar la humedad. La labranza excesiva acentúa el problema de la erosión, y también aumenta la liberación de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera, que a su vez se suma al calentamiento global. La estrategia propuesta para este problema es usar cultivos de cobertera y efectuar prácticas de labranza de conservación durante el período de verano (Lal, 2004).

Cuando las leguminosas se usan como cultivos de cobertera, se reduce la evaporación de la superficie y la erosión del suelo; además, mejoran la calidad del suelo al aumentar el contenido de materia orgánica, la estructura, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes (Buresh y Dedatta, 1991; Lawrence *et al.*, 2008). Los cereales cultivados después de las leguminosas derivan beneficios de N de éstas, en comparación con el monocultivo de cereales. Los beneficios en las rotaciones de cereales y leguminosas se atribuyen enteramente a la transferencia de N fijado biológicamente (Munyinda *et al.*, 1998). Estos beneficios son más importantes para los agricultores de zonas de agricultura de temporal que practican la actividad agrícola de bajos insumos debido al alto riesgo por incertidumbres climáticas. Sin embargo, hay riesgo de que las leguminosas de verano utilicen la humedad del suelo y dejen el suelo seco para la siguiente siembra de trigo.

Los sistemas de labranza de conservación producen un rendimiento de las cosechas igual o incluso mayor en muchas regiones, además economizar tiempo, combustible, dinero y suelo. Por definición, incluyen cualquier sistema con un 30 % de residuo que queda después de la siembra (Eltiti, 2003), e incluyen también la labranza mínima, la labranza de mantillo e incluso la cero labranza. Sin embargo, el rendimiento de los sistemas de labranza de conservación no es igual en condiciones agroecológicas diferentes. Algunos estudios no revelaron diferencias entre la labranza convencional y la reducida (Schillinger, 2001;

been reported for no-till fallow (Cooke *et al.*, 1985). Thus, crop residues, soil type and properties, type and depth of tillage and various climatic conditions could modify the effects of tillage practices on various soil properties (Singh and Malhi, 2006).

Therefore, this study was carried out in Pothwar plateau, Pakistan, in order to evaluate double cropping summer grain legume with wheat and minimum tillage system as an alternative to excessively tilled clean fallowing.

## MATERIALS AND METHODS

### Locations, climatic conditions and soils

The field experiments were carried out from summer 2005 until 2008, in the Pothwar plateau region, Pakistan, at three sites selected on the basis of annual rainfall: a research farm at PMAS-Arid Agriculture University Rawalpindi (1037 mm) and farmer's fields at Fateh Jang (862 mm) and Chakwal (640 mm). The rainfall incidence pattern in these areas is of bi-model type with maxima occurring in late summer and during the winter-spring periods (Figure 1); about 70 % of the total annual rainfall is during summer rainy season (monsoon rains). Temperature during summer ranges from 36 to 42 °C with maximum of 48 °C (Nizami *et al.*, 2004). As reported by Soil Survey of Pakistan (GOP, 1974), the soil at Rawalpindi site (33° 38' N, 73° 05' E) belongs to Rawalpindi soil series and both the Fateh Jang site (33° 36' N, 72° 48' E) and the Chakwal site (33° 03' N, 72° 50' E) belong to Guliana soil series, all classified as Typic Ustochrepts. The physical and chemical characteristics of these soils, such as texture (Gee and Bauder, 1982), pH (Thomas, 1996), electrical conductivity (Rhoades, 1996), available P (Kuo, 1996), extractable K (Ryan and Garabet, 1994), nitrate-N (Anderson and Ingram, 1993) and soil organic carbon (Nelson and Sommers, 2005) are shown in Table 1.

### Treatments and field operations

During summer, different management practices were administered in a split-plot randomized complete block design with three replications. Main plot treatments were tillage systems which included conventional cultivator (CC), moldboard plowing (MB) and minimum tillage (MT). Sub-plot treatments were different soil cover practices: fallow (FA), mungbean (*Vigna radiata*) as legume (LE), and mulch (MU) of chopped wheat straw. The main plot size was 6 m × 16 m each divided into three equal sub-plots of 6 m × 5 m.

Lampurlanes *et al.*, 2002). Incluso se han reportado resultados negativos para cero labranza (Cooke *et al.*, 1985), respecto a la conservación de la humedad y rendimiento de los cultivos. Así, los residuos de cosecha, el tipo de suelo y sus propiedades, el tipo y profundidad de la labranza y diversas condiciones climáticas podrían modificar los efectos de las prácticas de labranza en las diferentes propiedades del suelo (Singh y Malhi, 2006).

Por tanto, este estudio se realizó en la meseta de Pothwar, Pakistán, para evaluar el doble cultivo de leguminosas de grano de verano con trigo y el sistema de labranza mínima como alternativa a la excesiva labranza del barbecho limpio.

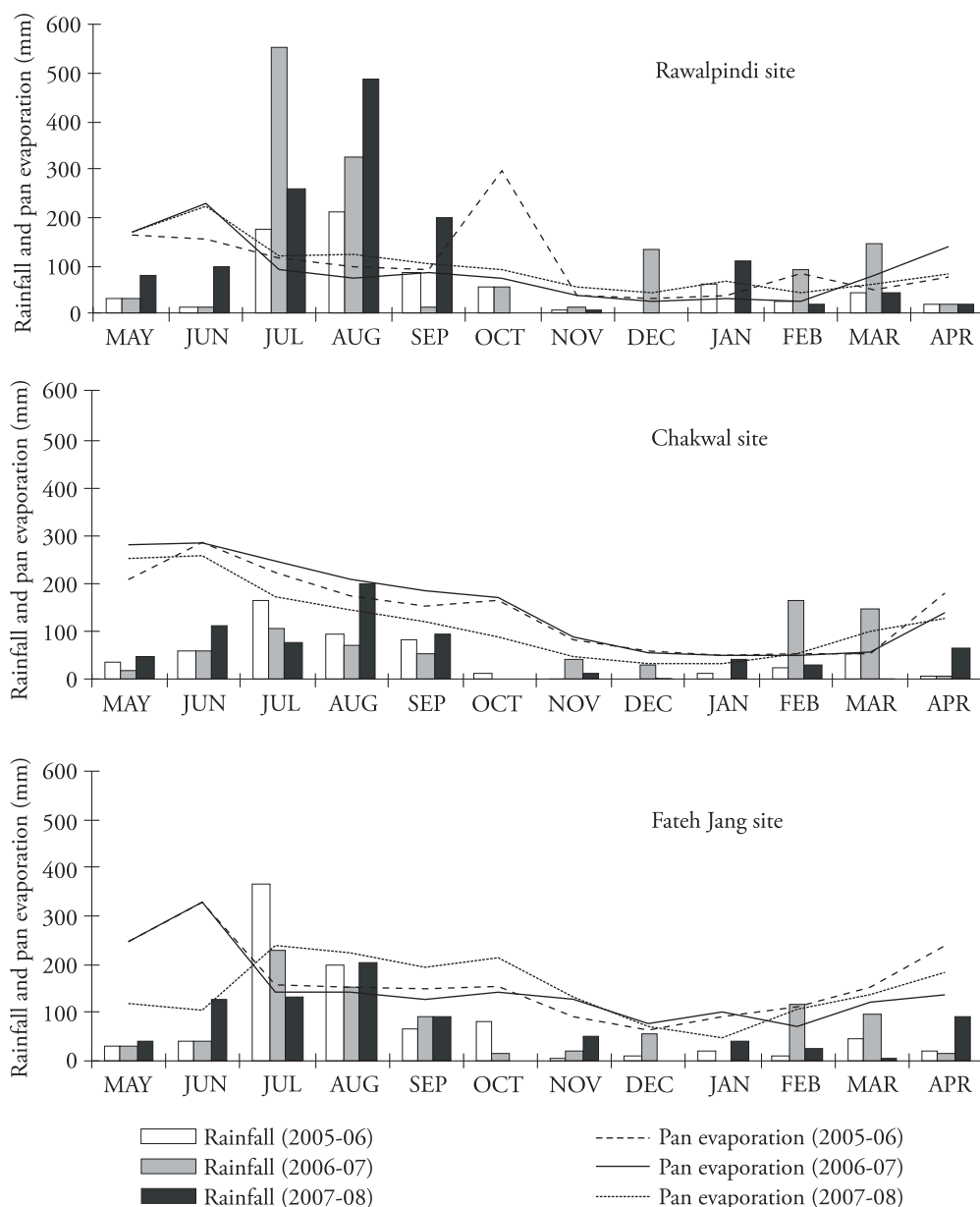
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Locaciones, condiciones climáticas y suelos

Los experimentos de campo se realizaron del verano de 2005 hasta el 2008, en la región de la meseta Pothwar, Pakistán, en tres sitios seleccionados sobre la base de las precipitaciones anuales: una granja de investigación en PMAS-Arid Agriculture University Rawalpindi (1037 mm); y campos de agricultores en Fateh Jang (862 mm) y Chakwal (640 mm). El patrón de incidencia de las precipitaciones en estas zonas es del tipo bi-modelo con los máximos niveles registrados a finales del verano y durante los períodos de invierno y primavera (Figura 1); alrededor del 70 % de la precipitación total anual ocurre durante la temporada de lluvias de verano (las lluvias del monzón). La temperatura en el verano oscila entre 36 y 42 °C, con niveles máximos de 48 °C (Nizami *et al.*, 2004). Como lo informó Soil Survey de Pakistán (GOP, 1974), el suelo en el lugar de Rawalpindi (33° 38' N, 73° 05' E) pertenece a la serie de suelo Rawalpindi y tanto el sitio de Fateh Jang (33° 36' N, 72° 48' E) y el de Chakwal (33° 03' N, 72° 50' E) pertenecen a la serie de suelos Guliana, todos ellos clasificados como Typic Ustochrepts. En el Cuadro 1 se muestran las características físicas y químicas de estos suelos, tales como la textura (Gee y Bauder, 1982), el pH (Thomas, 1996), la conductividad eléctrica (Rhoades, 1996), el P disponible (Kuo, 1996), el K extraíble (Ryan y Garabet, 1994), el nitrato-N (Anderson e Ingram, 1993), y el carbono orgánico del suelo (Nelson y Sommers, 2005).

### Tratamientos y preparación del terreno

Durante el verano, se usaron diferentes prácticas de gestión en un diseño de parcelas divididas al azar en bloques con tres repeticiones. Los tratamientos en las principales parcelas fueron



**Figure 1. Monthly rainfall and pan evaporation data at three sites, in Pothwar, Pakistan.**  
**Figura 1. Precipitaciones mensuales y datos de evaporación de bandeja en tres sitios, en Pothwar, Pakistán.**

The CC treatment was standard farmer practice for the area and involved sweep cultivation to a depth of 15 cm, MB was applied to a tillage depth of 25 cm and MT had no tillage applied prior to planting. Weed control in MT was done by repeated applications of glyphosate to ensure weed free conditions. Wheat straw was applied ( $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) to MU treatments after tillage and tilled lightly into the soil. Mungbean was sown ( $20 \text{ kg seed ha}^{-1}$ ) as a grain legume crop. Mungbean grain yield data was recorded by harvesting samples from a  $1 \text{ m}^2$  area at maturity.

Wheat was sown ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) with seed drill during the first week of November in each year (2005-2008). All the

los sistemas de labranza con cultivador convencional (CC), arado de vertedera (MB) y labranza mínima (MT). Los tratamientos en las subparcelas fueron prácticas de cobertera del suelo: barbecho (FA), frijol mungo (*Vigna radiata*) como leguminosa (LE), y mantillo (MU) de paja de trigo picado. El tamaño de las parcelas principales fue  $6 \text{ m} \times 16 \text{ m}$ , cada una dividida en tres sub-parcelas iguales de  $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ .

El tratamiento CC fue una práctica estándar para los agricultores de la zona e incluyó el cultivo de barrido a una profundidad de 15 cm. El MB se aplicó a una profundidad de labranza de 25 cm y el MT no tuvo labranza antes de la siembra. El control de

**Table 1. Physicochemical characteristics of soils at three experimental sites, in Pothwar, Pakistan.**  
**Cuadro 1. Características físico-químicas de los suelos en tres sitios experimentales, en Pothwar, Pakistán.**

Soil character <sup>†</sup>	Mean values		
	Rawalpindi site	Fateh Jang site	Chakwal site
Soil texture	Silty clay loam	Silt loam	Silt loam
Soil pH	7.70	7.60	8.00
Electrical conductivity (EC)(dSm <sup>-1</sup> )	0.25	0.55	0.17
Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> )			
0-30 cm depth	1.40	1.27	1.42
30-60 cm depth	1.52	1.37	1.57
60-90 cm depth	1.60	1.44	1.60
Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	6.50	4.00	3.40
Extractable K (mg kg <sup>-1</sup> )	130	168	177
Nitrate-N (mg kg <sup>-1</sup> )	3.84	3.00	3.02
Soil organic carbon (SOC)(Mg ha <sup>-1</sup> )	6.1	4.5	3.4
Taxonomy	Rawalpindi series, Typic Ustochrepts	Guliana series, Typic Ustochrepts	Guliana series, Typic Ustochrepts

<sup>†</sup> The depth of the soil sampling for variables other than bulk density was 0-30 cm ❖ <sup>†</sup> La profundidad del muestreo de suelo para otras variables además de la densidad aparente fue de 0 a 30 cm.

plots received 80 kg N ha<sup>-1</sup> (as urea) and 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (diamonium phosphate, DAP) as side dressing. No K fertilization was necessary. Wheat was manually harvested with a sickle in May.

#### Sampling and data collection

Soil moisture content at wheat plantation was determined to a depth of 1 m using a soil core. Volumetric water content (VWC) was calculated by the method described by Brady and Weil (2002). Wheat biomass and wheat grain yield were measured by harvesting the entire sub-plot. Rainfall and evaporation data were obtained from Regional Agro-met Centers (Figure 1).

#### Economic analysis

Gross margins and efficiency coefficients were calculated to determine the profitability of treatment combinations. The gross margin is gross income less the variable costs incurred in achieving that income. Variable costs were those which were directly attributable to the enterprise: *e. g.* tillage, weed control, seeding, fertilization and harvest operations. The gross margin was not equivalent to gross profit because it did not include fixed or overhead costs such as depreciation, interest payments or permanent labor, all of which had to be met regardless of enterprise size (Scott, 2001).

The efficiency coefficient was calculated by dividing gross income with the total variable cost incurred for achieving that income. It was assumed that sowing, fertilizer spreading and

arvenses en MT se llevó a cabo con reiteradas aplicaciones de glifosato para garantizar su eliminación. La paja de trigo se aplicó (4 Mg ha<sup>-1</sup>) a los tratamientos MU después de la labranza y labranza ligera en el suelo. Se sembró frijol mungo (20 kg de semilla ha<sup>-1</sup>) como cultivo de leguminosas de grano. Los datos del rendimiento del frijol mungo de grano se registraron al cosechar muestras de un área de 1 m<sup>2</sup> en la madurez.

El trigo (60 kg ha<sup>-1</sup>) se sembró con sembradora durante la primera semana de noviembre de cada año (2005-2008). Todas las parcelas recibieron 80 kg N ha<sup>-1</sup> (como urea) y 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (fosfato diamónico, FDA) como cobertura lateral. No fue necesario fertilizar con K. El trigo se cosechó a mano con una hoz en mayo.

#### Muestreo y recolección de datos

El contenido de humedad del suelo en la plantación de trigo se determinó a una profundidad de 1 m usando una muestra de suelo. El contenido volumétrico de agua (VWC) se calculó mediante el método descrito por Brady y Weil (2002). La biomasa de trigo y el rendimiento de grano se midieron al cosechar toda la sub-parcela. Los datos de precipitación y evaporación se obtuvieron de los Regional Agro-met Centers (estaciones meteorológicas regionales para el agro)(Figura 1).

#### Análisis económico

Los márgenes brutos y los coeficientes de eficiencia se calcularon para determinar la rentabilidad de las combinaciones

harvesting were carried out through family labor. Estimated time for one time tillage was 2 h with cultivator and 3 h ha<sup>-1</sup> with MB. All input costs and output prices used in the economic calculations were those recorded during the experiment (Table 2).

### Statistical analysis

The experimental design was a split plot and an analysis of variance was performed to analyze the data. The LSD test ( $p \leq 0.05$ ) was used to compare treatment means (Gomez and Gomez, 1984). The MSTAT-C software (MSTAT-C, 1988) was used for all the statistical analysis.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Soil profile moisture

The volumetric water content (VWC) in 90 cm soil profiles at wheat planting was statistically similar ( $p > 0.05$ ; Table 3) under all the summer treatments; that is, during summer there were no differences for capture and retention of rainwater between treatments. These results agree with those reported by Gill *et al.* (2000) and Chaudhry *et al.* (1990), who observed that soil water contents did not vary among tillage systems. The non-significant differences in the mulched plots might be explained by a very fast decomposition of organic residues in the area due to a combined effect of high temperatures, low rainfall and alkaline soils (Rashid and Memon, 1996). The

**Table 2. Cost of inputs and prices of produce for economic analysis.**

**Cuadro 2. Costo de los insumos y precios de los productos para el análisis económico.**

Item	Unit	Unit cost / Price (rupees) <sup>†</sup>
Tractor rent	h	275
Herbicide	L	470
Wheat seed	kg	15.50
Fertilizer urea	Per 50 kg bag	535
Fertilizer DAP	Per 50 kg bag	1140
Threshing	h	1250
Wheat grain	Per 40 kg	425
Wheat straw	Per 40 kg	80
Mungbean seed	kg	30
Mungbean grain	kg	25

<sup>†</sup>1 dollar = 80 rupees (Rs.). <sup>‡</sup>1 dólar = 80 rupias (Rs.).

de tratamientos. El margen bruto es el ingreso bruto menos los costos variables realizados para lograr ese ingreso. Los costos variables son los directamente atribuibles a la empresa: *e. g.* labranza, control de arvenses, siembra, fertilización y operaciones de cosecha. El margen bruto no equivalió a la utilidad bruta; porque no incluyó los gastos fijos o generales, tales como la depreciación, los pagos de intereses o mano de obra permanente, todo lo cual tenía que cumplirse independientemente del tamaño de la empresa (Scott, 2001).

El coeficiente de eficiencia se calculó dividiendo la utilidad bruta con el costo variable total incurrido para alcanzar dicho ingreso. Se supone que la siembra, la dispersión de fertilizantes y la cosecha se realizaron con mano de obra familiar. El tiempo estimado para un período de labranza fue 2 h con cultivador y 3 h ha<sup>-1</sup> con MB. Todos los costos de los insumos y los gastos de producción usados en los cálculos económicos fueron los registrados durante el experimento (Cuadro 2).

### Análisis estadístico

El diseño experimental fue de parcelas divididas y se realizó un análisis de varianza con los datos. La prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ) se utilizó para comparar las medias de tratamientos (Gomez y Gómez, 1984). El software MSTAT-C (MSTAT-C, 1988) se utilizó para todos los análisis estadísticos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Perfil de humedad del suelo

El contenido volumétrico de agua (VWC) en perfiles de suelo de 90 cm durante la siembra de trigo fue estadísticamente similar ( $p > 0.05$ ; Cuadro 3) en todos los tratamientos de verano; es decir, durante el verano no hubo diferencias en la captura y retención de agua de lluvia entre los tratamientos. Estos resultados coinciden con los reportados por Gill *et al.* (2000) y Chaudhry *et al.* (1990), que observaron que el contenido de agua del suelo no varió en los sistemas de labranza. Las diferencias no significativas en las parcelas de cobertura vegetal podría explicarse por una muy rápida descomposición de residuos orgánicos en la zona, debido a una combinación de altas temperaturas, escasa precipitación y suelos alcalinos (Rashid y Memon, 1996). La paja agregada estaba picada y se incorporó lentamente en el suelo con el cultivo, para evitar pérdidas causadas por la acción del viento; sin embargo, la descomposición de la paja picada debido a la temperatura se aceleró, dejando el

**Table 3. Volumetric water content at wheat sowing under different summer management practices.**  
**Cuadro 3. Contenido volumétrico de agua durante la siembra de trigo bajo diferentes prácticas de manejo en verano.**

	Volumetric water content (m m <sup>-1</sup> )								
	Rawalpindi site			Chakwal site			Fateh Jang site		
	2005-06	2006-07	2007-08	2005-06	2006-07	2007-08	2005-06	2006-07	2007-08
Tillage systems <sup>†</sup>									
CC	18	22	19	15	22	10	16	21	14
MB	20	23	20	17	24	10	18	23	15
MT	20	22	19	16	23	12	17	22	16
Soil cover practices <sup>‡</sup>									
FA	19	23	19	16	23	10	17	22	15
LE	19	22	19	16	23	11	17	22	15
MU	19	22	19	16	23	11	17	22	15

<sup>†</sup> Tillage systems: CC = conventional cultivation; MB = moldboard plow; MT = minimum tillage. <sup>‡</sup> Soil cover practices: FA = fallow; LE = legume (*Vigna radiata*); MU = mulch (wheat straw). <sup>v</sup> Sistemas de labranza: CC = cultivo convencional; MB = arado de veredera; MT = labranza mínima. <sup>‡</sup> Prácticas de cobertera del suelo: FA = barbecho; LE = leguminosa (*Vigna radiata*); MU = mantillo (paja de trigo).

straw applied was chopped and slowly incorporated into soil by cultivation, thus avoiding losses caused by wind blowing; however, the temperature-driven decomposition of chopped straw was accelerated, leaving the soil unprotected against evaporation. Moreover, the weed control in the case of CC and MB was carried out by repeated cultivation, which furthered an early decomposition of the chopped straw. Lopez *et al.* (1996) observed that immediately after primary tillage, the initial 60 % of crop residue decreased to less than 1 % in conventional tillage and 12 % in reduced tillage. Equal moisture capture and storage by different management practices have also been reported by Fuentes *et al.* (2003) in Washington State (USA), Latta and O'Leary (2003) in Walpepup (Victoria, Australia), and Schillinger (2001) in Tribune (Kansas, USA).

### Wheat biomass and grain yields

There were no statistical differences ( $p > 0.05$ ) between treatments for wheat biomass (Table 4) and grain yields (Table 5) which may be due to the fact that VWC was equivalent at wheat planting (Table 3), considering that moisture is the main limiting factor for crop production in the Pothwar plateau. These results are in agreement with findings by Mohammad *et al.* (2006) who, in long-term field

suelo desprotegido frente a la evaporación. Además, el control de arvenses en el caso de CC y MB se analizó mediante la repetición del cultivo, lo cual promovió una descomposición acelerada de la paja picada. López *et al.* (1996) observaron que inmediatamente después de la labranza primaria, el 60 % inicial de los residuos de cultivos disminuyó a menos del 1 % en labranza convencional y 12 % en labranza reducida. La captura de igual humedad y su almacenamiento con diferentes prácticas de manejo también han sido reportados por Fuentes *et al.* (2003) en el estado de Washington (EE.UU.), Latta y O'Leary (2003) en Walpepup (Victoria, Australia), y Schillinger (2001) en Tribune (Kansas, EE.UU.).

### Biomasa de trigo y rendimiento de grano

No hubo diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos para los rendimientos de biomasa (Cuadro 4) y grano de trigo (Cuadro 5); esto puede deberse a que el contenido volumétrico de agua (VWC por sus siglas en inglés) era equivalente al sembrar el trigo (Cuadro 3), considerando que la humedad es el principal factor limitante para la producción de cultivos en la meseta Pothwar. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Mohammad *et al.* (2006) que, en experimentos a largo plazo en el campo, en las zonas de agricultura de temporal,

**Table 4. Wheat biomass under different summer management practices.**  
**Cuadro 4. Biomasa de trigo bajo diferentes prácticas de manejo de verano.**

	Wheat biomass yield (Mg ha <sup>-1</sup> )								
	Rawalpindi site			Chakwal site			Fateh Jang site		
	2005-06	2006-07	2007-08	2005-06	2006-07	2007-08	2005-06	2006-07	2007-08
Tillage systems <sup>†</sup>									
CC	4.59	7.98	10.00	4.07	6.90	6.57	4.36	5.47	1.32
MB	5.69	8.09	11.25	5.06	6.71	8.49	5.34	5.17	1.30
MT	5.09	7.94	9.56	4.61	6.51	7.32	4.96	5.38	2.81
Soil cover practices <sup>‡</sup>									
FA	5.10	7.70	6.84	4.55	6.48	6.60	4.75	5.10	2.62
LE	5.10	7.69	8.53	4.58	6.34	7.54	5.02	5.78	3.84
MU	5.18	8.11	8.15	4.62	7.01	7.24	4.88	5.34	3.35

<sup>†</sup> Tillage systems: CC = conventional cultivation; MB = moldboard plow; MT = minimum tillage. <sup>‡</sup> Soil cover practices: FA = fallow; LE = legume (*Vigna radiata*); MU = mulch (wheat straw) v <sup>†</sup> Sistemas de labranza: CC = cultivo convencional; MB = arado de vertedera; MT = labranza mínima. <sup>‡</sup> Prácticas de cobertera del suelo: FA = barbecho; LE = leguminosa (*Vigna radiata*); MU = mantillo (paja de trigo).

**Table 5. Wheat grain yield under different summer management practices.**  
**Cuadro 5. Rendimiento del grano de trigo bajo diferentes prácticas de manejo de verano.**

	Wheat grain yield (Mg ha <sup>-1</sup> )								
	Rawalpindi site			Chakwal site			Fateh Jang site		
	2005-06	2006-07	2007-08	2005-06	2006-07	2007-08	2005-06	2006-07	2007-08
Tillage systems <sup>†</sup>									
CC	1.58	3.38	3.75	1.40	2.95	2.40	1.47	2.19	0.95
MB	1.94	3.45	4.29	1.73	3.23	2.09	1.80	2.18	0.99
MT	1.76	3.42	3.97	1.55	2.95	1.79	1.69	2.34	1.19
Soil cover practices <sup>‡</sup>									
FA	1.75	3.28	3.82	1.53	2.91	2.16	1.61	2.15	0.57
LE	1.74	3.34	4.05	1.58	2.96	2.03	1.71	2.27	1.60
MU	1.79	3.63	4.15	1.57	3.25	2.09	1.65	2.34	0.97

<sup>†</sup> Tillage systems: CC = conventional cultivation; MB = moldboard plow; MT = minimum tillage. <sup>‡</sup> Soil cover practices: FA = fallow; LE = legume (*Vigna radiata*); MU = mulch (wheat straw) v <sup>†</sup> Sistemas de labranza: CC = cultivo convencional; MB = arado de vertedera; MT = labranza mínima. <sup>‡</sup> Prácticas de cobertera del suelo: FA = barbecho; LE = leguminosa (*Vigna radiata*); MU = mantillo (paja de trigo).

experiments in rainfed areas of the North Western Frontier Province (Pakistan), observed that almost identical wheat yields under different tillage systems were explained by similar water content; besides, Mrabet (2000) found that tillage systems (traditional, MB, MT and NT) did not change biomass and grain yield of wheat.

en la Provincia de la Frontera Noroccidental (Pakistán), observaron que rendimientos de trigo casi idénticos bajo diferentes sistemas de labranza se debían a que el contenido de agua era similar; además, Mrabet (2000) encontró que los sistemas de labranza (tradicional, MB, MT y NT) no cambiaron los rendimientos de biomasa y grano de trigo.



### Gross margins and efficiency coefficients

Gross margins (GM) in rupees per hectare (1 dollar = 80 rupees, Rs.) at three locations (average of three years) are shown in Figure 2A. The highest GM (Rs. 62 321) was recorded under combination of MB with legume at the Rawalpindi site, followed by combination of CC with legume (Rs. 53 849) and MT with legume (Rs. 51 602). The trend was same at the Fateh Jang site, where the highest GM (Rs. 40 497) was for MB with legume, followed by CC with legume (Rs. 37 066) and by MT with legume (Rs. 36 030). At Chakwal site, the highest GM (Rs. 37 083) was for CC with legume, followed by MB with legume (Rs. 35 248), CC (Rs. 30 706) and by MT with legume (Rs. 28 835).

The best return on investment does not necessarily correlate with gross margin, since costs were different for each treatment in our study. Thus, in order to select the treatments with the best return per rupee invested, the efficiency coefficient was calculated (Figure B): 1) at Rawalpindi site the efficiency coefficients were 4.27 for MB with legume, 4.21 for CC with legume and 4.13 for MT; 2) at Fateh Jang site the efficiency coefficients were 2.90 for CC with legume, 2.89 for MT with legume and 2.78 for MB with legume; 3) at Chakwal site the efficiency coefficients were 2.90 for CC with legume, 2.42 for MB with legume and 2.31 for MT with legume.

The analyses of the results indicate that the grain yields were statistically similar between treatments. However, the legume elicited a better economical combination across the three tillage systems, higher gross margins and efficiency coefficients at the three locations, as well as additional income during summer. The application of mulch did not provide an adequate return on investment because of the high input cost of wheat straw.

### CONCLUSIONS

The three-year results were consistent which allows concluding that replacing intensively tilled clean fallow with minimum tilled mungbean provides a viable and profitable option in the experimental area. However, application of wheat straw as mulch is not economically adequate.

### Márgenes brutos y coeficientes de eficiencia

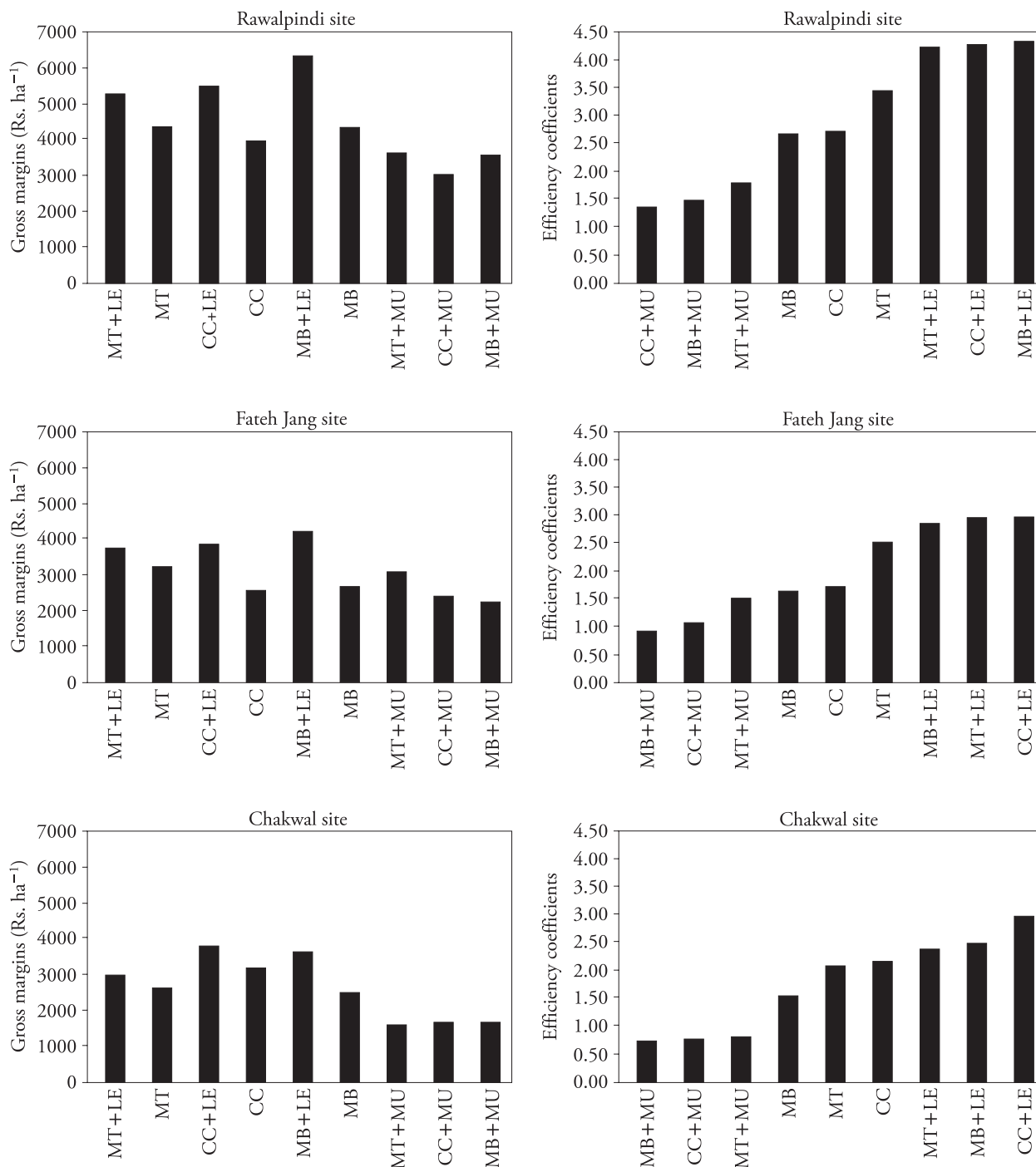
En la Figura 2A se presentan los márgenes brutos (GM) en rupias por hectárea (1 dólar = 80 rupias, Rs.) en tres localidades (media de tres años). El GM mayor (62 321 Rs.) se registró en la combinación de MB con leguminosas en el sitio de Rawalpindi, seguido por la combinación de CC con leguminosas (53 849 Rs.) y MT con leguminosas (51 602 Rs.). La tendencia fue la misma en el sitio de Fateh Jang, donde la GM más alta (40 497 Rs.) fue de MB con leguminosas, seguida por CC con leguminosas (37 066 Rs.) y MT con leguminosas (36 030 Rs.). En el sitio Chakwal, el GM más alto (37 083 Rs.) fue para CC con leguminosas, seguido por MB con leguminosas (35 248 Rs.), CC (30 706 Rs.) y MT con leguminosas (28 835 Rs.).

La mejor ganancia sobre la inversión no se correlacionó necesariamente con el margen bruto, ya que los costos fueron diferentes para cada tratamiento en este estudio. Por tanto, para seleccionar los tratamientos con el mejor ingreso por rupia invertida, se calculó el coeficiente de eficiencia (Figura B): 1) en el sitio de Rawalpindi, los coeficientes de eficiencia fueron de 4.27 para MB con leguminosas, 4.21 para CC con leguminosas y 4.13 para MT; 2) en el sitio de Fateh Jang, los coeficientes de eficiencia fueron de 2.90 para CC con leguminosas, 2.89 para MT con leguminosas y 2.78 para MB con leguminosas; 3) en el sitio de Chakwal los coeficientes de eficiencia fueron de 2.90 para CC con leguminosas; 2.42 para MB con leguminosas y 2.31 para MT con leguminosas.

El análisis de los resultados indica que los rendimientos de grano fueron estadísticamente similares entre los tratamientos. Sin embargo, las leguminosas promovieron mejores resultados económicos en los tres sistemas de labranza, márgenes brutos y coeficientes de eficiencia más altos en los tres sitios, así como ingresos adicionales durante el verano. La aplicación de mantillo no generó una rentabilidad adecuada en relación a las inversiones debido al alto costo de la paja de trigo.

### CONCLUSIONES

Los resultados de tres años fueron consistentes, lo que permite concluir que la sustitución de labranza intensiva limpia de barbecho por labranza mínima



Tillage systems: CC = conventional cultivation; MB = moldboard plow; MT = minimum tillage. Soil cover practices: FA = fallow; LE = legume (*Vigna radiata*); MU = mulch (wheat straw). Rs. = rupees (1 dollar = 80 rupees) \* Sistemas de labranza: CC = cultivo convencional; MB = arado de vertedera; MT = labranza mínima. Prácticas de cobertura del suelo: FA = barbecho; LE = leguminosa (*Vigna radiata*); MU = mantillo (paja de trigo). Rs = rupias (1 dólar = 80 rupias).

**Figure 2. Gross margins and efficiency coefficients at three locations, in Pothwar, Pakistan.**  
**Figura 2. Márgenes brutos y coeficientes de eficiencia en tres localidades, en Pothwar, Pakistán.**

## LITERATURE CITED

- Anderson, J. M., and J. S. I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility, A Handbook of Methods*. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp: 70-75.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 2002. *Nature and Properties of Soils*. 13th ed. Pearson Education, Inc. Delhi, India. 191 p.
- Buresh, R. J., and S. K. Dedatta. 1991. Nitrogen dynamics and management in rice-legume cropping systems. *Adv. Agron.* 45: 1-59.
- Chaudhry, M. A., S. Ali, and R. Khalid. 1990. Effect of mulching on moisture conservation and growth of wheat crop under rainfed condition. *Proc. Second National Congress of Soil Sci. Faisalabad, Pakistan*. pp: 226-232.
- Cooke J. K., G. W. Ford, R. G. Dumsday, and S. T. Willatt. 1985. Effect of fallowing practices on the growth and yield of wheat in southeastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 25: 614-627.
- Eltiti, A. E. 2003. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press. Washington DC., USA. pp: 3-5.
- Fuentes, J. P., M. Flury, D. R. Huggins, and D. F. Bezdicsek. 2003. Soil water and nitrogen dynamics in dryland cropping systems of Washington State, USA. *Soil Till. Res.* 71: 33-47.
- Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1982. Hydrometer method. *In: Klute, A. (ed). Methods of Soil Analysis, Part 1*. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA. pp: 383-411.
- Gill, S. M., M. S. Akhtar, and Z. Saeed. 2000. Soil water use and bulk density as affected by tillage and fertilizer in rainfed wheat production system. *Pak. J. Biol. Sci.* 3: 1223-1226.
- Gomez, K. A., and A. A. Gomez. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. John Wiley and Sons, Inc. Singapore. pp: 680.
- GOP (Government of Pakistan). 1974. *Soil Series Key and Soil Classification*. Soil Survey of Pakistan, MINFAL. Lahore, Pakistan. pp: 133.
- Kou, S. 1996. Phosphorus. *In: Sparks, D. L. (ed). Methods of Soil Analysis, Part 3*. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA. pp: 869-919.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123: 1-22.
- Lampurlanes, J., P. Angas, and C. Martinez. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. *Soil Till. Res.* 65: 207-220.
- Latta, J., and G. J. O'Leary. 2003. Long-term comparison of rotation and fallow tillage systems of wheat in Australia. *Field Crops Res.* 83: 173-190.
- Lawrence, J. R., Q. M. Ketterings, and J. H. Cherney. 2008. Effect of nitrogen application on yield and quality of silage corn after forage legume grass. *Agron. J.* 100: 73-79.
- Lopez, M. V., J. L. Arrue, and V. S. Giron. 1996. A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon. *Soil Till. Res.* 37: 251-271.
- con frijol mungo proporciona una opción viable y rentable en el área experimental. Sin embargo, la aplicación de paja de trigo como cobertera no es económicamente viable.
- Fin de la versión en Español—
- \*—
- MSTAT-C. 1988. MSTAT Development Team, Michigan State University. East Lansing, Michigan, USA. (CD).
- Mohammad W., S. M. Shah, S. Shehzadi, S. A. Shah, and H. Nawaz. 2006. Wheat and oat yields and water use efficiency as influenced by tillage under rainfed conditions. *Soil Environ.* 25: 48-54.
- Mrabet, R. 2000. Differential response of wheat to tillage management systems in a semi arid area of Morocco. *Field Crops Res.* 66: 165-174.
- Munyinda, K., R. E. Karamanos, and I. P. O'Hallorn. 1998. Yields of wheat in rotation with maize and soybeans in Zambia. *Can. J. Soil Sci.* 68: 747-753.
- Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 2005. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: Sparks, D. L. (eds). Methods of Soil Analysis, Part 3*. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA. pp: 996-998.
- Nizami, M. M. I., M. Shafiq, A. Rashid, and M. Aslam. 2004. The Soils and their Agricultural Development Potential in Potwar. NARC. Islamabad, Pakistan. pp: 5-7.
- Rashid, A., and K. S. Memon. 1996. *Soil Science*. NBF. Islamabad. 248 p.
- Roades, J. D. 1996. Salinity, electrical conductivity and total dissolve solids. *In: Sparks, D. L. (ed). Methods of Soil Analysis, Part 3*. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA. pp: 417.
- Ryan, J., and S. Garabet. 1994. Soil test standardization in West Asia-North Africa region. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1641-1653.
- Sahi, F., N. U. Khan, and S. Ahmed. 1997. Soil problems and management in Potwar. *Proceeding of symposium on plant nutrition management for sustainable agricultural growth*. NFDIC. Islamabad, Pakistan. pp: 355-360.
- Schillinger, W. F. 2001. Minimum and delayed conservation tillage for wheat-fallow farming. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1203-1209.
- Scott, F. 2001. *Farm Budget Handbook 2001*, Northen NSW. Winter Crops, NSW Agriculture. Australia. 76 p.
- Singh, B., and S. S. Malhi. 2006. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. *Soil Till. Res.* 85: 143-153.
- Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. *In: Sparks, D. L. (ed). Methods of Soil Analysis, Part 3*. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA. pp: 475-490.