

Agricultura sostenible en la aritmética del carbono. LIFE+ Agricarbon

E. J. González-Sánchez^{1&2}, J.A. Gil-Ribes², R. Ordóñez-Fernández³, J. Agüera-Vega², F. Márquez-García², O. Veroz-González¹, M. Gómez-Ariza¹, R. Carbonell-Bojollo³, G.L. Blanco-Roldán², S. Castro-García², P. Triviño-Tarradas⁴

¹Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEAC.SV). IFAPA Centro “Alameda del Obispo”. Avda. Menéndez Pidal s/n. 14004 Córdoba, e-mail: egonzalez@agriculturadeconservacion.org

²Departamento de Ingeniería Rural, Área de Ingeniería Agroforestal, ETSIAM. Universidad de Córdoba

³Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. IFAPA Alameda del Obispo. Córdoba

⁴European Conservation Agriculture Federation (ECAAF) www.ecaf.org

Introducción

En Europa, los efectos del cambio climático afectan en general de forma negativa a los ecosistemas agrarios. En las zonas climáticas representativas de la regiones de estudio, se prevé un aumento significativo de la temperatura que, combinado con una reducción de las precipitaciones y una modificación de su distribución estacional, aumentará el riesgo de erosión y desertificación (*Impacts of Europe's changing climate-2008 indicator-base assessment. EEA-JRC-WHO report*). Se estima que, en la Península Ibérica, las precipitaciones pueden llegar a reducirse hasta un 40% con respecto a la media del siglo XX. Este hecho supone una amenaza para el desarrollo de múltiples seres vivos.

Dentro del Plan Nacional de Asignación de emisiones de CO₂, derivado de la aplicación de la Directiva Comunitaria de Comercio de Emisiones, se contempló un escenario de crecimiento de las emisiones del 24% para el periodo 2008-2012, resultado de contemplar sobre el 15% permitido, un 2% de ahorro de emisiones por los efectos sumideros más un 7% de ahorro por la adopción de mecanismos de flexibilidad contemplados en el Protocolo de Kioto.

La Agencia Europea de Medio Ambiente, en su informe nº 13 publicado el año 2012, adelantó que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) procedentes del sector agrario supusieron en el año 2011 el 9,9% del total de emisiones europeas, constituyendo así la cuarta actividad emisora en el conjunto de la UE por detrás del sector eléctrico, el transporte y los procesos de combustión industrial. Asimismo, según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la agricultura supuso el 10,9% del total de emisiones de GEI para el total nacional, siendo la cuarta actividad emisora.

Un análisis más pormenorizado de los datos mostrados en los inventarios de GEI respecto del sector agrario tanto a nivel europeo como nacional, muestra cómo los principales gases contemplados en el balance de emisiones son el N₂O y el CH₄, motivadas por el manejo de fertilizantes en el primer caso y por la fermentación entérica, manejo de fertilizantes y el cultivo del arroz en el segundo caso. Respecto a las emisiones de CO₂, no se incluyen las relativas al consumo energético derivado de la participación en el proceso productivo de la maquinaria y de los insumos agrarios, al contemplarlas en otros sectores como el transporte y la industria, por lo que al final todo queda reducido al intercambio que se produce entre la atmósfera y el suelo, resultando un neto de emisión más bajo del que realmente se produce. Ello hace pensar que realmente hay procesos en el sistema de manejo de los cultivos emisores de CO₂ cuyo tratamiento suponen oportunidades de mitigación frente al cambio climático.

La erosión producida por la acción del laboreo sobre el suelo, se traduce en pérdidas sustanciales (desde un 30% al 50%) del carbono (Davidson y Ackerman, 1993), reduciendo su potencial efecto sumidero. Por su parte, los procesos de emisión de CO₂ se ven potenciados la acción del laboreo y su intensidad (Reicosky y Lindstrom, 1993; Reicosky, 1997), así como por el alto consumo energético que su realización conlleva (Lal, 2004).

Ante este escenario, la AC, basada en la reducción total o parcial de las labores de arado en campo, unida al mantenimiento de una cubierta vegetal protectora del suelo, y la AP, en la que se realiza un uso más eficiente de insumos a través de la disminución de solapes entre los distintos pases de las

máquinas y las técnicas de distribución variable sitio-específicas, gracias al apoyo de las TIC y los sistemas de posicionamiento global, constituyen un conjunto de técnicas agrarias sostenibles que contribuyen a la preservación del medio ambiente sin menoscabo de los niveles de producción de las explotaciones agrarias.

Los efectos beneficiosos que ambas prácticas tienen sobre el medio ambiente, como la reducción drástica de la erosión, la preservación de los recursos suelo, agua y aire, el ahorro energético, el efecto sumidero del carbono atmosférico, y la notable reducción de las concentraciones de GEI en la atmósfera, se ven reforzados por las sinergias producidas por su utilización conjunta. Éste es el enfoque del proyecto europeo LIFE+ Agricarbon, coordinado por la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEAC.SV) y en el que participan la Universidad de Córdoba, el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) de la Junta de Andalucía y la Federación Europea de Agricultura de Conservación (ECAAF), el cual trata de demostrar el potencial mitigador y adaptador de sistemas agrícolas implantados bajo AC con apoyo de las técnicas de AP en las regiones mediterráneas.

Material y Métodos

En este trabajo se presentan los resultados de la campaña 2009-10 pertenecientes a tres fincas representativas de comarcas agrícolas andaluzas: Córdoba (Finca 1), 37° 55' 50,4'' N 4° 43' 07,7'' O; Carmona, Sevilla (Finca 2), 37° 25' 31,0 N 5° 38' 01,2'' O y Las Cabezas de San Juan, Sevilla (Finca 3), 36° 56' 37,8'' N 5° 55' 13,6'' O.

Todos los campos se encuentran en la zona mediterránea, que corresponde a un régimen de humedad xérico, según las normas establecidas por la Soil Taxonomy (USDA, 1998), con un clima caracterizado por un periodo frío y húmedo, que coincide con los meses otoñales e invernales y que concentran el 80% de las precipitaciones, y otro muy cálido y seco, que corresponde con la primavera y el verano, en el que se produce un importante déficit hídrico. El régimen de temperaturas es térmico. Existe una gran variabilidad tanto intra, como interanual de las precipitaciones, alternando periodos relativamente húmedos, con ciclos de sequías de varios años.

En cada finca se han instalado 6 campos experimentales de 5 ha; 3 bajo AC+AP, y 3 manejados con LC, lo que hace un total de 30 ha por finca y 90 ha en el proyecto conjunto. Los ensayos en ambos sistemas de manejo mantienen la rotación típica de la campiña andaluza, trigo-girasol-leguminosa, y se manejan según las pautas de los propietarios con el fin de obtener unos resultados reales en cada campaña.

Tabla 1. Operaciones realizadas en cada sistema de manejo.

		Trigo		Girasol		Leguminosa	
		AC+AP	LC	AC+AP	LC	AC+AP	LC
Maquinaria (número de pases)	Chísel	-	1	-	1	-	1
	Grada de discos	-	2	-	2	-	2
	Cultivador	-	1	-	-	-	2
	Sembradora	1	1	1	1	1	1
	Barra herbicida	2	3	2	1	3	2
	Abonadora	2	2	-	-	-	-
	Cosechadora	1	1	1	1	1	1
Fertilizante (kg ha ⁻¹)	Nitrógeno	148	148	-	-	-	-
	Fósforo	60	60	-	-	-	-
	Potasio	-	-	-	-	-	-
Herbicida (l ha ⁻¹)	Glifosato	1,5	-	1,5	-	5,5	4
	CP+CM	0,5	0,5	-	-	-	-

	A+ID	0,3	0,3	-	-	-	-
	Tribenuron Metil	1	1	0,04	0,04	-	-
	Clortalonil	-	-	-	-	2	2

Sobre cada una de estas parcelas se han realizado los siguientes estudios.

Secuestro del carbono atmosférico en el suelo. Dicho proceso se verifica mediante medidas del contenido de materia orgánica en el perfil de suelo en cada uno de los sistemas de manejo ensayados. Para ello se han localizado en cada una de las parcelas 20 puntos (10 en AC+AP y 10 en LC). En cada parcela, se toman muestras compuestas de suelo, localizadas con un GPS, a las profundidades de 0-5, 5-10, y 10-20 cm, en las que se analizan el contenido en materia orgánica y Carbono Orgánico (CO).

Reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera desde el suelo. Para cuantificar estas reducciones, se realizan medidas puntuales de flujo del gas en las labores preparatorias del suelo y en las de siembra. Asimismo, con una periodicidad mensual y en los mismos puntos donde se está efectuando el muestreo de suelo, se están realizando controles de emisiones de CO₂ para los dos sistemas de manejo y los tres tipos de cultivos de la rotación considerados en el estudio. Las medidas se realizan con un analizador absoluto y diferencial de gases por infrarrojo portátil EGM-4 unido a una cámara de respiración de suelos.

Disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera ligado a la reducción del consumo energético. Para cuantificar la reducción en el consumo energético se han instrumentado 3 tractores, uno por cada finca colaboradora, de tal manera que para cada operación realizada se conozcan los consumos de combustible efectivamente realizados, las trayectorias realizadas, la velocidad media, la capacidad de trabajo teórica y real, el rendimiento y los solapes entre pasadas. Con todos estos parámetros es posible establecer un balance de energía y deducir las emisiones ligadas al consumo energético.

La metodología seguida en el análisis energético es la propuesta en 1973 por la *International Federation of Institutes for Advanced Studies* (IFIAS, 2011), que asocia cantidades de energía no renovable a cada uno de los factores de un proceso (Hernanz, 2005). Una vez realizado el balance energético, y con los valores de los coeficientes de conversión dados por Lal (2004), que asume que el consumo de 1 MJ en cualquier proceso energético supone la emisión de 20 g de carbono equivalente, es posible determinar la diferencia en emisiones de CO₂ de un sistema de manejo respecto al otro, debido a las diferentes operaciones realizadas, partiendo de sus consumos de combustible y de energía.

Resultados y Discusión

Secuestro del carbono en el suelo de la AC+AP

En la finca piloto situada en Carmona (Sevilla), independientemente del sistema de manejo utilizado en el suelo, las parcelas sembradas con leguminosas en la primera campaña, son las que presentan una mayor variación entre fechas de toma de muestra, observándose valores máximos de CO de 2,72 % y 2,39 % para AC+AP y LC respectivamente y mínimos de 0,83 % y 0,72 % respectivamente.

En el caso de las parcelas sembradas con trigo y girasol en la primera campaña, estas diferencias no son tan apreciables presentando valores que oscilan entre 1,96 % y 1,02% en AC+AP y entre 1,64% y 0,73% en LC para el primer caso y entre 1.86% y 1.01% en AC+AP y de 1,73% y 0,70% en LC en el segundo caso.

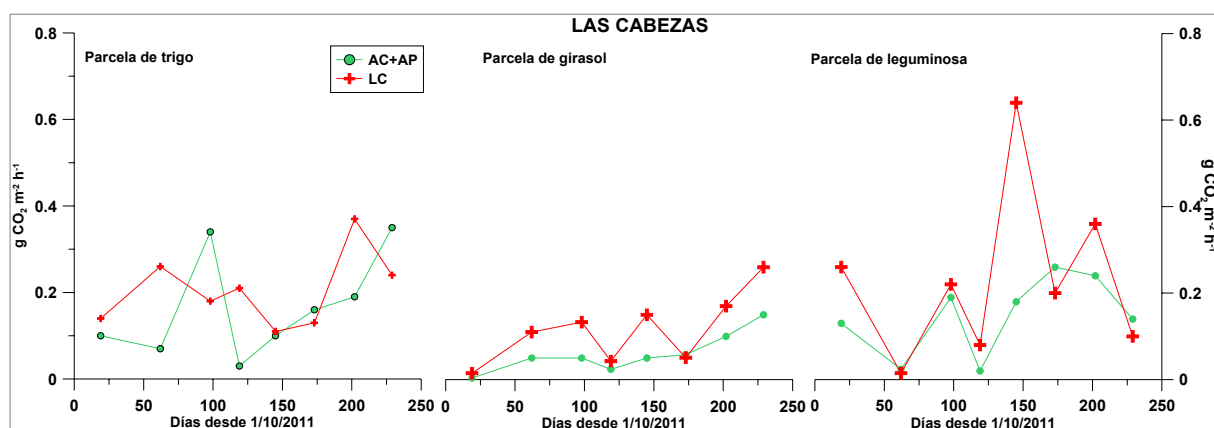
En la finca de Las Cabezas la mayor variabilidad en la concentración de CO entre puntos de muestreo la presentan los suelos bajo AC+AP, lo que pensamos que puede ser debido a una mala distribución del rastrojo. En la parcela sembrada con leguminosa el contenido de CO ha oscilado entre 0,96% y 2,12% para AC+AP y de 0,77% a 1,85% para LC. En las parcelas sembradas con trigo la diferencia entre los valores máximos y mínimos ha sido de 0,83% para AC+AP y de 1,07% para LC. Para los suelos cultivados con girasol la diferencia entre valores extremos es del orden de 1,25% para AC+AP y 0,985 para LC.

El porcentaje de CO del suelo en la finca de Rabanales, para ambos sistemas de manejo, es mayor que el evaluado en los suelos de las fincas situadas en Carmona y Las Cabezas de San Juan. En esta localización es donde se aprecian las mayores diferencias en el nivel de CO entre sistemas de manejo para la mayoría de las fechas muestreadas. Los valores máximos en AC+AP han sido de 3,58%, 2,52% y 2,21% para los suelos cultivados con leguminosa, trigo y girasol respectivamente lo que contrasta con los observados el LC de 2,08%, 1,68% y 1,28%. Esta diferencias también son apreciables en los valores mínimos con porcentajes de 1,60%, 1,62% y 1,64% para los suelos en AC+AP sembrados con leguminosa, trigo y girasol respectivamente y de 1,07%, 1,13% y 0,88% para los manejados en LC.

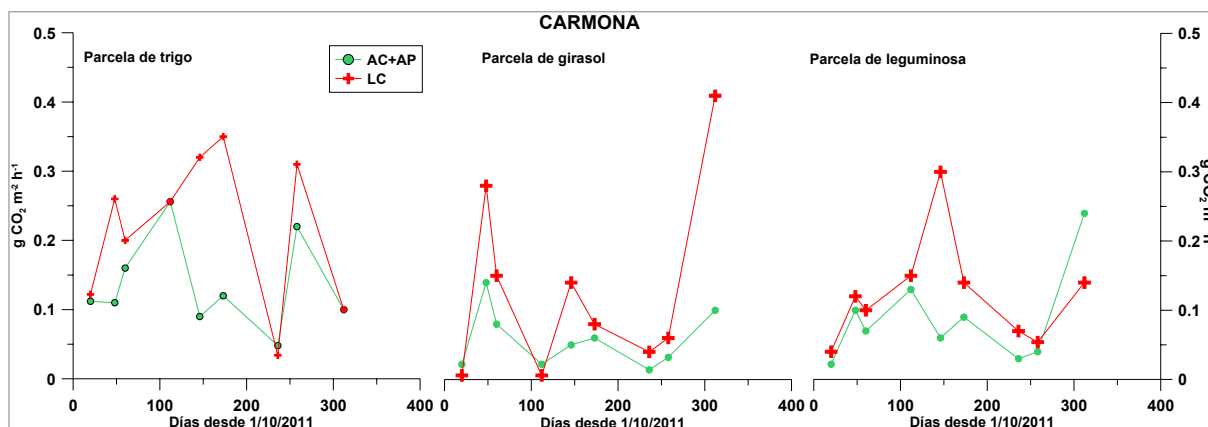
Reducción de emisiones de CO₂ en AC+AP

La figura 1 representa la diferencia entre las emisiones contabilizadas en el sistema de LC y las medidas en los suelos en AC+AP para las distintas localizaciones y cultivos de la rotación para la última campaña (2011/2012).

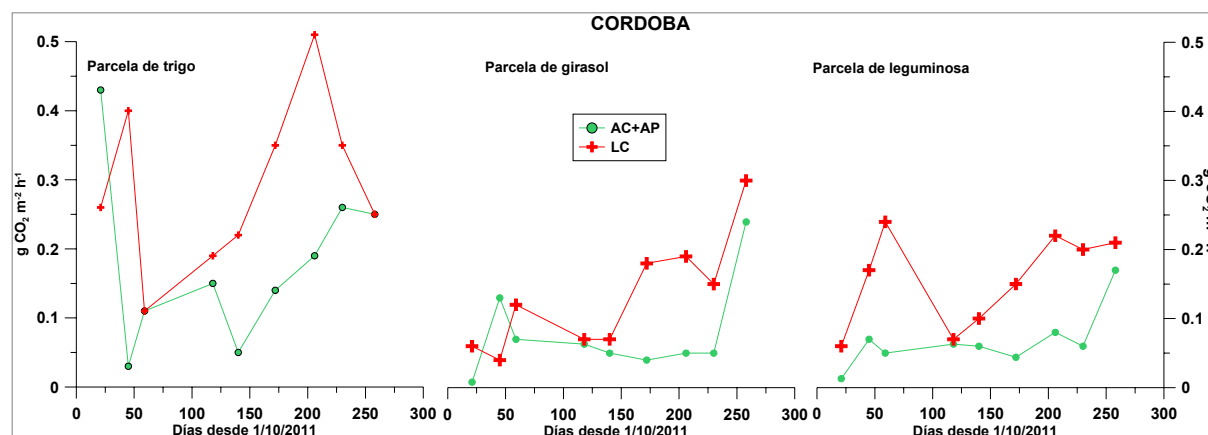
Las tablas que acompañan cada gráfico recogen las diferencias estadísticas entre ambos sistemas de cultivo. Se ha realizado el test T de Tukey con un nivel de probabilidad de $p^* < 0.05$, $p^{**} < 0.01$, $p^{***} < 0.001$



		LAS CABEZAS								
		19/10/11	20/11/11	25/1/12	15/2/12	13/3/12	10/4/12	9/5/12	5/6/12	25/9/12
		TRIGO								
LC		a	a ^{**}	a ^{**}	a ^{***}	a	a	a [*]	a	a ^{**}
AC+AP		a	b ^{**}	b ^{**}	b ^{***}	a	a	b [*]	a	b ^{**}
		GIRASOL								
LC		a ^{**}	a [*]	a [*]	a ^{**}	a ^{**}	a	a [*]	a	a
AC+AP		b ^{**}	b [*]	b [*]	b ^{**}	b ^{**}	a	b [*]	a	a
		LEGUMINOSA								
LC		a	a	a	a ^{**}	a ^{***}	a	a ^{**}	a	a
AC+AP		a	a	a	b ^{**}	b ^{***}	a	b ^{**}	a	a



		CARMONA								
		20/10/11	17/11/11	20/1/12	23/2/12	22/3/12	26/4/12	26/5/12	7/6/12	26/9/12
		TRIGO								
LC		a*	a	a	a	a	a	a	a	a*
AC+AP		b*	a	a	a	a	a	a	a	b*
		GIRASOL								
LC		a	a**	a***	a**	a	a***	a	a**	a**
AC+AP		a	b**	b***	b**	a	b***	a	b**	b**
		LEGUMINOSA								
LC		a**	a	a	a***	a	a*	a	a	a**
AC+AP		b**	a	a	b***	a	b*	a	a	b**



		CORDOBA								
		21/10/11	14/11/11	26/1/12	17/2/12	21/3/12	24/4/12	18/5/12	15/6/12	9/10/12
		TRIGO								

	CORDOBA								
LC	a	a	a	a ^{**}	a ^{**}	a ^{**}	a	a	a
AC+AP	a	a	a	b ^{**}	b ^{**}	b ^{**}	a	a	a
	GIRASOL								
LC	a ^{**}	a [*]	a	a	a ^{**}	a	a	a	a
AC+AP	b ^{**}	b [*]	a	a	b ^{**}	a	a	a	a
	LEGUMINOSA								
LC	a ^{**}	a ^{**}	a	a	a	a [*]	a [*]	a	a
AC+AP	b ^{**}	b ^{**}	a	a	a	b [*]	b [*]	a	a

Figura 1. Evolución temporal de las emisiones de CO₂ entre los dos sistemas de manejo para cada uno de los cultivos y campañas agrícolas en las fincas de Rabanales de la localidad de Córdoba, La Pluma de la localidad de Las Cabezas de San Juan (Sevilla) y Cariquemado, La Teja y las Postas de la localidad de Carmona (Sevilla). Cada punto representa la media de 10 lecturas

Independientemente de la localización y cultivo considerados la concentración de gas emitida a la atmósfera es mayor en los suelos labrados en la mayoría de las fechas muestreadas. Las mayores diferencias se aprecian en la finca Rabanales por tratarse de un terreno pedregoso con un elevado porcentaje de elementos gruesos que facilita los huecos por los que se escapa el CO₂.

En todas las fincas piloto y para los dos sistemas de manejo de suelo, se aprecian una serie de máximos y mínimos que coinciden con condiciones climáticas favorables para la actividad de los microorganismos (temperaturas suaves y humedad en el suelo) o desfavorables (bajas temperaturas y suelos encharcados o muy secos), cultivo en desarrollo que absorbe parte de gas emitido o restos de cosecha descomponiéndose que favorecen el flujo de CO₂.

Por su parte, los resultados alcanzados hasta la fecha en el análisis energético, demuestran la capacidad de las técnicas agrarias sostenibles objeto de estudio para reducir las emisiones por la vía del ahorro energético. Así, los cultivos en los que se combinaban las técnicas de AC y AP, han dado como resultado respecto a los cultivos implantados bajo prácticas basadas en el laboreo, reducciones de consumo energético del orden de un 13,8% en el trigo, 21,6% en el girasol y 24,4% en la leguminosa. Estas disminuciones se traducen en una menor emisión de CO₂, correspondiente a 199,1 kg ha⁻¹ para trigo, 63,6 kg ha⁻¹ para girasol y 107,1 kg ha⁻¹ para la leguminosa.

Conclusiones

La combinación de la agricultura de conservación con la agricultura de precisión crea una sinergia muy interesante. El efecto reductor de emisiones de CO₂ y el efecto sumidero de C del suelo que propicia el empleo de la agricultura de conservación, se ve potenciado por las reducciones de emisiones e insumos derivados de los menores solapes que supone el empleo de la agricultura de precisión.

Con la agricultura de conservación se constata el aumento de la capacidad de fijación de carbono atmosférico gracias a la mayor presencia de restos vegetales en el suelo, cifrándose en hasta un 35% en el mejor de los casos respecto al laboreo convencional.

Las técnicas de conservación reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera básicamente debido a dos motivos. Por un lado, a causa de la no alteración del perfil del suelo, fruto de la supresión de las labores. Esto conlleva una menor liberación del CO₂ atrapado en el espacio poroso del suelo y una disminución de la mineralización de la materia orgánica. Por otro lado, debido a la reducción del número de labores, acompañado por un uso más eficiente de los insumos, lo que conlleva unos descensos del consumo de combustible en más de un 45% en todos los cultivos estudiados, y menores gastos energéticos, de hasta un 25%, lo que a la postre se traduce en menores emisiones de CO₂.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa LIFE de la Comisión Europea la co-financiación del proyecto Life+ Agricarbon: Agricultura Sostenible en la Aritmética del Carbono (LIFE08 ENV/E/000129).

Bibliografía

- Davidson, E. A. and Ackerman I. L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* **20**: 161-193.
- EEA (2012). Aproximated EU GHG Inventory: Early estimate for 2011. *EEA Technical report* **13/2012**. (<http://www.eea.europa.eu/publications/approximated-eu-ghg-inventory-2011>).
- Hernanz, J.L. (2005). Agricultura de conservación: Una revisión a la rentabilidad energética. Libro de actas del congreso internacional sobre agricultura de conservación. Asoc. Española Agric. Conservación (eds). España. 173-182.
- IFIAS. International Federation of Institutes for Advanced Study. (2011). <http://www.ifias.ca/>
- Lal, R. Carbon emission from farm operations (2004). *Environment International* **30**: 981-990.
- MAGRAMA (2012). Avance de la estimación de emisiones GEI 2011. (<http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/default.aspx>)
- Reicosky, D.C. (1997). Tillage-induced methods CO₂ emissions from soil. *Nutrient Cycl. Agrosyst.* **49**: 273-285.
- Reicosky, D.C. and Lindstrom, M.J. (1993). Fall tillage methods: Effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal*. **85(6)**: 1.237-1.243.
- United States Department of Agriculture. (1998). Keys to soil taxonomy. Soil Survey Staff (eds). Agriculture Handbook. Washington DC. USA.