

# Una respuesta dual de la agricultura de conservación

## El cambio climático: reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar la el carbono del subsuelo

LAL, R.  
Gestión de Carbono y  
secuestro de Centro  
La Universidad Estatal de Ohio  
Columbus, OH 43210 EE.UU.

### RESUMEN

La Agricultura de Conservación (CA), una evolución gradual de no labranza (NT) de la década de 1960 y la labranza de conservación de la década de 1980 a la AC de la década de 2000, incluye cuatro componentes.

Estos son: (I) NT método de preparación del suelo, (II) la retención de residuos de cultivos mantillo, (III) la incorporación de un cultivo de cobertura en el ciclo de rotación, y (IV) el uso de la gestión integrada de los nutrientes (INM) para mejorar y manejar la fertilidad del suelo.

A pesar de unos 60 años de investigación sobre la agricultura sin labranza (NT) y los componentes relacionados con la AC, la superficie terrestre del planeta bajo SD / CA es de unos 100 millones de hectáreas (Millones de hectáreas), alrededor del 7% de las tierras cultivables. Además, CA no se está adoptando por los titulares de la tierra de pequeño tamaño y los agricultores bajos en recursos de los países en desarrollo. La falta de adopción de la AC en los países en desarrollo, se debe a una combinación de los factores biofísicos, sociales, económicos y culturales. El doble beneficio de CA para abordar el cambio climático se atribuye a la reducción de emisiones debido a la eliminación en la explotación de arado y otras operaciones, aumento de la eficiencia en el uso de los insumos basados en energía, y secuestro de carbono en el suelo. La adopción de la AC en las tierras de cultivo mundial tiene un potencial técnico de captura de carbono de 0,6 a 1,2 Pg / año. Un uso generalizado de la AC, para facilitar la adaptación y mitigación del cambio climático, se puede promover a través de los pagos a los agricultores por servicios ambientales. Además de la mitigación del cambio climático, CA también mejora y mantiene la producción agronómica y los avances de seguridad alimentaria, mientras que mejora la calidad del medio ambiente.

**Palabras clave:** el cambio abrupto del clima, la calidad del suelo, la seguridad alimentaria, servicios de los ecosistemas, la agricultura de cobertura, los cultivos de cobertura

### INTRODUCCIÓN

La agricultura de conservación (AC) tiene cuatro componentes distintos pero interrelacionados. Estos incluyen: (I) con un no-labranza (NT) sistema de preparación de cama de siembra con mínima perturbación del suelo, (II) la realización de mantillo de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo para conservar el suelo y el agua, y el régimen de temperatura moderada, (III) la incorporación de una cobertura adecuada de cultivos en el ciclo de rotación, y (IV) la adopción de la gestión integrada de los nutrientes (INM) y manejo integrado de plagas (MIP) para optimizar las estrategias agronómicas de producción. Entre los cuatro componentes, los dos primeros (NT la agricultura y la retención de mantillo de residuos en cultivos) son extremadamente críticos.

La investigación de campo y la adaptación en la explotación de NT se remonta a la década de 1950 en América del Norte, y principios de 1970 en los trópicos. A pesar de extensa literatura sobre los efectos beneficiosos de la agricultura NT, especialmente a la conservación del suelo y el agua y ahorro de tiempo debido a la reducción en el número de operaciones agrícolas, el área de tierras de cultivo a la agricultura NT fue alrededor de 100 millones de hectáreas (Mha) o el 7% del total área de tierras de cultivo (Tabla 1). Superficie de las tierras de cultivos agrícolas bajo SD <3Mha hasta 1982 y ha aumentado constantemente desde 1990. El área de tierras de cultivo bajo SD fue de 45 millones de hectáreas en 1999, 72 millones de hectáreas en 2003 y 111 millones de hectáreas en 2009 (Derpsch et al., 2010). Es un hecho ampliamente adoptado desde el círculo ártico hasta latitudes 50 °, desde el nivel del mar hasta 3.000 m de altitud, y en regiones con precipitaciones de 250 mm a 2500 mm / año. Se ha producido un aumento drástico en el área con la AC en el sur de América desde 1990 (Pritchard, 2005). Sin embargo, la agricultura NT es principalmente adoptadas por los agricultores a gran escala de orientación comercial para la producción de cosechas en línea (es decir, maíz, soya, sorgo, trigo, etc.). Por lo tanto, la agricultura NT se practica principalmente en América del Norte, América del Sur y Australia.

Los agricultores de bajos recursos y los propietarios de pequeños terreno (<2 ha), la práctica de la agricultura en el Sur de Asia (SA), África subsahariana (SSA), el etc Caribe se benefician de la adopción de la agricultura NT. Sin embargo, la tasa de adopción por parte de los titulares con pequeño tamaño de la tierra es insignificante. Existe una amplia gama de temas sociales, técnicos, económicos, factores institucionales y culturales que inhiben la adopción de la

agricultura NT en poseedores de tierra de pequeño tamaño. Además de las causas técnicas, basadas en factores biofísicos, hay varias cuestiones de la dimensión humana que también debe ser dirigida (Tabla 1).

Además de la conservación del suelo y agua, una amplia adopción de la AC puede ser positivo el impacto de varios otros temas de importancia mundial (Fig. 1). Importante es entre estos la inseguridad alimentaria son: (I) que afecta a > 1 mil millones de personas en todo el mundo, (II) cambio climático abrupto causado por la interrupción en los ciclos globales C y N con los consiguientes aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), (III) aumento mundial la demanda de energía, especialmente por el rápido crecimiento económico de los países BRIC y otros países, (IV) un aumento sin precedentes de la población mundial, se espera que sea 9.4 Billones en 2050, la mayor parte del aumento ocurre sólo en los países en desarrollo, (V) disminución de la disponibilidad per cápita de los recursos renovables de agua dulce, agravada por una fuerte competencia de los usos industriales y urbanos, y la contaminación grave y afectan en > 3 billones de hectárea (Bha) y el aumento debido a la erosión acelerada, salinización etc. (Fig. 1). Una solución a la mayoría de estas cuestiones, impulsado por el aumento de población y el aumento de las aspiraciones de mejora del nivel de vida y de consumo La economía básica, se encuentra en un uso racional y sostenible de los recursos del suelo que crean un ecosistema positivo en C y disminuir la pérdida de nutrientes y el agua de los ecosistemas. El artículo revisa el estado de la adopción de la AC por pequeños agricultores, de escasos recursos y los agricultores en los países en desarrollo, y su impacto en la calidad del suelo, con especial énfasis sobre el secuestro de C del suelo y la reducción de las emisiones de gases por alteraciones en las operaciones.

### **BAJA ADOPCIÓN DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO**

Es ampliamente reconocido que la adopción de la AC haría en los agro-ecosistemas la eliminación de gases de efecto invernadero (GEI) a través de: (I) la retención de C del suelo, (II) evitar emisiones de C por la reducción de las operaciones agrícolas, y (III) mejorar la eficiencia en el uso de insumos y el ahorro de energía (Pretty et al., 2002). Sin embargo, el grave problema de la degradación del suelo, y la falta de adopción de la AC y otras tecnologías recomendadas, por los titulares de la tierra de pequeño tamaño y los agricultores de escasos recursos en los países en desarrollo no se puede atribuir a las variables genéricas (Duncan y Bery, 2007). La baja adopción se atribuye a la pobreza, los mercados imperfectos de capital y la tierra de tenencia insegura hacia horizontes temporales de corto plazo de la decisión de producción, y pueden sesgar las decisiones de uso de la tierra contra la gestión sostenible del suelo estrategias (Barbier, 1997). En tales situaciones, si el gobierno debería intervenir para fomentar la adopción CA, y en caso afirmativo en qué *modus operandi*, ¿es un tema complejo? Las intervenciones eficaces de políticas, sólo es posible con una clara comprensión de las razones de las decisiones de los agricultores.

En los trópicos, las principales fuentes de emisiones son la deforestación y el uso de la tierra conversión. Vlek et al. (2004) observó que las operaciones de rutina de explotación (es decir, fertilizantes, pesticidas, la labranza, el riego) ascienden a sólo el 3,9% de los usos de la energía comercial.

En las Montañas Azules de Jamaica, las medidas agroforestales fueron eficaces en la reducción de el agua de escorrentía y la erosión del suelo (McDonald et al., 2002). Sin embargo, la deforestación redujo la materia orgánica del suelo (MOS) en un 31%, N total en un 38%, los cationes intercambiables entre un 43 a 56%, y el aumento de la densidad aparente en un 48% en 5 años. Los contenidos de humedad en los suelos deforestados disminuyeron en un 43% (McDonald et al., 2002). Sin embargo, la agro-silvicultura con *Cliandra Calothyrsus* fue una conservación efectiva, en una medida sostenible. Vlek et al. (2004) concluyó que el uso juicioso de los fertilizantes químicos en el desarrollo de países, (aumentando el uso de fertilizantes en un 20% en los países en desarrollo sin China) aumentaría el presupuesto C de los ecosistemas de 80 a 206 Tg / año, debido a la evasión de la deforestación. El uso creciente de fertilizantes en un 20% en el África subsahariana asciende a 0,14 Tg / año, se secuestran SOC, a razón de 19.3 Tg de CO<sub>2</sub> al año (96 CO<sub>2</sub>/Mg Mg de fertilizantes). Ventajas similares de aumento en el SOC con un 20% de aumento en el uso de fertilizantes en un 0,4 Tg / año ascendería a 10 -24 de CO<sub>2</sub> Tg / año equivalentes de CO<sub>2</sub> a 40 mg / mg de fertilizante. Se registraron aumentos similares en Sudáfrica con una aplicación de adicional de 2,15 Tg / año de fertilizante retendría CO<sub>2</sub> en un 22-61 Tg / año equivalentes de CO<sub>2</sub> a 19 mg / mg de fertilizante (Vlek et al., 2004).

Los pagos a los agricultores por unidades de C sería una estrategia importante para invertir en el uso de fertilizantes, al mismo tiempo mejorar la seguridad alimentaria, especialmente en el África subsahariana y SA. Los pagos de servicios de los ecosistemas debe guiarse por los principios científicos básicos (Carpenter et al. 2009), que también apoyaría la ONU Objetivos de Desarrollo del Milenio. En efecto, la seguridad alimentaria en el África subsahariana y SA pueden aumentar considerablemente mediante la adopción de un sistema que se centra en la sostenibilidad de los ecosistemas locales, las relaciones sociales y culturales y la seguridad económica de los titulares de la tierra de pequeño tamaño (Flora, 2010). Una ampliación en la adopción de la AC puede mantener

la producción en el África subsahariana a través del suelo y conservación del agua efectiva (Tenywa et al., 2009) al igual que el impacto de la mejora de la calidad del suelo para lograr la sostenibilidad de las producciones agrícolas, Hanjra et al. (2009) argumentó que vincular el uso agrícola del agua en el África subsahariana con las intervenciones de la educación y el mercado generaría reducción de la pobreza y programas eficaces de erradicación del hambre.

Los recursos hídricos y la agricultura de regadío no están completamente desarrollados en el África subsahariana, y actualmente menos de 4% de los recursos hídricos renovables se retiran para la agricultura. En este contexto, una mejor gestión del agua agrícola complementaría la mejora de la calidad del suelo mediante la adopción de la AC. La gestión prudente del agua es también esencial para la mejora de la ganadería (Peden, 2009). Hay una fuerte necesidad de estudio de ganado - la interacción del agua. La mejora de la gestión del agua es esencial para mejorar la productividad de los cultivos y el ganado (Descheemaeker et al., 2010). Sin embargo, la importancia de mejorar la agricultura de secano en el África subsahariana y SA no puede exagerarse (Gowing y Palmer, 2008). La conversión de la agricultura tradicional en prácticas de CA mejoraría la agricultura de secano por la conservación del agua y la mejora de la calidad del suelo. Creación de redes de innovación entre los agricultores de pequeña escala sería promover la adopción CA (Gowing y Palmer, 2008).

## **AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y CALIDAD DEL SUELO**

Una adopción exitosa de la AC para reemplazar las tradicionales o convencionales a base de sistema de arado, si se sigue en relación con la labranza mantillo y cultivos de cobertura, junto con INM durante un largo periodo de tiempo, puede mejorar la calidad del suelo, y la sostenibilidad agronómica.

A: La calidad material del suelo: La conversión a AC mejora la calidad física del suelo (Alvarez y Steinbach, 2009; Villamil et al, 2006).. Mejora de la estructura del suelo y la capacidad del agua de infiltración, reduciendo los riesgos de escorrentía y la erosión del suelo. De un estudio de 27 cuencas en el sureste de Asia (Indonesia, Laos, Filipinas, Tailandia, Vietnam), Valentin et al. (2008) observó que el escurrimiento del agua disminuye con el aumento de la tierra a uso cubierto por un barbecho (cultivos de cobertura). Este estudio indica que: (i) la erosión de suelo esta determinada principalmente por el uso del suelo en lugar de las características ambientales, (ii) a largo plazo en barbecho, tala y quema no provoca una grave erosión (ii) el cultivo de cosechas de la fila (maíz, yuca) exacerba peligro de erosión del suelo, (iv) CA y otras tecnologías de conservación son eficaces en el control de la escorrentía y la disminución de la erosión, incluso a escala de la cuenca, y (v) adopción de tecnologías recomendadas por los agricultores no depende de sus ingresos. Para el sistema de arroz-trigo en las llanuras del Indo-Ganges, la adopción de la AC para siembra de trigo en los rastrojos de arroz es una ventaja en la conservación de agua en zona de la raíz (Erenstein, 2008; Gupta y Seth, 2007) reduciendo el tiempo de respuesta, y promoviendo la sostenibilidad del sistema de producción (Hobbs, 2008). Crea cultivos para las tecnologías de CA (Joshi et al., 2007) y otras innovaciones incluidas gen X interacción del medio ambiente (Reynolds y Borlong, 2006) puede mejorar la adopción de la AC en la rotación arroz-trigo.

En África occidental, Lal (1976a, b; 1983) documenta los efectos beneficiosos del sistema AC en la reducción de la escorrentía, la disminución de la erosión del suelo, la mejora de la estructura del suelo, la moderación del suelo, la temperatura y el mantenimiento de un nivel más alto de la concentración de SOC en la zona radicular.

El manejo del estiércol (Zake et al., 2010) y el uso de otros sólidos biológicos (Bationo et al., 2007) también puede aumentar la eficacia de AC. Un estudio llevado a cabo en la granja en el norte de Camerón por Naudin (2010) indicó que el sorgo crece con sistema AC de una amplia gama de cultivos de cobertura (*Brachiaria ruziziensis*, *retusa* *Crotolaria*, *Dolichos lablab*, *puriens* *Mucuna*, *Vigna unguiculada*) producido 9,7 Mg ha<sup>-1</sup> de la biomasa en comparación con el 4,8 Mg / ha en parcelas convencionales. Del mismo modo, una combinación de los cultivos de maíz mas cultivos de cobertura produjeron 5,2 Mg / ha de biomasa con AC en comparación con 2,5 Mg / ha con el sistema convencional. Aumento de los rendimientos de maíz y sorgo con AC puede ser atribuido a la humedad los suelos más favorables y los regimen de temperatura. Beneficios de la CA, el control de la erosión en las regiones de loess de China también se ha documentado. La sustitución de cultivos de arbustos y los árboles han sido útiles para reducir el riesgo de erosión (Gates et al., 2008).

La tecnología de CA, basada en la agricultura mantillo y los cultivos de cobertura también puede ser efectiva en los suelos del centro de la India con un rango bajo de tolerancia de pérdida de suelo o un valor (Lakaria et al., 2008) y para la retención de COS en los suelos de Asia Central (Lal, 2004c). La tecnología de CA también puede ser útil en el mantenimiento de la productividad de la llamada Tera Preta, tierras oscuras o Indio Amazónico (Falcao et al., 2009).

B. Químicas del suelo de calidad: El uso a largo plazo de CA también mejora la calidad química del suelo (Mónaco et al., 2008), especialmente mediante la reducción de las pérdidas de nutrientes (N,

P, S) en escorrentía y los sedimentos y el fortalecimiento de los mecanismos de reciclaje de nutrientes. Por otra parte, eficiencia en el uso de fertilizantes y nutrientes inherentes también se ha mejorado. Sin embargo, la agricultura NT puede acentuar las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  (Grandy y otros, 2006; Malhi y Lemke, 2007). Por eso, el uso de inhibidores de la nitrificación (butanoato thiuronium S-benziliso y el furoato de S-benzilisothiuronium) reducción de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  en el arroz-trigo en la India (Bhatia et al., 2010). Del mismo modo, el uso de fertilizantes nitrogenados como slowrelease formulaciones que también pueden reducir las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ .

C. Calidad biológica del suelo y secuestro de carbono: una perturbación mínima del suelo, y presencia de mantillo de residuos de cosecha, favorece la temperatura del suelo y los regímenes de humedad aumentan la diversidad de actividades y especies de flora y fauna en un terreno administrado por un sistema de AC. Además de aumento en el carbono de la biomasa microbiana (CBM), no es un notable incremento en la actividad de las lombrices de tierra bajo el sistema de CA (Lal, 1982).

Reducción de las pérdidas por la erosión del suelo, la moderación de los regímenes de temperatura y humedad, y la adición de C de la biomasa a través de la retención de mantillo creciente de los cultivos de cobertura da lugar a un aumento en recursos del SOC con la AC, especialmente en la capa superficial (Halvorson et al, 2002; Sainju et al, 2008). El aumento en recursos del SOC se produce en aquellos suelos en los que adopción de CA crea un ecosistema C positivo (y N) del calculado, y fortalece mecanismos (químicos, físicos y biológicos) que protegen contra la fuente del SOC en procesos microbianos. La formación de agregados estables encapsula la fuente de SOC y protege contra la descomposición microbiana. Doraiswamy et al. (2007) utilizó una combinación de alta y baja resolución de modelo imaginario (una combinación de EPICCentury) y sugiere que la erosión del suelo está controlada y una mayor retención del SOC con el sistema de siembra directa (es decir, sistema de cordilleras surco) que aumentan la infiltración del agua y reservas de agua en la zona de la raíz. Doraiswamy y colegas calcularon que alrededor de 54 Kg C / ha / año puede ser retenido en estos suelos de Malí con el uso de mantillo de residuos, los fertilizantes y un sistema de labranza de surcos. Sin embargo, la eliminación de los residuos de cultivos para otros usos puede agotan el recurso en SOC (Gollany et al, 2010; Blanco-Canqui y Lal, 2007).

## **DOBLE RESPUESTA DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Debido a numerosos beneficios colaterales del SOC retenido, especialmente el aumento de productividad agronómica y la mejora de la calidad del agua, hay un considerable interés en determinar si la humanidad puede combatir el calor del cambio climático mediante la gestión sostenible de los agro-ecosistemas (Ortiz, 2008; Lal, 2010a;

b). La adopción generalizada de CA tiene un efecto dual en combatir el calor: (i) a través de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizando las operaciones agrícolas y la reducción del uso de maquinaria, y (ii) a través del secuestro de C en el suelo (tanto como SOC y carbonatos secundarios), así como la mejora del ecosistema global C (Fig. 2). La aprobación del CA lleva a la reducción de emisiones mediante la reducción en el uso de combustibles fósiles por la eliminación tanto de primaria y secundaria de labranza (Tabla 4). Por ejemplo, la eliminación de labores primarias (Arado de vertedera) y labranza secundaria (Arado de disco y cultivador) se reducirían las emisiones de combustibles fósiles en un 27,5 C Kg / ha. Del mismo modo, al mejorar la eficiencia de uso del N se reduciría la emisión de 1,3 Kg C / kg de fertilizantes retenido. En la mayoría de los agro-ecosistemas, de uso del N eficiente es apenas el 30 y el 40%, y la mejora de la eficiencia reduciría las emisiones. Mejorar la eficiencia del uso de pesticidas puede reducir las emisiones de 4 a 6 Kg C / Kg a: i de plaguicidas. Por lo tanto, la adopción del MIP y el INM, junto con CA son importantes estrategias de reducción de emisiones. Además, el control de la erosión y la reducción de transporte de COS por la escorrentía y los sedimentos también puede disminuir las emisiones de erosión inducida y reducción de las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  (Lal, 2003).

La reducción de las emisiones, y la adopción de la AC también pueden crear en el terreno un balance positivo de los ecosistemas C y aumentar la retención del SOC. La tasa de retención del SOC en suelos sensibles a la AC, con buen drenaje, suelos de textura franco limosa y en terreno inclinado propenso a la erosión y la erosión acelerada por el agua y el viento, puede ser de 100 a 1000 C Kg. / h / año. La tasa de retención del SOC es generalmente más en un lugar fresco y húmedo que en climas de las regiones cálidas y áridas (Lal, 2004a). Hay una amplia gama de factores del suelo que determinan la tasa de retención del SOC. Importantes entre estos son textura, mineralogía de la arcilla, profundidad del perfil y drenaje interno, y la posición del paisaje. La conversión de 1,500 millones de hectáreas de tierras de cultivo mundial de arado hasta que NT puede retener el SOC a razón de 0,6 a 1,2 Pg C / año (Lal, 2004a).

## **ADAPTACION Y MITIGACION DEL CAMBIO CLIMATICO POR AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN**

El uso de CA es una estrategia de mejorar la eficiencia ecológica de los ecosistemas agrícolas (Lal, 2010b). Se adapta a los cambios en los factores climáticos (es decir, la precipitación,

temperatura, cada vez mayor temporada de duración) al reducir los efectos adversos sobre la productividad (Fig. 3). Utilizarse adecuadamente en situaciones y lugares específicos, CA mejora el suelo / ecosistema / resistencia social al cambio climático. El uso de sistemas de CA crea flexibilidad en la sincronización de las operaciones agrícolas, cambio de cultivos y de los sistemas agrícolas, y las mejoras en la eficiencia de uso de input (Fig. 3). Además la adaptación, CA también mitiga el cambio climático mediante la compensación de las emisiones del SOC retenido y del aumento del de C de los ecosistemas. Aumenta la productividad por unidad de input de la tierra, el agua, y las aportaciones basadas en la energía (Fig. 3).

## SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS Y LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

La aplicación a largo plazo de la AC, el uso en relación con la agricultura mantillo y la cubierta de cultivo junto con el INM y el IPM, mejora los servicios de numerosos ecosistemas como co-beneficios de este sistema de producción eco-eficiente (Fig. 4). La mejora en calidad del suelo genera numerosos beneficios incluyendo los suelos hidrológicos físicos y mecánicos, químicos y biológicos del suelo, así como ecológicos y agronómicos. Además de mejora de la calidad del suelo, también hay una fuerte mejora en calidad del ambiente (Fig. 4). Por lo tanto, justifica que los agricultores / administradores de tierras están pagados o compensados por servicios ambientales (Lal, 2010a). En lugar de subsidios, pagos para el ecosistema y servicios, mejoraría la adopción de la AC por los titulares de la tierra de pequeño tamaño y de escasos recursos en los agricultores de los países en desarrollo.

### CONCLUSIONES

La adopción de la agricultura de conservación del suelo mejora suelo / ecosistemas / capacidad de adaptación social, adapta y mitiga el cambio climático, mejora la eficiencia ecológica de los agro-ecosistemas, aumenta la eficiencia del uso de input, mejora y mantiene la producción agronómica, y los avances de la seguridad alimentaria. Sin embargo, CA no se haya adoptado por los titulares de la tierra de pequeño tamaño y agricultores de escasos recursos de los países en desarrollo. Los pagos por servicios ambientales sería promover la adopción de las tecnologías de CA y alentar a los agricultores a invertir en la restauración del suelo. La investigación del suelo específico es necesaria para evaluar los obstáculos a la adopción de la AC en los países en desarrollo, CA inducida por alteraciones en la calidad del suelo y productividad agronómica, las tasas de C secuestrado en el suelo para el ecosistema de pagos, etc. Estos servicios requieren el desarrollo del protocolo para la evaluación del nivel de C del suelo en la finca. Mejora del apoyo institucional, el acceso al mercado y los créditos también se esencial para la adopción de la AC.

### Referencias

- R Alvarez, Steinbach S H. 2009. Una revisión de los efectos de los sistemas de labranza sobre un poco de tierra propiedades físicas, contenido de agua, la disponibilidad de nitrato y el rendimiento de los cultivos en la Argentina Pampas. Hasta el suelo. Res. 104:1-15.
- Barbier E B. 1997. Los determinantes económicos de la degradación de la tierra en los países en desarrollo. Transacciones filosóficas: Ciencias Biológicas. 352:891-899.
- Bationo A, J Kihara, B Lauwe Van, Waswa B, J Kimetu. 2007. Carbono orgánico del suelo dinámica, las funciones y la gestión en el oeste de África agro-ecosistemas. Agric. Sistemas 94: 13-25.
- Bhatia, A, S Jain Sasmal, N, H Pathak, Kumar R, A Singh. 2010. Atenuantes nitroso Emisiones de dióxido de suelo en convencionales y de siembra directa de trigo con nitrificación inhibidores. La agricultura, los ecosistemas y el medio ambiente. 136:247-253.
- H Blanco-Canqui, Lal R. 2007. Del suelo y la respuesta del cultivo a la cosecha de maíz para los residuos la producción de biocombustibles. Geoderma 141: 355-362.
- H Blanco-Canqui, Lal R. 2008. La siembra directa y el secuestro de carbono en el suelo de perfil: una en fincas evaluación. Soil Sci.. Soc. De la mañana. J. 72: 693-701.
- SR Carpenter, Mooney HA, Agard J, D Capistrano, RS DeFries et al., 2009. La ciencia al servicio la gestión de servicios de los ecosistemas: más allá de la evaluación de los ecosistemas del milenio. Actas de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América 106:1305-1312.
- R Derpsch, Friedrich T, A Kassam, Hongwen L. 2010. Situación actual de la adopción de la siembra directa la agricultura en el mundo y algunos de sus principales beneficios. Revista Internacional de Ingeniería Biológica y 3:1-25.

K Descheemaeker, un Tilahun, un Hailelassie. 2010. Mejorar la productividad del agua en la mezcla de cultivos y ganadería sistemas agrícolas de África subsahariana. *Agrícola Gestión del Agua* 97:579-586.

Doraiswamy PC McCarty, GW, Hunt ER, Yost RS, Doumbia M, Franzleubbers AJ. 2007. Modelando el secuestro de carbono en el suelo en las tierras agrícolas de Malí. *Agrícola Sistemas* 94:63-74.

Erenstein O. de 2008. Cero labranza impactos en la India los sistemas de arroz-trigo: una revisión. *Hasta el suelo. Res.* 100:1-14.

Falcao fuentes de energía nuclear, Clemente CR, Tsai SM, et al., 2009. Edafología, fertilidad y biología de la central Amazonía tierras oscuras. p. 213-228. En Teixeira, W.G. (ed). *Amazonía tierras oscuras; Wim la visión de Sombroek.*

Flora C B. 2010. La seguridad alimentaria en el contexto de la energía y el agotamiento de los recursos; sostenible agricultura en los países en desarrollo. *Renovables Agricultura y Sistemas Alimentarios* 25:118-128.

Gates J B, B Scanlon, Xingmin M. 2008. Efectos de las medidas de conservación de suelos en vadosa zona de drenaje en la meseta de Loess, en China. *Sociedad Geológica de América* 40:48.

HT Gollany, Novak JM, Y Liang, Alberto SL, Rickman RW, Follett RF, Guillermo Guerra, P G Hunt. 2010. Simulación dinámica del carbono orgánico del suelo con la eliminación de residuos mediante la CQESTER modelo. *Sociedad de la Ciencia del Suelo de la Revista Latina* 74:372-383.

Gowing W J, Palmer M. 2008. el desarrollo agrícola sostenible en el África subsahariana: en el caso de un cambio de paradigma en el manejo de la tierra. *Uso del Suelo y Gestión* 24:92-99.

Grandy A, S, T Loecke D, S Parr, G P Robertson. 2006. Las tendencias a largo plazo en el óxido nítrico las emisiones, el nitrógeno del suelo y rendimiento de los cultivos de siembra directa y labranza cero sistemas de cultivo. *J. Environ. Qual.* 35:1487-1495.

R Gupta, un set. 2007. Una revisión de las tecnologías de conservación de los recursos para el desarrollo sostenible gestión del arroz-trigo sistemas de cultivo de las llanuras del Indo-Ganges. *De cultivos Protección* 26:436-447.

Halvorson A, D, B Weinhold J, A L Negro. 2002. Labranza, sistema de nitrógeno y de cultivo efectos sobre el secuestro de carbono en el suelo. *Soil Sci.. Soc. De la mañana. J.* 66:906.

Un FERED Hanjra M, T, G D Gutta. 2009. Reducir la pobreza en el África subsahariana a través de inversiones en agua y otras prioridades. *Gestión del Agua Agrícola* 96:1062-1070.

Hobbs P R. 2008. El papel de la agricultura de conservación en la agricultura sostenible. *Phil. Trans. Real. Soc. B* 363:534-555.

Esperanza K R. 2002. La agricultura y el desarrollo económico en el Caribe. *La política alimentaria.* 6:253-265.

Joshi una K, P, R Singh, Ortiz R, R Chand, Arun B. 2007. Mejora genética de los cultivos de labranza reducida gestión en los sistemas intensivos, de arroz y trigo del sur de Asia. *Euphytica* 153:135-151.

Knowler D, B Bradshaw. 2007. adopción de los agricultores de la agricultura de conservación: una revisión y síntesis de las investigaciones recientes. *Políticas Alimentarias* 32:24-48.

Lakaria B, L, H Biswas, Mandal D. 2008. Suelo valores de pérdida de tolerancia para diferentes regiones fisiográficas de la India central. *Uso del Suelo y Gestión* 24:192-198.

Lal R. 1976a. De siembra directa los efectos sobre las propiedades del suelo en diferentes cultivos en el oeste de Nigeria. *Soil Sci.. Soc. De la mañana. J.* 40: 762-768.

Lal R. 1976b. La erosión del suelo de Investigaciones sobre Alfíols en Nigeria occidental. IITA Monografía 1, Ibadan, Nigeria, 200 p.

Lal R. 1983. La labranza de conservación. IITA tecnología. Bol. 1., Ibadan, Nigeria, 64 pp

Lal R. 2003. La erosión del suelo y el presupuesto global del carbono. *Env. Intl.* 29: 437-450.

Lal R. 2004. Secuestro de carbono en los suelos de Asia Central. *Tierra Degrad. Dev.* 15:563-572.

Lal R. 2004a. Suelo impactos de secuestro de carbono sobre el cambio climático global y la seguridad alimentaria. *Ciencia* 304; 1623-1622.

Lal R. 2004b. Emisiones de carbono de las operaciones agrícolas. *Env. Intl.* 30:981-990.

Lal R. 2010a. Más allá de Copenhague: mitigación del cambio climático y alcanzar la seguridad

alimentaria  
mediante la retención de carbono en el suelo. Seguridad Alimentaria 2: 169-177.  
Lal R. 2010b. Mejora de la eco-efficiency en los agroecosistemas mediante la retención de carbono en el suelo. Agrocienza. 1: 30-40.  
Malhi S S, R Lemke. 2007. Labranza, residuos de cosechas, y N efectos fertilizantes sobre el rendimiento de los cultivos, la absorción de nutrientes, calidad del suelo y las emisiones de gas de óxido nitroso en un segundo turno de 4 años ciclo. Hasta el suelo. Res. 96:269-283.  
McDonald M A Healey, I J, P A Stevens. 2002. La agricultura, los ecosistemas y el medio ambiente 92:1-19.  
Mónaco S, Hatch DJ, D Sacco, Bertora C, C Grignani. 2008. Los cambios en la química y propiedades bioquímicas del suelo inducida por adiciones repetidas de 11 años de diferentes orgánica materiales en los sistemas de forraje a base de maíz. Biol. suelo. Biochem. 40:608-615.  
Naudin K. 2010. Impacto de la labranza cero y las prácticas de acolchado en la producción de algodón en el norte Camerún: una evaluación en la explotación de varios de ubicación. Hasta el suelo. Res. 108:68-76.  
Ortiz, R. 2008. El cambio climático: ¿se puede combatir el calor? La agricultura, los ecosistemas, y Para el Medio Ambiente. 126:46-58.  
Peden D. 2009. Productividad de ganado en el agua: implicaciones para el África subsahariana. Pastizales Diario 76:129-134.  
JN Pretty, como Bali, Xiaoyun L, Ravindranath NH. 2002. El papel del desarrollo sostenible la agricultura y la gestión de los recursos renovables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento de los sumideros en China y la India. Transacciones filosóficas: Matemáticas 360:1741-1761.  
Reynolds P M, N Bourlag E. 2006. La aplicación de innovaciones y nuevas tecnologías para la mejora de colaboración internacionales del trigo. Revista de Ciencias Agrícolas 144:95 - 110.  
UM Sainju, Senwo ZN, EZ Nyakatawa, Tazison IA, KC Reddy. 2008. Carbono en el suelo y secuestro de nitrógeno como afectados por sistemas de labranza de largo plazo de cultivo, y el nitrógeno fuentes de fertilizantes. Agric. Ecosyst. Medio Ambiente. 127:234-240.  
Tenywa M M, Bekunda M. 2009. La gestión de los suelos en el África subsahariana: retos y oportunidades para la conservación del suelo y el agua. Diario de Conservación de Suelos y Aguas 64:44 A-48A.  
Valentín C, F Agus, Alamban R, A Boosaner, JP Bricquen et al., 2008. Escorrentía y los sedimentos las pérdidas de 27 cuencas de montaña en el sudeste asiático: el impacto de los rápidos cambios de uso del suelo y prácticas de conservación. La agricultura, los ecosistemas y el medio ambiente 128:225-238.  
MB Villamil, Bollero GA, Darmody RG, Simmons FW, la Dirección General de Bullock. 2006. La siembra directa maíz / soja incluyendo los sistemas de cultivos de cobertura de invierno: efectos sobre las propiedades del suelo. Soil Sci.. Soc. De la mañana. J. 70:1936.  
P Vlek L G, G Rodríguez-Kuhl, Sommer R. 2004. Uso de la energía y la producción de CO2 en la agricultura tropical y los medios y estrategias para la reducción o mitigación. Medio Ambiente, Desarrollo y Sostenibilidad 6:213-233.  
Zake Tenywa J, S J, M Kabi. 2010. Mejora de la gestión del estiércol para la producción agrícola en el centro de Uganda. Diario de Agricultura Sostenible 34:595-617.

Tabla 1. Razones para la falta o la lenta adopción de la agricultura de conservación en los países en desarrollo

<b>Técnico</b>	<b>Social</b>	<b>Económico</b>	<b>Institucional</b>
1. Acceso a equipos de siembra	1. Tenencia de la tierra	Acceso al mercado	Servicios de extensión
2. Control efectivo de	2. Problemas	Disponibilidad de	Apoyo a la

malezas	genéricos	crédito	investigación
3. La falta de abono de residuos de cosecha	3. Disposición	Disponibilidad de input	Días de campo
4. Ausencia de cultivos de cobertura en la rotación	Cultura y tradición	Rentabilidad y coste-efectividad	
Nitrógeno Inmovilizado	Educación		
Bajo rendimiento de los cultivos	Aversión al riesgo		

Tabla 2. Las estimaciones del área de tierras de cultivo en la agricultura sin labranza y la agricultura de conservación (Adaptado de Kassam et al., 2009)

Año	Área de tierras de cultivo Mundial Bajo la no labranza (en millones de ha )
1973-77	2.69
1978-82	2.66
1983-87	6.26
1988-92	11.44
1993-97	35.01
1998-2002	66.85
2003-2007	100.25
2008-2009	106.51

Tabla 3. Estimaciones de la Población Mundial (Population Reference Bureau, 2009)

Países de mayor población en 2009		Países de mayor población en 2050	
País	Población (10*9)	País	Población (109)
China	1.331	India	1.748
India	1.171	China	1.437
EE.UU.	0.307	EE.UU.	1.439
Indonesia	0.243	Indonesia	1,343
Brasil	0.191	Pakistán	0.335
Pakistán	0,181	Nigeria	0,285
Bangla Desh	0.162	Bangla Desh	0.222
Nigeria,	0.153	Brasil	0.215
Rusia	0.142	Congo	0.185
Japón,	0.128	Filipinas	0.150
Mundial Total	6.810	Mundial Total	9.421

Tabla 4. Huella de carbono en la labranza y otras operaciones de explotación y el uso de fertilizantes y plaguicidas (Adaptado de Lal, 2004b)

Operaciones agrícolas		Carbono equivalente
<b>A. Métodos de labranza</b>		
(I)	Arado vertedera	15,2
(II)	Arado cincel	7.9
(III)	Arado de disco	8.3
(IV)	Subsolador	11,3



(V)	Cultivador	4.0
(VI)	Rotavapor	2.0
<b>B</b>	<b>Otras operaciones agrícolas</b>	
(I)	Pulverización herbicidas	1.4
(II)	Fumigación fertilizantes	0.9
(III)	Pulverización de abonos	7.6
(IV)	La incorporación de productos químicos	5.7
(V)	siembra sin labranza	3.8
(VI)	Labranza convencional de la siembra	3,2
(VII)	Trituración de caña de maíz	4.4
(VIII)	combinado con cosecha de maíz	10,0
(IX)	Cosecha de forraje	13,6
<b>C</b>	<b>Productos químicos C. (C Kg / kg a: i)</b>	
(I)	de fertilizantes nitrogenados	1.3
(II)	El fósforo de fertilizantes	0.2
(III)	Los herbicidas	6,3
(IV)	los insecticidas	5.1
(V)	Los plaguicidas	3.9

Figura 1. Cuestiones de importancia mundial durante las primeras partes del siglo 21

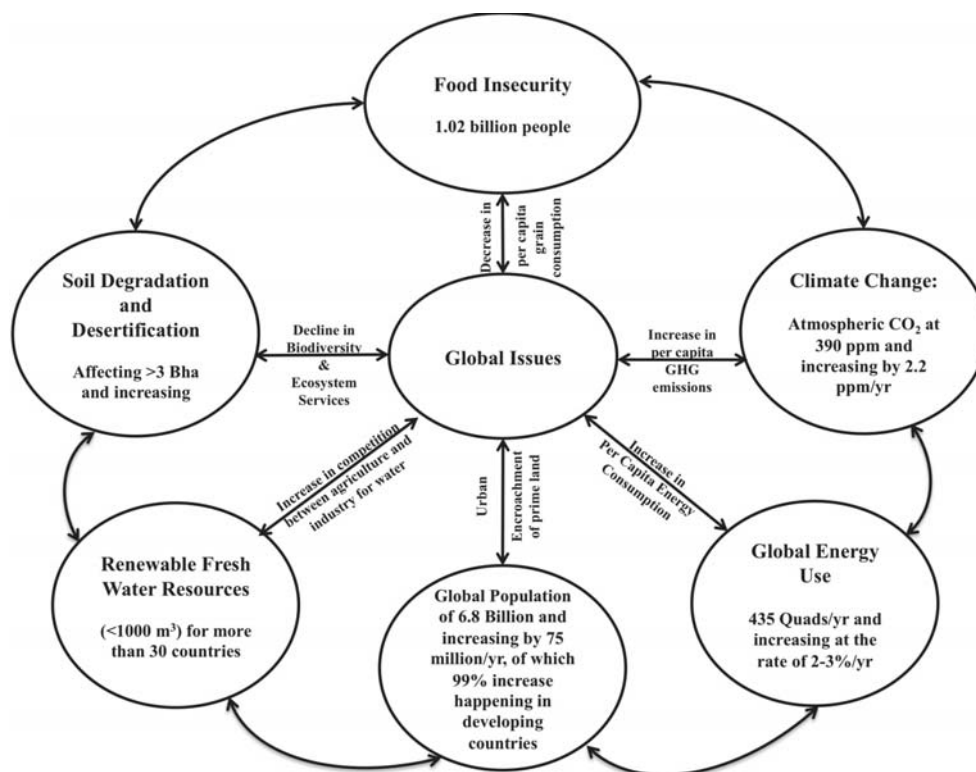


Figura 2. La reducción de las emisiones de gases y secuestro de carbono en el suelo constituyen la respuesta dual de conservación de la agricultura al cambio climático

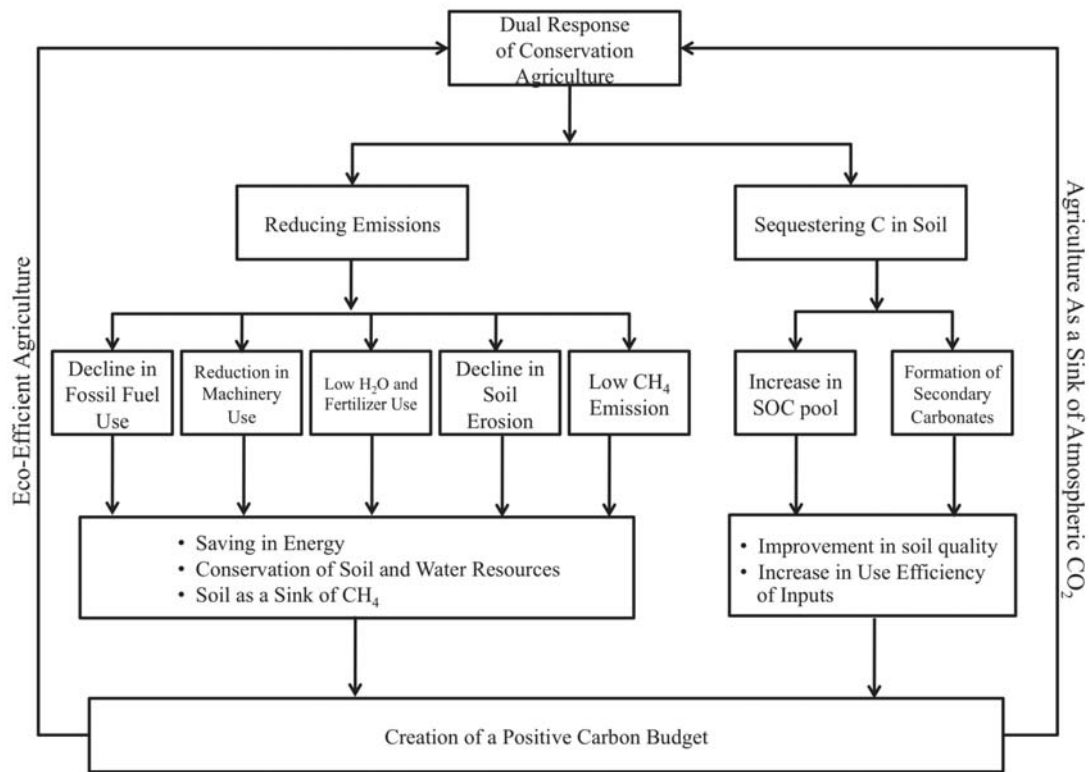


Figura 3. Mitigación de la adaptación al cambio climático a través de la agricultura de conservación.

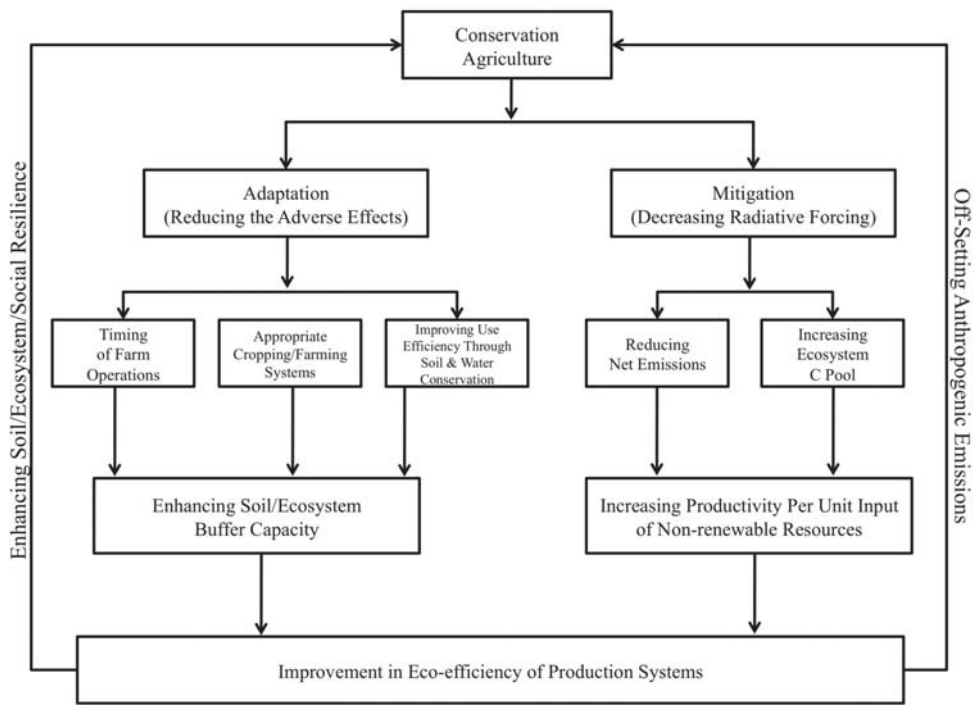


Figura 4. Servicios de los ecosistemas generados mediante la adopción de la agricultura de conservación

