

# PRÁCTICAS DE AGRICULTURA

PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA  
EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE SECAÑO EN CENTROAMÉRICA



THE HOWARD G.  
**BUFFETT**  
FOUNDATION



*Autoría, edición y coordinación técnica:*  
***Equipo GWI con apoyo de Daniel Moss***

# PRÁCTICAS DE AGRICULTURA

PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

## EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE SECANO EN CENTROAMÉRICA

*GWl quiere agradecer a todos los organismos, instituciones u organizaciones que han colaborado con nosotros y sin cuya participación este trabajo no hubiera sido posible, en cada uno de los tres países que nos ocupan: Nicaragua, El Salvador y Honduras.*

*Hecho por:*  
***Equipo GWl (Iniciativa Global del Agua)***  
***Centroamérica***  
***San Salvador, 2014***

*Esta versión en español del documento fue validada con nuestros técnicos y equipos, razón por la cual no coincide plenamente con la versión en inglés.*



# Contenido

<b>1. Presentación de la serie Temas para el Debate</b>	<b>7</b>
<b>2. Productividad del agua:</b>	
<b>la clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las familias y los territorios</b>	<b>11</b>
<b>3. Prácticas de gestión del agua y el suelo: ¿Aprendiendo del pasado?</b>	<b>15</b>
<b>4. Recopilando y analizando la información</b>	<b>16</b>
<b>5. Prácticas agrícolas para mejorar la productividad del agua y los cultivos en Centroamérica</b>	<b>18</b>
5.1 Prácticas agronómicas para la conservación de suelos y la gestión de agua	18
5.2 Prácticas vegetativas para la conservación de suelos y la gestión de agua	26
5.3 Prácticas estructurales para la conservación de suelos y la gestión de agua	31
5.4 Sistemas agrícolas y productividad del agua	37
<b>6. Adopción de prácticas agrícolas para mejorar la productividad de agua en Centroamérica</b>	<b>50</b>
<b>7. Marco político ¿Un entorno propicio para la gestión de agua y suelos?</b>	<b>58</b>
<b>8. Comentarios finales</b>	<b>62</b>
<b>9. Bibliografía</b>	<b>69</b>

# Abreviaturas

Proyecto Cajón	Proyecto de Manejo de los Recursos Naturales Renovables de la Cuenca del Embalse el Cajón
CEC	Capacidad de intercambio catiónico
CIAL	Comité de Investigación Agrícola Local
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CONABISH	Comité Nacional de Bienes y Servicios Ambientales de Honduras
CRS	Catholic Relief Services
CENTA	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador
DICTA	Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Honduras
FOCUENCAS	Programa de innovación, aprendizaje y comunicación para la cogestión adaptativa de cuencas
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
LUPE	Land Use and Productivity Enhancement Project (Proyecto para el Uso del Suelos y Mejora de la Productividad)
MARENA	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua
Mi Cuenca	(Nombre utilizado localmente para la Fase I de la Iniciativa Mundial del Agua en Centroamérica, financiada por la Fundación Howard G. Buffett e implementada por CRS)
MST	Proyecto Manejo Sostenible de la Tierra, del MARENA
PAES	Programa ambiental de El Salvador ejecutado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
PASOLAC	Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central
PESA	Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (FAO)
PIMCHAS	Proyecto Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento de Nicaragua
POSAF	Programa Socioambiental y de Desarrollo Forestal de Nicaragua
QSMAS	Sistema Agroforestal Quesungual Slash y Mulch
PRODERNOR	Proyecto de Desarrollo Rural del Nororiente de El Salvador
SDC	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
SSA	África Subsahariana
UNA	Universidad Nacional Agraria de Managua, Nicaragua
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

## 1. Presentación de la serie Temas para el Debate

La agricultura representa el principal medio de vida para una gran parte de la población rural que se mantiene en los umbrales de la pobreza. Para muchos países en desarrollo, constituye un motor del crecimiento económico general y, por lo tanto, de la reducción de la pobreza. La demanda de alimentos y forraje continuará creciendo en todo el mundo<sup>1</sup> y el aumento requerido sólo se logrará si se mejora la productividad. Para Centroamérica, esto significa producir más alimentos en la misma extensión de tierra y en un contexto donde predominan los efectos del cambio climático y la volatilidad de los precios para los alimentos.

La situación en Centroamérica refleja lo que está sucediendo en otras regiones del mundo. Ello lleva a los expertos en desarrollo a concluir que “la producción de secano sigue siendo la principal fuente de alimento, forraje y fibra en todo el mundo, particularmente en áreas con predominio de sistemas de subsistencia rurales”<sup>2</sup>.

### 1.1. La inseguridad alimentaria en Centroamérica

Después de casi medio siglo caracterizado por una constante disminución de los precios en los productos alimentarios básicos, se prevé que los precios de los alimentos se mantengan volátiles durante las próximas décadas<sup>3</sup>. El alza en los precios de los alimentos en los años 2008 y 2011 demostró cómo la volatilidad del mercado afectaba la seguridad alimentaria mundial<sup>4</sup>.

Los precios de los alimentos afectan directamente la pobreza en la región, ya que los alimentos representan la mayor parte del presupuesto familiar, para los pobres tanto urbanos como rurales en Centroamérica<sup>5</sup>. Se estima que 1.1 millones de personas cayeron en la pobreza, y dos millones de personas que ya estaban en los umbrales de pobreza descendieron a la pobreza extrema<sup>6</sup>.

La crisis de precios sacudió las economías centroamericanas, puesto que los países de la región importan alrededor del 40% de su suministro de alimentos<sup>7</sup>, y esta situación los hace especialmente vulnerables. La producción de granos básicos en Centroamérica aumentó sólo un 2,5% por año entre 2000 y 2009, correspondiente apenas al ritmo de crecimiento de la población<sup>8</sup>. Con el aumento de la demanda de alimentos, y una producción nacional dependiente de las importaciones, en el corto plazo la región será cada vez más vulnerable a la volatilidad del mercado global.

1. En el curso de los próximos 40 años, la agricultura tiene que duplicar su producción de alimentos, fibra y combustible para cubrir la demanda creada por una población mundial creciente, mejores condiciones económicas y los consecuentes cambios en los patrones de consumo y estilos de vida. Algunas proyecciones (FAO, 2009) sugieren que la producción deberá incrementarse aproximadamente en un 70% hacia el año 2050 sólo para mantener el ritmo de la demanda por alimentos.

2. Traducción de GWI. Molden, D. (ed.) (2007): Water for Food, Water for Life: Comprehensive Assessment of Water Management for Food. Earthscan, Londres.

3. Nota: Los precios globales de granos están correlacionados en gran medida con el costo del petróleo. Consultar: [http://www.paulchefurka.ca/Oil\\_Food.html](http://www.paulchefurka.ca/Oil_Food.html).

4. FAO (2011) Addressing high food prices: A synthesis report of FAO policy consultations at regional and sub regional level. Roma, FAO Octubre, 2011

5. Food and nutrition insecurity in Latin America and the Caribbean. CEPAL, 2009.

6. CEPAL (2008) Istmo Centroamericano: Crisis Global, Desafíos, Oportunidades y Nuevas Estrategias

7. IICA (2011) The Food Security Situation in the Americas. Página 15. <http://www.iica.int/Esp/Programas/SeguridadAlimentaria/IICAPublicaciones/B2914i.pdf>.

8. Basándose en datos elaborados por la FAO, la producción de granos se incrementó en 2.56% y la producción general de alimentos creció en 4.3% en la década precedente al año 2009. Reportado por IICA (2011) The Food Security Situation in the Americas.

## 1.2. La degradación ambiental en Centroamérica

Dos de los problemas ambientales más críticos que enfrenta Centroamérica son la degradación de los suelos y la contaminación del agua, problemas ya exacerbados por el cambio climático.

Centroamérica es naturalmente susceptible a la erosión del suelo debido a su topografía: el 70% de la superficie terrestre corresponde a colinas. Además, la erosión se ve agravada por la expansión de la frontera agrícola en los ecosistemas naturales y la persistencia de la quema para la preparación de la tierra<sup>9</sup>. Los cambios en el uso de la tierra para la expansión de la agricultura, fueron la razón principal de la degradación del medio ambiente en los últimos 50 años<sup>10</sup>. De hecho, América Central es la única región del mundo donde las malas prácticas agrícolas son el principal agente de degradación del suelo.

La capacidad productiva de la agricultura en la región se ve afectada por la degradación generalizada de las tierras agrícolas y de las cuencas de los ríos. Se calcula que alrededor del 80% de la tierra agrícola es afectada por la degradación del suelo inducida por el hombre, el porcentaje más alto de todas las regiones del mundo. De manera que Centroamérica es la única región del mundo donde la mala gestión agrícola es la principal causa de degradación del suelo, por encima de la deforestación (Oldeman et al., 1991; Zurek, 2002). La grave degradación de los suelos en América Central está causando pérdidas masivas en el recurso hídrico: gran parte del agua se “pierde”, en lugar de ser infiltrada y utilizada a través de la transpiración de las plantas para la producción de biomasa.

Por otra parte, se prevé que el cambio climático reduzca la producción agrícola un 15% en Centroamérica<sup>11</sup>. En los últimos dos decenios, los patrones climáticos en la región han cambiado ostensiblemente. Estos cambios son evidentes en: (a) el aumento de las temperaturas medias; y (b) la frecuencia e intensidad de las tormentas y sequías. El impacto neto del aumento de las temperaturas es difícil de medir, pero algunos estudios en los últimos años han demostrado que dos cultivos de secano primordiales en la región, café<sup>12</sup> y maíz<sup>13</sup>, se verán negativamente afectados.

El impacto de tormentas más frecuentes e intensas en la producción agrícola es más difícil de predecir, dada la imprevisibilidad del clima. Pero los impactos ya son evidentes en la región. Los eventos climáticos extremos han llegado a ser cada vez más frecuentes desde la década de los años 60. Estas tormentas tienen efectos inmediatos y a largo plazo sobre la agricultura: de manera inmediata, las lluvias y vientos dañan los cultivos, mientras que a mediano y largo plazo, la lluvia extrema acelera la erosión del suelo y produce menor fertilidad para futuras temporadas.

## 1.3. Agricultura de secano: desafíos y oportunidades

En Centroamérica la pequeña agricultura de secano produce 2/3 de los alimentos y ocupa más del 80% de las tierras agrícolas en la región<sup>14</sup>. Con esta agricultura, los países tienen que hacer

9. Consultar: Bossio, D. y Geheb, K. (2008) Conserving Land, Protecting Water. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, Series 6. CAB International.

10. Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis. Washington, D.C.: Island Press. 2005.

11. CEPAL (2014) Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica.

12. CGIAR and CRS (2010). Coffee Under Pressure: <http://www.slideshare.net/ciatdapa/2009-03-18-coffee-under-pressure-cup-ciat-sfl-meeting>

13. TOR Report (2012) Tortillas on the Roaster, Summary Report: CIAT, CIMMYT, and CRS. [http://newswire.crs.org/wp-content/uploads/2012/10/CRS\\_Tortillas\\_on\\_the\\_roaster\\_summary\\_report.p](http://newswire.crs.org/wp-content/uploads/2012/10/CRS_Tortillas_on_the_roaster_summary_report.p)

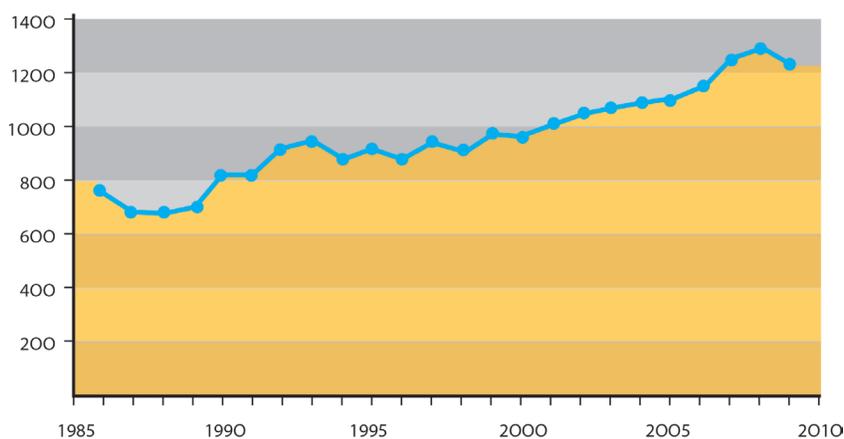
14. Siebert y Doll (2010) Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. Journal of Hydrology. Vol. 384.

frente a tres desafíos persistentes e interrelacionados: la inseguridad alimentaria, la pobreza y la degradación ambiental. La agricultura de secano, o la que depende fundamentalmente de lluvia, focalizada especialmente en pequeñas familias productoras, es una parte fundamental del problema pero también la clave para su solución. Una estrategia clara para mejorar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria en la región consiste en aumentar sobre todo la productividad de la agricultura familiar. El estado actual de la degradación de las tierras agrícolas en América Central debido a la mala gestión del suelo y del agua, no sólo representa riesgos y vulnerabilidades sino también la oportunidad para producir más alimentos con menos agua dulce (Rockström, 2007). La mejora de la productividad del agua se convierte, entonces, en una respuesta crítica a la creciente escasez de este recurso, así como a la necesidad de mantener suficiente agua para los ecosistemas y para satisfacer las crecientes demandas de ciudades e industrias (Molden y Oweis, 2007).

Hay un gran potencial para mejorar el rendimiento de los cultivos y, por lo tanto, la productividad del agua en los sistemas agrícolas de secano mediante la adopción de prácticas agronómicas y de manejo de agua probadas. Las diferencias de rendimiento de la agricultura de secano en América Central son considerables, lo que pone de relieve los retos y oportunidades para aumentar la producción de secano. El rendimiento promedio del maíz es inferior a 1,500 kg/ha (ver figura 1)<sup>15</sup>, mientras que una meta conservadora de rendimiento debería ser 3,000 kg/ha para el maíz en las fincas de ladera<sup>16</sup>.

La evidencia muestra que en regiones subhúmedas semiáridas y subhúmedas secas, el mayor desafío relacionado con el agua para la agricultura de secano es la extrema variabilidad de las precipitaciones, que se caracteriza por episodios de lluvia, tormentas de alta intensidad y alta frecuencia de las sequías y de los periodos secos. En Centroamérica, existe un período seco corto en medio de la temporada de lluvias, llamada canícula. Es tal vez el factor más grave de riesgo climático para los agricultores y, debido a su gravedad, representa un factor importante para las decisiones de cultivo. Cuando la canícula es más seca y larga de lo habitual, amenaza los cultivos en los dos ciclos, tanto en la primera como en la postrera.

Figura 1: Estimado de rendimientos promedio de maíz en países del CA4 (1985-2010).



Fuentes: FAOSTAT (2012), RedSICTA 2011 y análisis elaborado por Hileman, J. (2012)

Consultar también: FAO (2014). Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política.

Estas cifras corresponden a los promedios globales: 80% de las tierras agrícolas en el mundo son regadas con agua de lluvia y generan el 62% de los alimentos básicos en el mundo (FAOSTAT 2005), tal como lo reportó Rockström, J. (2007): Unlocking the potential of rainfed agriculture. Chapter 8: Managing water in rainfed agriculture. IWMI.

15. Los datos provienen de FAOSTat (2012), RedSICTA (2011). Sin embargo, las estadísticas oficiales combinan datos de tierras alimentadas por lluvias e irrigadas, de manera que el gráfico representa exclusivamente la productividad del maíz regado con agua de lluvia, sobre la base de un análisis estadístico del maíz en la región realizado por J. Hileman 2012 (material inédito).

16. Turrent, A., et al. (2012) Achieving Mexico's Maize Potential. Global Development and Environment Institute. Documento de Trabajo No. 12-03.

## 1.4. Buenas prácticas en la agricultura de secano:

Durante las últimas décadas, ha habido una enorme cantidad de análisis y aprendizajes sobre agricultura sostenible. Se han producido interesantes avances en capacitación y educación que son efectivos para incentivar a las pequeñas familias productoras a mejorar sus prácticas agrícolas. No son pocas las historias de éxito a pequeña y gran escala.

Las mejores prácticas para la agricultura sostenible se describen como “prácticas de Agua Verde” (Water-Smart Agriculture)<sup>17</sup>. La Iniciativa GWI está promoviendo el “Agua Verde”, como un enfoque para sistemas de secano en Centroamérica<sup>18</sup>.

## 1.5. Reinvertir en agricultura de secano

Durante los últimos veinte años, el entorno político en los países centroamericanos no ha sido propicio para la inversión en la agricultura de secano a pequeña escala. A partir de la década de 1990, se observa una drástica reducción en el sector agrícola de pequeña escala<sup>19</sup>. La reducción de la inversión pública en la agricultura limita la investigación agrícola, los servicios de extensión y la capacitación<sup>20</sup>.

Sin embargo, después de dos décadas de casi abandono del sector agrícola y de la agricultura familiar en Centroamérica, la crisis de precios de los alimentos en 2008 y 2011 obligó a los responsables de las políticas públicas y donantes internacionales a reconsiderar el modelo económico agrícola predominante desde el inicio de la década de 1990, que enfatizaba la producción para la exportación por encima de la producción para la seguridad alimentaria<sup>21</sup>.

Para revitalizar la agricultura de secano en América Central, sobre todo la que está en manos de pequeños productores, es necesario un giro hacia el enfoque agroforestal, silvopastoril y prácticas de agricultura de conservación. Tanto para los agricultores como para los gobiernos, éstas parecen ser las decisiones más acertadas para el manejo del agua, el suelo y la variabilidad climática. Desde la perspectiva del gobierno, las políticas, programas e inversiones en capital humano, así como el acceso a los servicios financieros y de extensión para los pequeños agricultores y la recuperación de los conocimientos locales, resultan muy pertinentes para iniciar los esfuerzos en esa dirección.

## 1.6. Temas de Debate para revitalizar la agricultura de secano en Centroamérica

Los objetivos de esta Serie de Debate son: (a) contribuir a la revitalización de las inversiones en la agricultura de secano; y (b) promover las mejores y más eficaces inversiones basadas en los conocimientos disponibles y la experiencia previa.

Para iniciar esta discusión se trabajó sobre tres preguntas:

- I. ¿Qué prácticas y tecnologías generan el mayor impacto para la mejora de la agricultura de secano?
- II. ¿Qué servicios de extensión han sido explorados y aplicados en Centroamérica, y

17. Turrent, A., et al. (2012) Achieving Mexico's Maize Potential. Global Development and Environment Institute. Documento de Trabajo No. 12-03.

18. Informe TOR (2012). El informe TOR concluye que, “El mejoramiento de la fertilidad de suelo y el manejo de éste a gran escala puede constituir la más importante técnica de adaptación climática disponible para los pequeños agricultores en América Central”.

19. IFAD 2011: a inicios de la década de 2000, los presupuestos agrícolas promediaban apenas el 2% del PBI en la región, pese a que el 15%-30% de las economías de estos países correspondía a la agricultura. <http://www.ifad.org/hfs/index.htm>.

20. Informe IIASTD LAC (2009) y Trejos, R., C. Pomareda y J. Villasuso (2004) Políticas e instituciones para la agricultura de cara al siglo XXI. IICA, Costa Rica.

21. Informe IIASTD LAC (2009).

- cuál es su potencial para revitalizar la agricultura de secano?
- III. ¿Qué mecanismos de financiamiento funcionan mejor para las familias productoras?

Desde mediados de 2013, los socios de la Iniciativa GWI en Centroamérica llevaron a cabo entrevistas y revisiones bibliográficas, y organizaron una serie de eventos y mesas redondas en El Salvador, Honduras y Nicaragua, para contestar cada una de las preguntas anteriores.

Este trabajo se llevó a cabo de manera participativa con la red de actores involucrados en cada país: gobierno nacional y local, ONG, sector académico y sector privado. El objetivo buscado por la metodología era, en primer lugar, evaluar la situación de la extensión, del financiamiento y de las prácticas agrícolas en cada país, reuniendo la voz y la experiencia de todos los actores.

La realización de este trabajo serviría para promover la interacción, la reflexión y el análisis conjuntos. Con esta intención, se organizó en cada país una “alianza de aprendizaje” conformada por todos los actores involucrados en cada uno de estos temas. El papel de la “alianza de aprendizaje” en cada país consistió en recopilar información, generar reflexiones en torno a la misma, y validar el producto final de la consulta.

En primer lugar, se abrió una oportunidad para que la institución responsable de la ejecución de las políticas de extensión, financiamiento o prácticas agrícolas se involucrara y asumiera el proceso, con la intención de que se apropiara del proceso de reflexión. Estas instituciones se responsabilizaron de recoger la información en los territorios.

De forma paralela, se abrieron espacios de diálogo, discusión y reflexión conjunta con actores diversos. Para la reflexión y el diálogo estratégico se utilizaron foros y reuniones. Estos espacios de reflexión se complementaron con giras de campo en las cuales se pretendía observar la situación concreta en los territorios.

## **2. Productividad del agua: la clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las familias y los territorios**

### **Un futuro lleno de desafíos**

Durante el transcurso de los próximos 40 años, la agricultura deberá duplicar su producción de comida, forraje, fibra y combustibles para satisfacer la demanda de una población global en constante crecimiento, de las condiciones económicas mejoradas en países de renta media y de los cambios subsiguientes en patrones de consumo y estilos de vida. Algunas proyecciones (FAO, 2009) establecen que la producción tendrá que incrementarse en aproximadamente el 70% para el 2050, simplemente para mantenerse a la par de la demanda alimentaria. Tal incremento sólo podrá lograrse si mejora la productividad, lo cual en el continente americano necesariamente implicará producir más en la misma cantidad de tierra. Expandir las fronteras agrícolas en la actualidad es algo virtualmente imposible en las sociedades actuales (FAO, 2011; IICA et al., 2011). La agricultura es el motor del crecimiento económico y en especial del sector al que pertenece la gran parte de la población de escasos recursos que subsiste en zonas rurales. Por lo tanto, la mejora de la agricultura de secano tiene el potencial de reducir la pobreza.

Para alimentar a una población creciente y con mayores requerimientos dietéticos, será necesario un incremento general de la producción de biomasa. Sin embargo, un incremento en la producción de biomasa supondrá a su vez más agua, ya que existe una relación directa bien definida entre la producción de biomasa vegetal (hojas, tallos, raíces, granos) y la evapotranspiración (Tanner y Sinclair, 1983; Steduto y Albrizio, 2005). La evapotranspiración requerida para la producción de biomasa podría incrementarse entre 60% y 90% para el 2050. Pero cubrir esta necesidad extrayendo agua de los sistemas de agua naturales no parece sostenible, debido a que la extracción de agua agrícola de sistemas naturales ya representa en la actualidad aproximadamente el 70% del uso humano. La extracción de agua adicional para fines agrícolas pondría a prueba los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos e intensificaría la competencia por recursos hídricos. Por ello, la mejora en la productividad del agua es una respuesta crítica para evitar la creciente escasez, para mantener suficiente agua que sustente los ecosistemas y para satisfacer la creciente demanda de ciudades e industrias. Mejorar la productividad de los recursos hídricos permitirá reducir la necesidad de aumentar los recursos hídricos así como de tierra (Molden y Oweis, 2007).

## **El incremento de la productividad del agua: Cultivar más alimentos con menos agua**

La productividad del agua se define como la proporción de beneficios netos obtenidos de los cultivos, la silvicultura, la pesca, la ganadería y los sistemas agrícolas mixtos en relación con la cantidad de agua requerida para producir dichos beneficios. En su más amplio sentido, refleja el objetivo de producir más comida, ingresos, medios de vida y beneficios ecológicos con un menor costo social y ambiental por unidad de agua utilizada, donde el uso de los recursos hídricos implica ya sea agua suministrada para el uso o bien agua agotada por el uso (Steduto et al., 2007).

Existe un rango considerable que justifica mejorar la productividad del agua en agriculturas de secano, o bien para los sistemas de riego, ganadería o pesqueros en muchas regiones del mundo. Muchos agricultores en los países en desarrollo podrían incrementar la productividad del agua al adoptar prácticas agronómicas para el manejo del agua ya comprobadas, debido a que incrementar la productividad de la tierra generalmente conlleva incrementos en la productividad del agua. Existen muchos caminos prometedores disponibles para incrementar la productividad del agua, desde sistemas de secano hasta sistemas de riego. Estos incluyen el riego suplementaria (algo de riego para complementar la lluvia o sobreponerse a períodos secos), el mantenimiento de la fertilidad del suelo, el riego deficitaria, la cosecha/almacenamiento, entrega y aplicación rentable de agua a pequeña escala, las tecnologías modernas de riego (como los sistemas presurizados y de riego por goteo) y la conservación de agua y suelo a través de, por ejemplo, cero o mínima labranza. El mejoramiento genético de plantas y vegetales puede ayudar indirectamente a reducir las pérdidas de biomasa mediante el incremento de la resistencia a plagas y enfermedades, el crecimiento inicial vigoroso para la rápida cobertura del suelo, variedades de maduración temprana y la reducción de la susceptibilidad a la sequía. Pero los incrementos de la productividad del agua depende del contexto (entorno) y deben ser evaluados mediante un análisis integral de cuencas (Steduto et al., 2007).

## La oportunidad de la agricultura de secano para incrementar la productividad del agua

La agricultura de secano cubre gran parte de las tierras de cultivo del mundo (80%) y produce la mayoría de los granos básicos del mundo (más del 60%), generando medios de vida en las áreas rurales y abasteciendo de alimentos a las ciudades (FAOSTAT, 2005). En el futuro, la agricultura de secano continuará produciendo la mayor parte de los alimentos del mundo. Sin embargo, el rendimiento de los cultivos en los sistemas de agricultura de secano es muy bajo, especialmente entre pequeños agricultores del trópico, y en consecuencia también lo es la productividad del agua. Esto brinda importantes oportunidades para producir más alimentos con menos agua (Rockström, 2007).

El alto potencial de mejorar el rendimiento de los cultivos y la productividad del agua en sistemas de agricultura de secano mediante prácticas agronómicas y el manejo del agua está comprobado científicamente y muestra que la cantidad total de agua no es necesariamente el factor clave limitante para mejorar el rendimiento de los cultivos, aún en las llamadas tierras secas (Hatibu et al., 2003). En su lugar, el mayor reto relacionado con el agua para la agricultura de secano en regiones subhúmedas es la extrema variabilidad de las precipitaciones, caracterizada por poca lluvia, tormentas de alta intensidad y alta frecuencia de períodos secos y sequías. Estas regiones cubren el 40% de la superficie terrestre del mundo y en ellas radican aproximadamente el 40% de la población mundial. Es por lo tanto de crucial importancia entender cómo las condiciones hidroclimáticas y el manejo del agua afectan el rendimiento de los cultivos en agriculturas de secano.

El reto clave es reducir los riesgos relacionados con el agua, representados por la alta variabilidad de las precipitaciones, en lugar de enfocarse únicamente en la carencia total de agua. En las regiones subhúmedas secas y semiáridas existen, por lo general, suficientes lluvias para duplicar e incluso a veces cuadruplicar el rendimiento de los cultivos en los sistemas de agricultura de secano, aún en regiones con recursos hídricos limitados. Sin embargo, el agua está disponible en el tiempo equivocado, y el resultado son períodos secos que reducen o incluso impiden la producción. La mayoría del agua se pierde y el reto enfrentado por estas áreas de secano es mejorar los rendimientos, mejorando la disponibilidad de agua y la capacidad de absorción de agua para los cultivos. Invertir en la gestión de suelos, cultivos y fincas es algo necesario (Wani et al., 2009).

### El caso de Centroamérica

La agricultura de secano actualmente representa el 70% de la producción de Centroamérica y cubre dos tercios de la tierra utilizada para la agricultura. Con respecto al uso del agua, Centroamérica sigue el mismo patrón y aproximadamente utiliza el 70% del agua. Este consumo, por sí mismo, no debería generar una escasez de agua, dado que la disponibilidad hídrica anual per cápita en América Central es de aproximadamente 23,000 m<sup>3</sup> (Beekmann, 2014). La disponibilidad de agua para agricultura, sin embargo, se ve comprometida por la distribución espacial y temporal irregular de las precipitaciones. El problema radica, por lo tanto, en la falta de absorción del agua lluvia debido al mal manejo del suelo que implica baja productividad del agua y de los cultivos que origina brechas de rendimiento. Mientras que las tasas de precipitaciones anuales oscilan entre los 1,150 mm y los 5,000 mm, son más marcadas las estaciones en la vertiente del Pacífico, con períodos secos bien definidos (diciembre-abril) y períodos de lluvias (mayo-noviembre). En la vertiente del Caribe el período de lluvias es continuo, con pequeñas disminuciones de las mismas durante abril

y octubre. La vertiente del Caribe cuenta con aproximadamente el 70% de los recursos hídricos mientras que el Pacífico tiene aproximadamente el 30%. Una distribución totalmente opuesta a la concentración de población y actividades productivas. Es decir, un corredor seco y altamente vulnerable que atraviesa toda la región, principalmente en la vertiente del Pacífico.

El patrón histórico del clima en la región (Centroamérica y el sur de México) también incluye un período seco dentro de la temporada lluviosa, denominado la canícula. El momento y la gravedad de la canícula es tal vez el factor de riesgo climático más serio para los agricultores y de hecho es un factor primordial para las decisiones que toman en lo pertinente a sus cultivos. Que la canícula sea especialmente seca o más larga de lo usual, puede representar una amenaza para los cultivos en tanto en la primera (cosecha de mayo a agosto) como en la postrera (de septiembre a noviembre).



*“La diversidad de la agricultura de secano en laderas de Centroamérica (Nicaragua).  
Foto: Axel Schmidt “*

Como ya comentábamos, la capacidad productiva de la región se ve afectada por la degradación generalizada de las tierras agrícolas y las cuencas. La severa degradación de la tierra en Centroamérica a su vez genera una masiva escorrentía de aguas. Por lo tanto, la mayor parte del agua “se pierde” en lugar de infiltrarse y ser utilizada por las plantas para la producción de biomasa a través de la transpiración. Las evaluaciones predicen que el aumento de temperatura (causante de altas tasas de evaporación y transpiración) si bien permitirá que siga habiendo

precipitaciones, éstas se verán reducidas. Sin una intervención consciente, la disponibilidad del agua del suelo se verá deteriorada e incrementará el riesgo de las llamadas sequías agrícolas (escasez de agua en la raíz de la planta, ocasionada por la degradación de la tierra y el mal manejo de agua y plantas) (Rockström, 2007; Schmidt et al., 2012). Finalmente, deberá tenerse en cuenta que la productividad hídrica en Centroamérica es también bastante reducida como consecuencia de una infraestructura insuficiente, así como del mal manejo del recurso hídrico, lo cual a su vez repercute en que la calidad de la misma sea deficiente (Beekmann, 2014).

Debido a lo preocupante de estas proyecciones, mejorar la productividad del agua es fundamental para fortalecer los sistemas agrícolas productivos, de manera equitativa, económicamente sostenible, ambientalmente sólida y culturalmente apropiada, de modo que puedan garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo económico con perspectivas de futuro.



*El efecto de la quema, Nicaragua. Foto: Axel Schmidt*

### 3. Prácticas de gestión del agua y el suelo: ¿Aprendiendo del pasado?

Cientos de millones de dólares han sido invertidos para el desarrollo rural y proyectos agrícolas en Centroamérica a lo largo de las últimas décadas. Los proyectos para la conservación de agua y suelos en la agricultura de laderas fueron muy comunes en la década de los 90. Por ejemplo, el Land Use and Productivity Enhancement Project o LUPE (Proyecto para el Uso del Suelos y Mejora de la Productividad), financiado por el USAID, y el Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC), financiado por el SDC, fueron implementados en varios países de la región. Adicionalmente, ha habido y continúan dándose innumerables esfuerzos para manejar la gestión de agua y suelos como parte de los proyectos de desarrollo.

La pregunta es: ¿lograron estos proyectos y programas el impacto que pretendían? Lo cual puede responderse a partir de una serie de preguntas evaluativas: ¿Qué proyectos tuvieron más éxito para cambiar comportamientos? ¿Cuáles no lo tuvieron? ¿Por qué? ¿Acaso la adopción inicial permitió una producción mayormente sostenible a largo plazo? ¿Se mantuvieron las prácticas

de gestión de agua y suelos después de que los proyectos finalizaron? ¿Qué prácticas fueron identificadas como más estratégicas y exitosas para mejorar la productividad del agua? ¿Cuáles son los factores que permitieron una adopción más exitosa y cuáles propiciaron fallas?

En este sentido serían valiosas las evaluaciones, discusiones y debates que brinden una base sólida de conocimientos para el diseño de proyectos en el futuro, programas de extensión y capacitación específicos, decisiones de inversión e iniciativas de políticas públicas. Estas evaluaciones también ayudarían a formular una “base de pruebas” que otorgaría calidad y credibilidad a cualquier esfuerzo de incidencia para la agricultura de secano con gobiernos, donantes internacionales y la comunidad para la cooperación al desarrollo, así como con el sector privado.

Y si bien una inmensa cantidad de datos e información se ha generado en los diferentes programas e instituciones (gubernamentales o no) a lo largo de las últimas décadas en cuanto a sistemas agrícolas de secano y gestión del agua en Centroamérica, la misma no ha sido sistemáticamente recolectada o analizada. Por ende, por lo general es difícil tener acceso a ella y por lo tanto es difícil de evaluar y utilizar. En gran medida, estos datos son registrados durante la vida útil del proyecto o inmediatamente después de su finalización; rara vez se encuentra en ellos una revisión crítica o el aprendizaje de los errores cometidos en el diseño e implementación. Y esta notable falta de análisis de fondo se debe a una capacidad muy limitada en la región para documentar. Los cortos plazos otorgados y el rápido cambio de dirección de las fuentes de financiamiento podrían ser también un factor que impida que las instituciones lleven a cabo análisis retrospectivos, revisiones y aprendizaje de los errores. Pudiera existir temor a compartir los resultados cuando no todo se trata de una historia de éxito. El resultado entonces se traduce en una disminución de la comprensión y la memoria institucional. Cualquier dato que pueda existir acaba acumulando polvo en los cajones de los escritorios.

GWI en Centroamérica busca la generación de conocimientos y aprendizaje. El presente documento brinda argumentos para que se lleve a cabo una urgente, amplia y necesaria discusión entre los agricultores, la comunidad para el desarrollo, los donantes y los gobiernos sobre la productividad del agua y el manejo de los sistemas de agricultura de secano en Centroamérica. Al recopilar, revisar y resumir experiencias pasadas de las prácticas de gestión de agua y suelos, las lecciones derivadas aprendidas y la identificación de algunas lagunas de información, el documento ofrece un principio para dar inicio a la evaluación y el intercambio de información que contribuya a la construcción de una plataforma de conocimiento integral.

#### **4. Recopilando y analizando la información**

La fuente principal para la elaboración de este documento es una exhaustiva revisión de literatura vinculada a prácticas para la gestión de agua y suelos en las laderas de Centroamérica. Cabe destacar que la literatura existente dentro de este contexto se podría denominar “literatura gris”, en el sentido de que se trata de documentos no publicados, no registrados y por ende virtualmente imposibles de encontrar en catálogos de literatura o de bibliotecas, bases de datos o internet. Los autores de este tipo de documentos son predominantemente personal de organizaciones no gubernamentales, universidades locales, institutos nacionales de investigación, ministerios o consultores contratados por donantes. Y en general, suelen consistir en informes, tesis estudiantiles, manuales, guías técnicas y otros materiales de extensión. La revisión en cuestión incluyó toda la información encontrada sobre el marco político actual para los sistemas de agricultura de secano y las prácticas de gestión. También fue revisada una serie de estudios de

impacto realizados en Nicaragua, Honduras y El Salvador, así como toda la literatura disponible en cuanto a la productividad del agua. Cabe destacar que dichos estudios fueron esenciales para la revisión de literatura y dio a conocer nuevos posibles colaboradores y socios al estudio.

La revisión de literatura identificó una serie de actores clave y proyectos pasados para llevar a cabo entrevistas a fondo y visitas de campo durante el transcurso de las cuales agricultores tanto individuales como en grupo fueron cuestionados sobre sus respectivas experiencias con los diferentes proyectos dedicados a la promoción de mejoras en la gestión de agua y suelos. Y debido a que las visitas de campo en cuestión tuvieron lugar al menos cinco años después de la finalización de los proyectos, las verdaderas tasas de adopción, así como las razones que motivaron que dicha adopción se diera o no, pudieron ser discutidas y comparadas con los informes finales del proyecto.

En El Salvador, un total de 11 proyectos y programas implementados entre 1981 y 2013 fueron revisados con base en la documentación disponible. Los proyectos tuvieron una duración de 2 a 20 años (programas con múltiples fases) y fueron financiados predominantemente por la cooperación internacional para el desarrollo (inversión total de US\$123 millones). Para la ejecución del presente documento se seleccionó el programa gubernamental PRODENOR y los proyectos PAES y Mi Cuenca para la realización de visitas de campo y el proceso de entrevistas a fondo, lo que a su vez se vio complementado por una encuesta formal realizada a través de un cuestionario aplicado a 108 agricultores. Las visitas de campo en mención tuvieron lugar en los departamentos de San Salvador (San Martín), Cuscatlán (San José Guayabal), Morazán (Torola, Arambala y Perquín) y La Unión (Nueva Esparta). Por su parte, en Nicaragua la encuesta identificó 20 programas y proyectos desarrollados entre 1994 y 2013 con una inversión estimada de US\$250 millones. Fueron revisados los programas del Ministerio de Recursos Naturales y el Medio Ambiente (MARENA), POSAF, PIMCHAS y MST, los programas de cooperación internacional como PASOLAC, PESA o FOCUENCAS, los resultados de investigaciones conducidas por el CIAT, INTA y UNA y las lecciones aprendidas de los proyectos de CRS, además de ser entrevistado el personal técnico clave de cada uno. Por otra parte, en la regiones del corredor seco en Honduras, señaladas por su gobierno, la recopilación de información primaria incluyó una serie de eventos de consultas participativas que se llevaron a cabo en estrecha colaboración con el DICTA. Y a su vez, fue recopilada información durante una visita de estudio con el Comité Nacional de Bienes y Servicios Ambientales Hondureño (CONABISH).

El proceso de revisión descrito anteriormente tuvo lugar en diferentes mesas redondas en las cuales se contó con la participación de actores clave de los tres países, la facilitación de CRS y expertos clave de entidades gubernamentales, universidades, organizaciones no gubernamentales y de agricultores, así como del sector financiero. Todo lo discutido sirvió para sustanciar la información obtenida; y por su parte, las contribuciones de tan relevantes y conocedores participantes fueron a su vez, y en sí mismas, una valiosa fuente de información.

## LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

pueden contribuir sustancialmente a la mejora de la productividad del agua: maximizando la infiltración del agua de lluvia para el aumento de la retención de agua en el suelo y evitando la escorrentía y la pérdida de agua y suelo vegetal; así como minimizando la evaporación de la superficie del suelo y reduciendo la transpiración de las malezas (Keller & Seckler, 2005, Hillel, 2008).

## 5. Prácticas agrícolas para mejorar la productividad del agua y los cultivos en Centroamérica

La productividad del agua está íntimamente ligado al manejo integrado de la fertilidad del suelo y por lo tanto a la agronomía (Breman, Groot y van Keulen, 2001). Las prácticas agrícolas pueden contribuir sustancialmente a la mejora de la productividad del agua a través de dos tareas principales. La primera es maximizar la infiltración de aguas lluvia para un incremento en la retención de agua, para evitar así la escorrentía y la pérdida, tanto de agua como de la capa superior del suelo. Y la segunda, revestida de igual importancia, consiste en minimizar la evaporación de la superficie del suelo, reduciendo la transpiración mediante la cobertura (Keller y Seckler, 2005; Hillel, 2008). Ambas tareas conllevan incrementar la disponibilidad de aguas de riego y la capacidad de captación de agua. Al mantener el suministro de nutrientes vegetales en niveles óptimos, la producción de biomasa por unidad de agua transpirada se verá maximizada. En general los aumentos de rendimiento se encuentran vinculados a la mejora de la productividad del agua, lo cual demanda una gestión óptima de los cultivos (Molden y Oweis, 2007).

La siguiente sección describe las prácticas agrícolas y los sistemas identificados a través de la revisión documental y las encuestas de campo que tenían el potencial de mejorar la productividad del agua y de los sistemas de agricultura de secano de Nicaragua, Honduras y El Salvador. Éstas se encuentran agrupadas en prácticas agronómicas, de vegetación y estructurales. Y varias de ellas se superponen entre los diferentes grupos. Se encuentran disponibles descripciones técnicas detalladas de estas bien conocidas prácticas. (e.g. PASOLAC, 2000). El enfoque del siguiente capítulo es la relación de estas prácticas con la productividad del agua y por lo tanto con la gestión de suelos, la gestión de la fertilidad de suelos y la agronomía.

### 5.1 Prácticas agronómicas para la conservación de suelos y la gestión de agua

Estas prácticas se refieren a la aplicación de intervenciones en los cultivos para mantener o mejorar incrementos de la producción a largo plazo así como la salud misma del suelo. Se enfocan en proteger la superficie del suelo (reduciendo la erosión y la escorrentía del agua) e incrementar el contenido de materia orgánica del suelo. Estas medidas ayudan a mejorar la infiltración del agua y su retención, así como la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo cual resulta en rendimientos de cultivos más altos y por lo tanto en una mayor productividad del agua.

Estas prácticas agronómicas se llevan a cabo sólo en pequeña escala, intervenciones según ubicación y cultivos específicos. Suelen ser intervenciones de corto plazo o muy específicas durante un período de cultivo y por lo tanto deben repetirse varias veces, durante varios ciclos de

cultivo, para poder ser efectivas. Por lo general pueden aplicarse en diferentes lugares (diferentes tipos de suelos y pendientes) sin tener que efectuar mayores ajustes. Dichas prácticas contribuyen a la rehabilitación de suelos y a la mejora de las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo (salud del suelo). Y a su vez brindan condiciones mejoradas para la germinación de semillas, el desarrollo de un sistema radicular, el desarrollo general de cultivos, la resistencia al estrés y eventualmente al rendimiento de cultivos. Las prácticas agronómicas identificadas durante la revisión y la encuesta que suelen ser más utilizadas por los productores pequeños y medianos en estos países son: prácticas de no quema, gestión de residuo de cultivos, labranza mínima, aplicación de fertilizantes orgánicos, densidad de siembra, arreglos espaciales de plantas y agricultura de contornos.

## La no quema y la gestión de los residuos de cultivos (rastrajo)

Desde tiempos precolombinos, la quema de rastrojos y de la vegetación natural ha sido una práctica común en Centroamérica. Los residuos por lo general son quemados para el control de plagas o enfermedades, o bien con el objeto de hacer más fácil el trabajo de siembra de la próxima temporada. Sin embargo, la quema destruye la capa de hojarasca y en consecuencia disminuye el monto de materia orgánica que regresa al suelo (Amado et al., 1998). El calor generado por el fuego acelera la pérdida de la humedad del suelo. Los organismos que habitan en la superficie del suelo, las capas superiores y la hojarasca son destruidos. Y para que pueda darse en el futuro la descomposición debe invertirse una gran cantidad de esfuerzo: primero en la reconstrucción de la comunidad microbiana antes de que los nutrientes vegetales puedan ser liberados del suelo a las raíces.

Además, la quema suele ser llevada a cabo para mejorar la calidad de los pastizales porque se cree que destruir el pasto seco, y por ende no apetecible, inducirá el crecimiento de pasto fresco. Algunos de los efectos más dañinos de las quemas a largo plazo, aparte de la pérdida en la humedad del suelo, incluyen la disminución de la materia inorgánica, del total de nitrógeno y azufre, de la proporción de carbono y nitrógeno, del extraíble de carbono, de polisacárido, de amonio y del fósforo disponibles (Pimentel et al., 1995; Mills y Frey, 2004). Dados estos devastadores efectos en la disponibilidad del agua y la fertilidad del suelo, las prácticas de no quema son un requisito, o mejor dicho, el primer pilar requerido para una gestión del agua y una agricultura sostenible en Centroamérica. Y si bien se ha tenido cierto éxito en la reducción de la quema agrícola durante la década pasada (por ejemplo en Lempira Sur, Honduras), Centroamérica sigue asfixiada con el fuego y humo que cada año puede verse al final de la estación seca.

El segundo pilar de la agricultura sostenible en Centroamérica es la cobertura de suelos/gestión de residuos de cultivos (rastrajos). La cobertura de suelos reduce las pérdidas de agua del suelo por evaporación al actuar como una capa aislante. Esto disminuye la temperatura en la superficie del suelo y elimina el efecto de resequedad como resultado del viento. El calor del sol sólo se transmite lentamente hasta la superficie del suelo partiendo de los residuos en la misma mediante el aire atrapado dentro de la capa residual. Y como resultado de lo anterior, la superficie del suelo se mantiene más fresca y la tasa de la evaporación de agua del suelo se desacelera. Mientras más gruesa sea la capa de aire atrapado, mayor será el efecto aislante.

La temperatura del suelo no sólo influye en la absorción del agua y los nutrientes que llevan a cabo las plantas, la germinación de las semillas y el desarrollo de raíces, sino también en la actividad microbiana y en la formación de costras y endurecimiento del suelo. Las raíces suelen absorber

## En Choluteca,

Honduras,  
(Thorow et al. 2004)  
se reportaron  
incrementos en la  
producción de hasta el  
30% para sistemas de  
maíz con incorporación  
de rastrojos, en  
comparación con las  
parcelas donde  
los rastrojos eran  
quemados.

## La principal desventaja

de la incorporación de  
rastrojo para disminuir la  
evaporación directa del  
agua es la gran cantidad  
de rastrojo requerido,  
considerablemente mayor  
que la necesaria para  
garantizar la infiltración  
de las precipitaciones  
en el suelo y con otros  
posibles usos como  
forraje, combustible o  
material de construcción.

más agua cuando se incrementa la temperatura del suelo, hasta un máximo de 350 C. Cualquier temperatura por encima de eso limita la absorción de agua, en tanto que la disminución de temperaturas en la superficie del suelo mejora la germinación de la mayoría de las semillas. Los residuos de los cultivos que quedan en la superficie del suelo (incorporación de rastrojo) permiten una mayor agregación del suelo, un incremento en la porosidad y un mayor número de macroporos, facilitando de esta manera la infiltración del agua. Su descomposición depende de la actividad de los microorganismos y la meso y macro fauna del suelo. La macro fauna de gusanos de tierra, escarabajos, termitas y hormigas promueve la integración de residuos a la superficie del suelo. Y la cobertura de residuos reduce o elimina la erosión por salpicadura. Y por lo tanto se reduce en la superficie la formación de costras, el sellado o la compactación inducida por lluvias. La cobertura del suelo forma pequeñas presas de desviación que desaceleran la escorrentía y permiten más tiempo para la infiltración. El sedimento se deposita detrás de estos desvíos y permanece en el campo. En ese sentido, la cobertura residual es uno de los métodos más efectivos y menos caros para la protección del suelo (Mitchell et al., 2012). En Choluteca, Honduras, Thorow et al. (2004) reportaron incrementos en la producción de hasta 30% en sistemas de maíz a través del uso de los residuos de cultivos en comparación con las parcelas donde los residuos eran quemados. En algunas áreas es mucho más eficaz en términos económicos utilizar la vegetación natural como cobertura de suelo en áreas de cultivo. Lo anterior no constituye una nueva práctica, ya que esto suele ser hecho en sistemas de agricultura migratoria, cuando el uso del fuego es abandonado. Un ejemplo de esto es el sistema agroforestal Quesungual en el sur de Honduras .

Teniendo en cuenta que el cultivo más frecuente en las laderas son los granos básicos, la principal desventaja de utilizar coberturas de residuos para disminuir la evaporación directa es la gran cantidad de residuos requeridos, la cual es considerablemente mayor a la cantidad necesaria para garantizar que las precipitaciones infiltren el suelo. Muy a menudo las regiones con altas pérdidas por evaporación también sufren de una escasez de lluvia, lo cual restringe la producción de materia vegetal. Pero frecuentemente se les suele dar otros usos a los residuos como por ejemplo: forraje, techado y construcciones (Klocke et al., 2009; van Donk et al., 2010).

Debido a que los residuos de cultivos tienen múltiples usos como forraje durante la temporada seca, y como combustible y material de construcción, y debido a que la cantidad de residuo disponible varía mucho entre los diferentes sistemas de cultivos, no existe una manera fácil en Centroamérica de determinar el peso óptimo (grosor de la capa residual) o el porcentaje de cobertura de residuos necesaria para lograr los beneficios descritos. Las investigaciones de campo para determinarlo jugarán un rol importante.

## Labranza mínima

Este término general puede incluir la labranza reducida, labranza mínima, cero o ninguna labranza, siembra directa, labranza y abonado con rastrojo, cultivos en franjas y sembrado con arado (Mannering y Fenster, 1983). La agricultura de no labranza es una técnica para sembrar cultivos o pasto año con año sin alterar el suelo a través de la labranza. Se trata de una técnica agrícola que mejora la calidad del suelo (función del suelo), la retención de carbono y materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la agregación del suelo (Blanco-Canqui et al., 2009). Protege el suelo de la erosión, la evaporación del agua y el desglose estructural (Derpsch et al., 2010). Mantiene más agua disponible para la producción de cultivos mediante las mejoras en la infiltración de agua (los canales de raíces antiguas de cultivos anteriores facilitan un enraizamiento más profundo, mejorando la infiltración y percolación del agua de lluvia), menos escorrentía y una reducción en las pérdidas por evaporación. Una mejor infiltración y menos costras permiten que se almacene más agua en el perfil de suelo y que se pierda menos a través de la escorrentía.

Existen varios factores que pueden afectar la aplicación de la labranza de conservación:

(i) Productores y productoras están acostumbrados a una baja densidad de siembra por falta de humedad;

(ii) la siembra a mano parece la alternativa más efectiva. (ACT, 2010).

21

Minimizar la exposición de la superficie del suelo al viento y la luz solar reduce la evaporación y mantiene la superficie del suelo más fresca, por lo general resultando en un mejor enraizamiento, especialmente cerca de las capas superiores. Obtener un mejor enraizamiento hace que la planta sea más eficiente en su uso de precipitaciones ligeras que no penetran demasiado en el perfil de suelo. Una inquietud es que, dependiendo la capacidad de retención de humedad del suelo, esta infiltración mejorada pueda llevar a que se dé una lixiviación de nutrientes por debajo de la zona de cultivo con un enraizamiento activo (<http://cropwatch.unl.edu/tillage>).

Actualmente, la no labranza se encuentra primordialmente en la agricultura mecanizada de alto rendimiento, que a su vez cuenta con buenas precipitaciones, o en el control de la erosión del viento donde existe una producción de cereales mecanizada a gran escala. Ha sido implementada a menor escala para la producción de cultivos con bajos niveles de insumos o en la agricultura de subsistencia en laderas. Pero en general, los principios son igualmente efectivos en cualquier condición –maximizan la cobertura devolviendo los residuos de los cultivos, no se invierte la capa superior del suelo, y utilizan una alta densidad de cultivos cuando se trata de cosechas principalmente vegetales. La labranza de conservación también tiene la ventaja de reducir la necesidad de patios u otras estructuras permanentes.

Sin embargo, existen varias desventajas que pueden afectar la aplicación de la labranza de conservación. Una vegetación muy densa puede ser incompatible con la bien comprobada estrategia de utilizar una baja población de plantas para acomodarse a la baja disponibilidad de humedad. Los residuos de los cultivos pueden tener un valor competitivo como forraje para ganado (Reyes et al., 2013). La siembra a mano puede ser una alternativa efectiva (ACT, 2010).

## Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos son derivados de materia animal o vegetal (por ejemplo hojas, estiércol, lodo, humus de lombriz y turba). Los fertilizantes orgánicos procesados incluyen abono, harinas de sangre, harina de hueso, harina de pescado y harina de plumas. Los residuos de cultivo en descomposición o el abono verde rico en nitrógeno de años anteriores es a su vez otra fuente de fertilización.

A pesar de que la densidad de los nutrientes en la materia orgánica es relativamente baja, cuentan con muchas ventajas. La mayoría de los fertilizantes orgánicos nitrogenados contienen nitrógeno insoluble, el cual actúa como un fertilizante de liberación lenta (Prasad et al., 2004). Según su naturaleza, los fertilizantes orgánicos incrementan los mecanismos físicos y biológicos para el almacenaje de nutrientes en los suelos, mitigando de esta forma los riesgos de la sobre fertilización. El contenido de nutrientes, la solubilidad y las tasas

de liberación de nutrientes en los fertilizantes orgánicos suelen ser típicamente mucho menores que los fertilizantes minerales (no orgánicos). Cong et al. (2006) comprobaron que el nitrógeno potencialmente mineralizable en el suelo era 182%-285% más alto en los sistemas de cobertura vegetal que en los de control sintético.

Los fertilizantes orgánicos también brindan un nuevo énfasis al papel del humus y otros componentes orgánicos del suelo, que se cree juegan diversos e importantes papeles. Estos incluyen movilizar los nutrientes existentes en el suelo de manera que se logre un mejor crecimiento con menores densidades de nutrientes y con menor desperdicio. Adicionalmente, los fertilizantes orgánicos liberan nutrientes a una velocidad más lenta pero consistente, ayudando de esta manera a evitar el patrón de explosión y caída que se da durante la aplicación de fertilizantes inorgánicos. Además los orgánicos aumentan la retención de humedad en el suelo, reducen el estrés temporal por humedad en la planta, mejoran la estructura del suelo y por ende previenen la erosión de la superficie del suelo (Bot & Benitez, 2005). Mientras que los animales brindan fertilizante orgánico para las parcelas cultivadas, el desarrollo y gestión de sistemas integrados de cultivos y ganado brindan la importante oportunidad de mejorar la gestión de suelos y agua, dado que la mayoría del agua para agricultura corre a través de sistemas de producción mixtos (Simon Cook, comunicación personal).

La producción y aplicación de los fertilizantes orgánicos ha sido promovida durante muchísimos años en Centroamérica, a pesar de los mayores costos de mano de obra y de transporte en comparación con los fertilizantes inorgánicos. La composición de los fertilizantes orgánicos suele ser más compleja y variable que los productos inorgánicos estándar, haciendo que el manejo de fertilizantes sea más difícil.

## La densidad de siembra /arreglos espaciales

Durante las encuestas de campo, los agricultores supieron identificar los ajustes a la distribución espacial de las semillas para la producción de granos básicos como una práctica simple pero efectiva para mejorar la productividad del agua. Está muy claro que la baja producción de maíz

### La producción

y aplicación de los fertilizantes orgánicos ha sido promovida durante muchísimos años en Centroamérica, sin embargo, supone mayores costos de mano de obra y de transporte que los fertilizantes inorgánicos; al tiempo que su manejo resulta más difícil.

**Son necesarios** más estudios para poder determinar cuál es la densidad de siembra óptima en Centroamérica.

**Los ajustes** en la densidad de siembra deben combinarse con otras prácticas para garantizar la disponibilidad del agua en el suelo durante las etapas más decisivas en el desarrollo de los cultivos.

en Centroamérica está relacionada con la inadecuada separación y distancia entre plantas y surcos, lo cual resultaba en baja cantidad de plantas y de rendimiento (Bolaños, 1995). Lamm et al. (2009) encontraron que incrementar la densidad de las plantas de 66,300 a 82,300 por lo general ha incrementado el rendimiento de los granos y la productividad del agua en plantaciones de maíz en Kansas (USA). Sin embargo, existen ciertos indicios de que la relación positiva entre la densidad de las plantas y la productividad del agua se ve favorecida si el suministro de agua y de nutrientes no se encuentra limitado.

Al-Kaisi y Yin (2003) descubrieron que en los suelos más áridos del noreste de Colorado, la densidad óptima para las plantas de maíz es menos de 60,000 plantas por hectárea. Esto establece la necesidad de reducir la densidad en la siembra de cultivos, hechos en suelos con menor capacidad de retención de agua. Dalianis et al. (1996) informan que disminuir la densidad en la siembra incrementó la productividad del agua en el sorgo para un clima mediterráneo. Farhani et al. (2007) comprobaron la disminución de la productividad del agua al incrementar la densidad en los cultivos de maíz en Irán. Estos diferentes resultados indican que la densidad de siembra es un factor importante para maximizar la productividad del agua y que la densidad de las plantas puede variar dependiendo de los diferentes suelos y ubicaciones.

Un segundo factor a tomar en cuenta es el efecto del incremento de la densidad en los cultivos por unidad de área en el consumo de agua. Sinclair y Gardner (1998) describen esto como tal vez la más importante fuente de crecimiento en la producción alimentaria que se haya dado en las últimas décadas. Y ya que el incremento en la densidad de los cultivos incrementa la biomasa total por unidad de área, la transpiración total por unidad de área también se incrementa proporcionalmente. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las densidades en los cultivos también reducen las pérdidas por evaporación del suelo. Por lo que la evapotranspiración total no se incrementaría proporcionalmente y algunas de las pérdidas por evaporación que se vieran reducidas serían transferidas a la transpiración (Keller y Seckler, 2005).



Passioura y Angus (2010) consideran el bien conocido principio de que el rendimiento de un cultivo que crece con base en agua almacenada está determinado no sólo por el monto total de agua disponible dentro de la zona de la raíz, sino también por la velocidad a la que se vuelve accesible a las raíces. Para que los cereales logren el máximo rendimiento, este índice debería darse cuando las raíces terminan de crecer luego de la floración y el agua continúa llegando a ellas mediante el flujo masivo a través de un gradiente. La disponibilidad del agua durante el período en el cual los granos se están nutriendo ayuda a retrasar la senescencia foliar, de manera que la duración de esta fase sea más larga que cuando los metabolitos son extraídos de los recursos en los tallos. Una geometría más uniforme al sembrar, evitar los grandes espacios en las filas y plantar múltiples semillas mejoraría la disponibilidad de agua en los suelos y en las raíces.

Los cambios en la densidad de siembra pueden ofrecer incrementos de importancia en la productividad del agua, siempre y cuando estén acordes a las precipitaciones según la ubicación geográfica y las condiciones del suelo. Las formas tradicionales de sembrar y la considerable reducción del canopeo de los cultivos es también una manera muy flexible de adaptarse a condiciones ambientales inciertas. Los ajustes en la densidad de siembra deben combinarse con otras prácticas para garantizar la disponibilidad del agua de suelo durante las etapas más decisivas en el desarrollo de los cultivos.

## Curvas a nivel

El uso de curvas a nivel en la agricultura es la práctica de labrar tierras en pendiente a lo largo de líneas de elevación perpendiculares a la línea de la pendiente, con el objeto de conservar agua lluvia y reducir la pérdida de suelos debido a la erosión de las superficies. Estos objetivos se logran mediante surcos, hileras de cultivo, y huellas de ruedas a lo largo de las laderas; todo lo cual funciona para atrapar y retener el agua lluvia, permitiendo de esta manera un incremento en la infiltración y una distribución más uniforme del agua. Cuando lo anterior se combina con la gestión de residuos de cultivo y la práctica de cultivos de cobertura, el contorno agrícola contribuye a la retención de agua del suelo mediante la disminución en la evaporación. En suelos anegados, las curvas a nivel deberían tener un desplazamiento de no más de 0.5% para garantizar un drenaje adecuado y sin erosión.

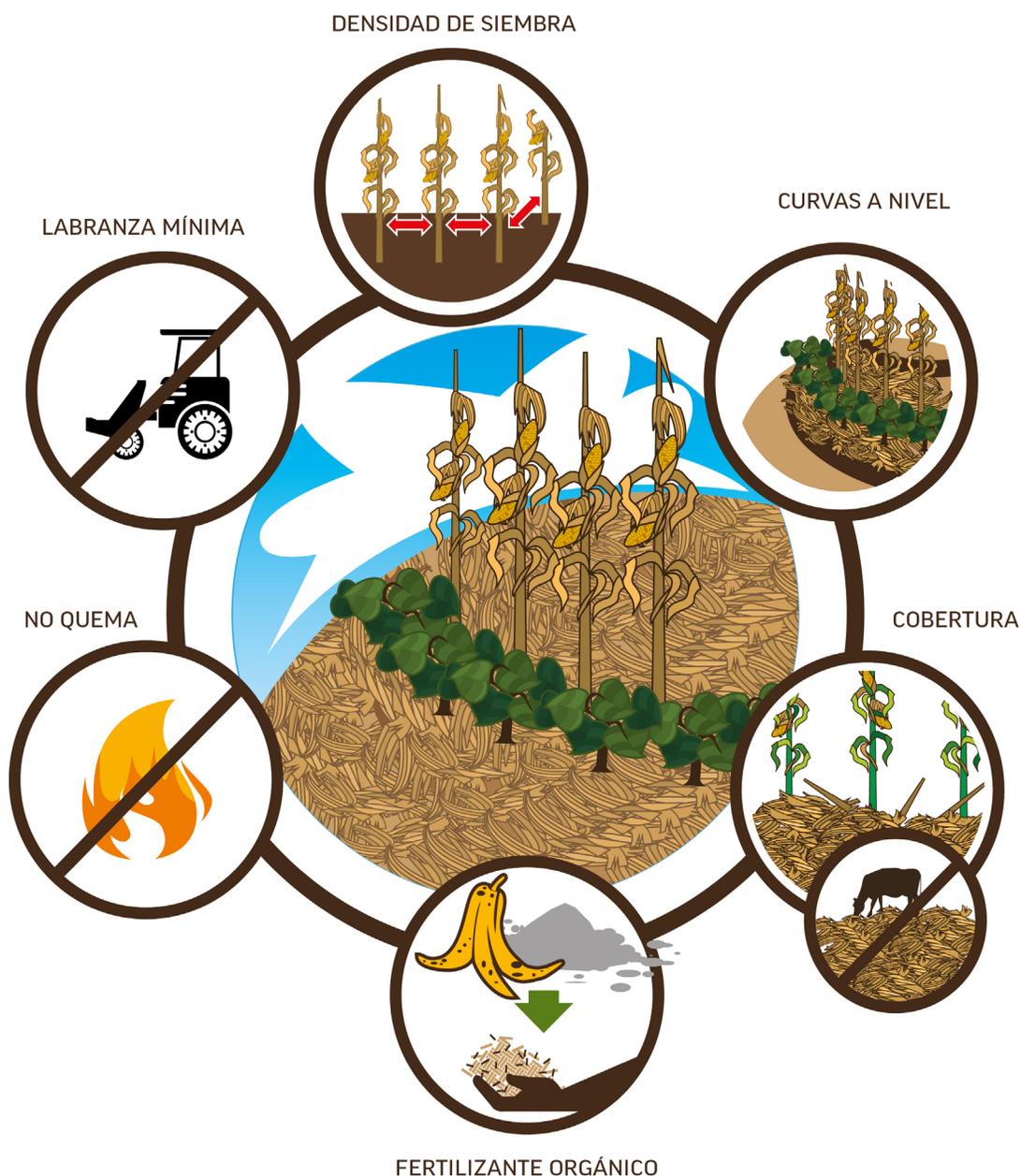
Las curvas a nivel (agricultura de contornos) han sido practicadas por siglos en algunas partes del mundo donde el riego es importante. En Centroamérica, este tipo de práctica se encuentra predominantemente en los sistemas de maíz y frijoles, pero aún debe de ser combinada consistentemente con otras prácticas agronómicas como la no labranza, la densidad en la siembra y la distancia entre hileras. La agricultura de contornos se encuentra en los tres países y sus costos no difieren de la preparación del suelo y siembra convencional. Es fácil de implementar y únicamente requiere un cambio de costumbres (FAO, 1993).

Las curvas a nivel (agricultura de contornos) se encuentran en los tres países y sus costos no difieren de la preparación del suelo y siembra convencional. Es fácil de implementar y únicamente requiere un cambio de costumbres y prácticas (FAO, 1993).

Todas las prácticas agronómicas identificadas alcanzan su máximo potencial para mejorar la productividad del agua únicamente cuando se repiten a lo largo de diferentes períodos de producción.

Todas las prácticas agronómicas identificadas requieren de un enfoque de sistemas agrícolas integrados. Alcanzan su máximo potencial para mejorar la productividad del agua únicamente cuando se repiten a lo largo de diferentes períodos de producción. Y si bien cada una de ellas es bastante fácil de implementar, su aplicación oportuna dentro de una ubicación – condiciones específicas – requiere de conocimiento, planificación y adaptación.

## PRÁCTICAS AGRÍCOLAS



## 5.2 Prácticas vegetativas para la conservación de suelos y la gestión de agua

Estas medidas involucran la siembra deliberada de árboles, arbustos y pastos, o la conservación de áreas naturales de vegetación (por ejemplo, reforestación, barreras vivas y franjas naturales de vegetación) que tienen una mayor duración y pueden ayudar a cambiar el perfil de la ladera. Tienden a estar ubicadas en el contorno o bien en ángulos rectos hacia la dirección del viento y espaciadas según la inclinación de la pendiente.

### Barreras vivas

Las barreras vivas son franjas de vegetación plantadas a través del contorno que sirven de ancla para mantener la tierra en su lugar mediante las raíces de las plantas y la desaceleración de la caída del agua ladera abajo. Los tipos más comunes de barreras vivas son plantas de la familia de los pastos debido al denso follaje y el sistema de raíces reticular que producen. Estos pastos son muy valiosos porque pueden utilizarse para forraje animal, o en el caso de la caña de azúcar o la citronela, para consumo humano. Muchas especies de plantas tienen el potencial de servir como barreras vivas, especialmente al tomar en cuenta sistemas agroforestales en cuyas acequias de ladera pueden utilizarse árboles frutales o productores de madera.

En áreas donde la textura del suelo es alta en arena, la infiltración generalmente no es un problema, y cuando las zanjas de infiltración no son las apropiadas éstas colapsan bajo las precipitaciones. En estas condiciones, barreras vivas y permanentes, especialmente en combinación con los cultivos de cobertura, pueden ayudar a detener la caída de agua ladera abajo, estabilizar la estructura del suelo e incrementar la materia orgánica en la zona de enraizamiento, lo cual con el tiempo ayuda a incrementar la capacidad del suelo de almacenar agua. En Nicaragua, Honduras y El Salvador, se ha comprobado que las barreras vivas contribuyen a incrementar la retención de suelos, reducir la escorrentía y la pérdida de nutrientes e incrementar la producción de biomasa cuando son acompañadas del manejo de cobertura u otras prácticas complementarias, contribuyendo de esta forma a la mejora en la productividad del agua (Thurrow y Smith, 1998; Welchez, 1999; Mendoza y Cassel, 2002; Pérez, 2003; Gámez, 2006; López, 2008).

### Cultivos en asocio

Los cultivos en asocio (intercalado) consisten en la práctica de sembrar dos o más tipos de cultivos en la misma parcela de tierra, que entre sí difieren en cuanto a hábitos, características fenológicas y productividad (IITA, 1980). La meta más común en el intercalado de cultivos es incrementar aún más la producción de manera combinada en la misma parcela de tierra al hacer uso de recursos que normalmente no serían utilizados por un único tipo de cultivo (Ouma y Jeruto, 2010). Se requiere de una planificación muy cuidadosa que debe tomar en consideración el suelo, el clima, los cultivos y las variedades. Y es particularmente importante que los cultivos no compitan los unos con los otros en cuanto a espacio físico, nutrientes, agua o luz solar. Ejemplos de estrategias

### En Nicaragua, Honduras y El Salvador,

se ha comprobado que las barreras vivas, acompañadas de manejo de cobertura u otras prácticas complementarias, contribuyen a incrementar la retención de suelos, reducir la escorrentía, y la pérdida de nutrientes; así como a aumentar la producción de biomasa. Es decir, contribuyen a la mejora en la productividad del agua (Thurrow y Smith, 1998; Welchez, 1999; Mendoza y Cassel, 2002; Pérez, 2003; Gámez, 2006; López, 2008).

de rotación de cosechas comprenden plantar un cultivo de raíces profundas con uno de raíces superficiales o plantar un cultivo alto con uno corto que requiere de una sombra parcial.

Cuando los cultivos son cuidadosamente elegidos, pueden lograrse otra serie de beneficios agrícolas. Por ejemplo, tratándose de plantas que están expuestas a doblarse debido al viento o a las fuertes lluvias, este sistema puede ayudarlas a recibir apoyo del cultivo asociado. Las trepadoras pueden beneficiarse del apoyo estructural y algunas plantas son utilizadas para suprimir malezas o para brindar nutrientes. Las plantas más ligeras o delicadas pueden recibir sombra o protección o, al menos, pueden servir para utilizar espacio desperdiciado. Un ejemplo es el sistema tropical de varios niveles, donde por ejemplo el coco ocupa el nivel más alto, las bananas el nivel de en medio y la piña, el jengibre o el forraje de legumbres, o bien la plantas medicinales o aromáticas, ocupan el nivel más bajo (Trenbath, 1976; Mt. Pleasant, 2006).

El grado de traslape espacial y temporal en los cultivos asociados puede variar según cada caso, pero ambos requisitos deben ser reunidos para que un sistema de cultivo sea considerado como un cultivo en asocio. Se han identificado numerosos tipos de cultivos en asocio, todos ellos presentan una cierta variación en la combinación temporal y espacial (Lithourgidis, 2011). Intercalar o asociar cultivos, tal y como el nombre implica, es la manera más básica de mezclar completamente cultivos asociados dentro del espacio disponible. Algunas variantes comprenden el cultivo en callejones, donde se siembra entre las hileras de árboles y el cultivo en franjas: donde múltiples hileras, o franjas de un solo cultivo, son alternadas con múltiples hileras de otro tipo de cultivo. El cultivo en filas distribuye los cultivos asociados en hileras alternas.

Los cultivos en asocio también utilizan la práctica de sembrar los cultivos que crecen más rápido con aquellos que crecen más lento, de manera que los primeros puedan ser cosechados antes de que los cultivos de lento crecimiento comiencen a madurar. Esto obviamente conlleva cierta separación de tiempo entre ambos cultivos. Por su parte, la separación temporal también se encuentra en los cultivos de relevo, donde el segundo cultivo se cosecha durante el crecimiento del primero, muy a menudo cerca del inicio del desarrollo reproductivo o fructificación, de manera que el primer cultivo se cosecha justo a tiempo para darle espacio al pleno desarrollo del segundo.

A pesar de que el cultivo intercalado se practica en Centroamérica, su potencial está lejos de estar plenamente desarrollado. Su forma más común son los sistemas de maíz y frijoles donde típicamente el cultivo de cereal, maíz, es la especie vegetal más dominante, mientras que el cultivo de leguminosa, como el frijol *Phaseolus*, es la especie asociada o secundaria. Las estructuras de canopeo o sistemas de enraizamiento dentro de los cultivos de cereales suelen ser diferentes de los cultivos de legumbres. Por ejemplo, el maíz forma estructuras de canopeo más altas que las de los frijoles (Allen et al., 1998). Esto sugiere que los cultivos asociados tienen un uso espacial y temporal diferente de los recursos ambientales. Los cultivos en asocio pueden hacer uso de la radiación, el agua y los nutrientes de manera más eficiente que los monocultivos (Willey, 1990).

El patrón de cultivos en socio leguminosas-cereal es generalmente mucho más productivo que un cultivo individual (Tsubo et al., 2005). La base biológica para el cultivo en asocio involucra la complementariedad del uso de recursos por dos tipos de cultivo (Gaballah y Ouda, 2008). El incremento de la productividad de leguminosas y el maíz intercalados respecto al cultivo individual ha sido atribuido al mejor uso de la radiación solar (Keating y Carberry, 1993), de los nutrientes (Willey, 1990) y del agua (Morris y Garrity, 1993). Los cultivos intercalados han sido reconocidos por conservar el agua, en gran parte debido al alto índice de área foliar temprana y mayor área

foliar (Ogindo y Walker, 2005). Morris y Garrity (1993) encontraron que la captura de agua mediante los cultivos en asocio es aproximadamente 7% mayor que la que se obtiene en un cultivo individual. La eficiencia en el uso del agua fue mucho más alta durante el cultivo en asocio de soya-maíz en comparación con el cultivo de cada uno de estos productos individualmente. (Barhom, 2001, citado en Gaballah y Ouda, 2008). De manera similar, Morris y Garrity (1993) reportaron que la eficiencia en el uso del agua de los cultivos intercalados era 18% mayor que en los cultivos individuales. Tomando en consideración la reducción en el riesgo de pérdida de cosechas, los cultivos en asocio son una buena opción para adaptarse al cambio climático en los sistemas agrícolas.

## Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura sirven para manejar la fertilidad del suelo, la calidad de la tierra, agua, malezas, plagas, enfermedades, biodiversidad y vida salvaje dentro de un agroecosistema (Lu et al. 2000). Al reducir la erosión del suelo, los cultivos de cobertura por lo general reducen la tasa y cantidad de agua que se drena de un cultivo, lo cual normalmente representaría un riesgo ambiental para las vías fluviales y ecosistemas

agua abajo (Dabney et al. 2001). La biomasa de los cultivos de cobertura actúa como una barrera física entre las precipitaciones y la superficie del suelo, permitiendo que las gotas de lluvia caigan continuamente a través de un perfil de suelo. El crecimiento de raíces en los cultivos de cobertura resulta en la formación de poros en el suelo, lo cual mejora el hábitat de la macrofauna en la tierra y establece canales para que el agua se filtre a través del perfil de suelo, en lugar de drenarse del cultivo como resultado del flujo en la superficie. Con una infiltración de agua incrementada, el potencial para el almacenamiento de agua de suelo y la recarga de los acuíferos se ve muy mejorada (Joyce et al., 2002).

Justo antes de cortar los cultivos de cobertura, éstos acumulan una gran cantidad de humedad. Por dicha razón, suelen ser llamados “cultivos intermedios”. Cuando el cultivo de cobertura se incorpora al suelo o bien es dejado en la superficie del suelo, por lo general incrementa la humedad de la tierra. En agroecosistemas donde el agua para la producción de cultivos es escasa, los cultivos de cobertura pueden ser utilizados como un mantillo para conservar el agua al proporcionar sombra y refrescar la superficie del suelo reduciéndose la evaporación de la humedad de la tierra.

Mientras que los cultivos de cobertura pueden ser de gran ayuda para conservar el agua, también pueden atraer hacia abajo el suministro de agua de suelos en áreas con bajas precipitaciones. En esos casos, los agricultores suelen enfrentar un dilema entre los beneficios de contar con un mayor crecimiento de cultivo de cobertura y las desventajas de que la humedad de su suelo se vea reducida.

El uso de los cultivos de cobertura en Centroamérica ha sido ampliamente documentado, particularmente en los sistemas de maíz-mucuna en el norte de Honduras. A principio de los 70, los agricultores en esta región comenzaron a rotar maíz con el frijol de seda (*Mucuna spp.*), un sistema aprendido de los inmigrantes guatemaltecos. El sistema maíz-mucuna redujo el trabajo requerido para plantar el maíz aun al incrementar su rendimiento, previno la erosión y otorgó una variedad de otros beneficios agronómicos tales como el incremento en la infiltración del agua. Las

### A pesar

de que el cultivo en asocio se practica en Centroamérica, su potencial está lejos de estar plenamente desarrollado pero sabemos que pueden hacer uso de la radiación, el agua y los nutrientes de manera más eficiente que los monocultivos (Willey, 1990).

tasas más altas de infiltración y porosidad afectan la recarga del perfil y la capacidad de retención de agua, que a su vez permite que haya más agua disponible para el cultivo de maíz, apoyando de esta manera actividades biológicas de tal importancia como la descomposición y la desmineralización (Buckles et al., 1998; Neill y Lee, 1999; Anderson et al., 2001).

## Zonas amortiguadoras y reforestación

Las zonas amortiguadoras están definidas como franjas de tierra con vegetación entre la tierra agrícola y un cuerpo de agua. Las zonas amortiguadoras son la última línea de defensa para proteger un cuerpo de agua de los efectos de las actividades por el uso de la tierra. Mientras más anchas sean las zonas amortiguadoras, más efectivas serán filtrando sedimentos, contaminantes y almacenando escorrentía. Sin embargo, la anchura de estas zonas amortiguadoras dependerá de su función particular.

Los principales beneficios de las zonas amortiguadoras es su capacidad para atrapar y almacenar sedimentos al crear una separación entre un cuerpo de agua y la tierra cultivada. La barrera reduce la sedimentación del cuerpo de agua, que se traduce en un menor mantenimiento requerido de dicha masa hídrica, que produce impactos de mayor beneficio al paisaje forestal y a las cuencas hídricas. Adicionalmente, las zonas amortiguadoras estabilizan las riberas de los ríos. El sistema de raíces de la vegetación en las zonas amortiguadoras y los sedimentos atrapados mantienen el suelo de

la ribera e incrementa la estabilidad. La vegetación en la ribera, de esta manera, incrementa la rugosidad de la superficie y desacelera la escorrentía de esta misma. Esto minimiza el impacto de las lluvias copiosas, disminuye la erosión de las riberas y mengua el movimiento del canal.

Las zonas amortiguadoras también contribuyen a mejorar el almacenamiento de agua, a reducir las inundaciones y a incrementar las recargas acuíferas. El extenso sistema de raíces de la vegetación existente en las zonas amortiguadoras incrementan la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y de la recarga acuífera al mejorar la porosidad de la tierra. Durante eventos de mucha lluvia, la escorrentía de ríos y arroyos disminuye mediante el almacenamiento de agua. Y esto a su vez disminuye el riesgo de inundaciones. Finalmente, las zonas amortiguadoras con árboles que fueron estratégicamente planeadas pueden actuar como barreras de viento para la conservación del valioso suelo superficial (Haycock et al., 1997) y reducir la evapotranspiración. En Honduras dichas zonas amortiguadoras están contempladas en el artículo 123 de la Ley Forestal, aunque su implementación sea limitada (ver Capítulo 7).

**Sistemas de maíz-mucuna** en el norte de Honduras: El uso de los cultivos de cobertura en Centroamérica ha sido ampliamente documentado en estos sistemas. Se redujo la mano de obra, incrementó el rendimiento y aumentó la infiltración del agua. Se observa que mayor infiltración y porosidad del suelo aumenta el agua disponible para maíz (mediante recarga y retención) y favorece actividades biológicas como la descomposición y la desmineralización (Buckles et al., 1998; Neill y Lee, 1999; Anderson et al., 2001).

Las zonas amortiguadoras también contribuyen a mejorar el almacenamiento de agua, a reducir las inundaciones y a incrementar las recargas acuíferas. Las zonas amortiguadoras con árboles actúan como barreras de viento para la conservación del valioso suelo superficial (Haycock et al., 1997) y reducen la evapotranspiración.

En Honduras las zonas amortiguadoras están contempladas en el artículo 123 de la Ley Forestal, aunque su implementación sea limitada.

# PRÁCTICAS VEGETATIVAS

BARRERAS VIVAS



AMORTIGUAMIENTO



CULTIVO EN ASOCIO



CULTIVO DE COBERTURA



## 5.3 Prácticas estructurales para la conservación de suelos y la gestión de agua

Las prácticas estructurales involucran la construcción de estructuras físicas (por ejemplo, riberas graduadas o diques, líneas de contorno de piedra, terrazas de banco de nivel, cursos de agua artificiales y estructuras de caída) para incrementar el tiempo y la concentración de la escorrentía, permitiendo así que mayores cantidades se infiltren en la tierra más cercana a donde cae la precipitación. Estas prácticas llevan a que se produzcan cambios en el perfil de la ladera, dividiendo por ejemplo una ladera larga en varias más pequeñas y de esta manera reduciendo el monto y la velocidad de la escorrentía en la superficie y por lo tanto el daño resultante. Dichas estructuras físicas son permanentes o semipermanentes y requieren de mucho trabajo o inversión cuando son inicialmente instaladas, así como a lo largo del tiempo para su mantenimiento. Están ubicadas en el contorno y espaciadas siguiendo la ladera (Hudson, 1995). Son una parte importante de las prácticas de conservación de agua y suelos, particularmente bajo las condiciones climáticas que predominan en América Central, con lluvias torrenciales o períodos secos prolongados (canícula).

### Acequias de ladera <sup>22</sup>

Las acequias de ladera consisten en la práctica de arar la tierra en ángulo recto con la ladera. Las acequias de ladera son diques de infiltración excavadas a lo largo de la ladera de manera que siguen un contorno a nivel y corren de manera perpendicular a la corriente de agua. La tierra sacada de la zanja es utilizada para crear un dique<sup>23</sup> (plataforma estrecha) en el borde de descenso de la zanja, aunque la observación de algunos sistemas en Centroamérica indican que la berma, muy comúnmente llamada “bund” (dique) en Asia, se construye ladera arriba de la zanja. En la berma se puede sembrar vegetación permanente (pastos locales, legumbres) para estabilizar la tierra, mientras que las raíces y el follaje atrapan cualquier sedimento que pueda inundar la zanja cuando se experimenten fuertes lluvias. Las acequias de ladera son utilizadas para desacelerar y atraer escorrentía, la cual luego procede a infiltrarse en la tierra. Datos del CENTA (2000) mostraron una infiltración a través de acequias de ladera de 7,400 m<sup>3</sup>/ha al año en Guaymango y San Juan Opico, El Salvador, mientras que reducían la erosión del suelo 40 t/ha al año (Argueta, 2000).

Hay que tener en cuenta que la construcción de acequias de ladera requiere mano de obra e insumos para la excavación, que se traducen en altos costos. Además, las zanjas se ciegan con el tiempo y requieren un mantenimiento constante.

Las acequias de ladera a menor escala pueden ser utilizadas dentro de un campo nivelado. Dependiendo de cuáles son las condiciones del subsuelo (capas geológicas que bloquean la infiltración) las acequias de ladera facilitan la recarga en sistemas vecinos de agua de suelos, lo cual a su vez ayuda a mejorar la humedad de la tierra y regula el flujo de agua. La capacidad de recarga depende de la permeabilidad y de las precipitaciones. Obtener información en cuanto a estos dos temas en Centroamérica es difícil, dado el poco registro o recopilación de información de campo, así como la disponibilidad de ésta. La construcción de acequias de ladera requiere altos insumos laborales o bien de maquinaria de excavación, lo cual se traduce en altos costos de implementación. Adicionalmente, las zanjas se encenagan con el tiempo y por lo tanto requieren un mantenimiento constante.

<sup>22</sup> Son también conocidas como Zanjas de contorno pero en la región se conocen como acequias de ladera

<sup>23</sup> En otras regiones se utiliza el término berma

## Las barreras de piedra

no solo ayudan a reducir las pérdidas de agua y suelos, sino que también ayudan a minimizar la pendiente de la ladera y facilitar su cultivo. Sin embargo cuando son impermeables, pueden resultar en la creación de barrancos accidentales cuando hay una precipitación de gran intensidad.

## Barreras muertas

Las barreras muertas funcionan de manera similar a las barreras vivas, con la diferencia de que las primeras están compuestas de rocas, residuos de plantas u otros materiales no vivos. Si hay rocas presentes en un terreno, suelen ser consideradas como material de construcción útil, además de que removerlas de la tierra facilita el trabajo en ésta. Otra ventaja es que el trabajo puede ser completado durante la temporada seca, es decir, que para cuando inicia la temporada de lluvias ya todo estará en su debido lugar. Si hay rocas presentes, las barreras pueden ser construidas como muros de piedra que tengan la suficiente altura de manera que se formen terrazas al momento que la tierra se vaya acumulando detrás de cada pared. Si no hay rocas suficientes las barreras pierden su efectividad cuando la tierra se acumula tras de ellas, lo cual deberá ser complementado con la siembra de barreras vivas.

Las barreras de piedra no solo ayudan a reducir las pérdidas de agua y suelos, sino que también ayudan a minimizar la pendiente de la ladera para facilitar su cultivo. Una desventaja de las barreras muertas es que cuando son impermeables, pueden resultar en la creación de barrancos accidentales que se forman ladera abajo en cada lado de la barrera muerta cuando hay una precipitación de gran intensidad.

## Terrazas

Las terrazas pueden ser definidas como estructuras mecánicas compuestas de un canal y una ribera construidas de tierra o piedra. Suelen construirse de manera perpendicular a la ladera. Las terrazas interceptan la escorrentía y promueven la infiltración, evaporación o desvío hacia una salida predeterminada y segura a una velocidad controlada, lo cual previene la erosión del canal. Ayudan a incrementar el contenido de la humedad de suelos mediante una infiltración mejorada, ayudan a suavizar la topografía y mejoran las condiciones para la mecanización (FAO, 2000).

## Las terrazas

suelen recomendarse en laderas de 4 a 50 por ciento de pendiente (Rufino, 1989). En todos los sitios bajo estudio la producción de biomasa y el incremento en los rendimientos fue mucho mayor en las parcelas con terrazas, incluso bajo condiciones secas. Sin embargo, muchas paredes no son protegidas con vegetación como se recomienda y la falta de mantenimiento de estas estructuras reduce su efectividad.

Las terrazas pueden ayudar a reducir considerablemente la pérdida de suelos debido a la erosión siempre y cuando estén bien planeadas, hayan sido correctamente construidas y adecuadamente mantenidas. Los resultados obtenidos en Paraná, Brasil, mostraron que la construcción de terrazas redujo las pérdidas de suelo a la mitad, independientemente del sistema de cultivo empleado. La eficiencia de un sistema de terrazas también dependerá de la adopción de otras prácticas conservacionistas, como la siembra de contornos, el cultivo de franjas y la cobertura de suelos. Otros factores que a su vez deberán ser tomados en cuenta son las dimensiones y tipos de construcción, así como su estabilidad y qué tan bien funcionan (Rufino, 1989).

Debido a que la construcción de terrazas requiere una inversión sustancial, este método deberá introducirse únicamente cuando no se pueda controlar la erosión con la aplicación de otras prácticas de conservación de suelos más sencillas. Este método será muy útil en situaciones donde la escorrentía es común pero no puede ser controlada adecuadamente por otras prácticas conservacionistas y cuando la intensidad del volumen de escorrentía exceda la capacidad de almacenamiento de agua de la tierra. Las terrazas suelen recomendarse en laderas de 4 a 50 por ciento (Rufino, 1989).

Un ejemplo de innovación y de implementación exitosa de terrazas en Honduras fue estudiado por Thompson (1992) como parte del proyecto LUPE del USAID. Thompson concluyó, en su evaluación del proyecto en el departamento de Choluteca, que las terrazas construidas con muros de retención de piedra son muy efectivas para retener la capa superior del suelo, reduciendo la pérdida de tierra. Las parcelas que utilizan una combinación de paredes de piedra y cubiertas de mantilla mostraron los menores movimientos de tierra. Los suelos superficiales pero fértiles mostrados en el estudio se derivaban de un material precursor compuesto de basalto. En su estudio, Thompson no detectó un declive significativo en las propiedades químicas de la tierra y a su vez descubrió que el contenido de materia orgánica en la tierra se acumulaba directamente arriba de las paredes de las terrazas en todos los sitios. La construcción de terrazas ayudaba a incrementar la capacidad de almacenamiento del agua por mantener mayor profundidad en el suelo de la superficie al crear tierra mejorada mediante los depósitos arriba de los muros de piedra y al producir suelos con montos reducidos de fragmentos gruesos. Dicho método a su vez afectó positivamente el rendimiento de los granos, atribuible al hecho de que hubiera más agua disponible. En todos los sitios bajo estudio, la producción de la biomasa fue mucho mayor en las parcelas con terrazas, demostrando que éstas brindan mejores condiciones de crecimiento si el agua de suelo no se agota debajo de los niveles críticos.

Thompson señala algunos problemas en lo concerniente a la estabilidad de las paredes de las terrazas, los cuales pueden surgir cuando la tierra se redistribuye dentro de las terrazas. Muchas paredes no son protegidas con vegetación como se recomienda. Y la falta de mantenimiento de estas estructuras reduce su efectividad. Puede ser que el área de producción se vea reducida debido a los espacios utilizados por los muros de retención. Sin embargo, dicha pérdida de espacio se ve compensada por los incrementos en el rendimiento incluso bajo condiciones secas.

## **Canales de desagüe**

Los canales de desagüe seguros son líneas de drenaje especialmente construidas para llevar la escorrentía del agua lluvia a través de desagües de desvío y diferentes canales ladera abajo, hacia las áreas más bajas. Deberán ser protegidos de la vegetación local y diseñados con una forma y sección transversal capaces de conducir la escorrentía máxima esperada sin riesgo de erosión en los lados del canal o vías de agua. Normalmente, se pueden establecer canales seguros tomando ventaja de las líneas de desagüe naturales, depresiones, campos de pasto u orillas de matorrales, arbustos y zonas con arbustos (Sheng, 1989; FAO, 2000).

Los canales de desagüe son el principal componente de la agricultura mediante inundaciones practicada por siglos por los indios hopi y navajo del norte de Arizona, así como por los Indios papago del sur de Arizona. Estas técnicas recurren a simples barreras de postes de madera y

maleza entretejida para detener y esparcir las aguas naturales que resultan de las inundaciones de manera más uniforme en los diferentes valles. Dicho tipo de agricultura en las cuencas de los valles es una práctica muy antigua que ha sido a su vez muy bien documentada en Túnez y el desierto de Neguev en Israel. El desvío del agua de escorrentía hacia diferentes niveles de terrazas preparadas es otro método muy antiguo y ampliamente usado (Hudson, 1987).

A través de los canales de desagüe, la escorrentía se desvía y se cosecha para mejorar la disponibilidad de agua en las áreas más planas, mientras se evita la erosión y los barrancos más pronunciados en las laderas más altas. Esta medida puede ser vinculada a las prácticas de cosecha de agua descrita a continuación.

## Cosecha de agua

La cosecha de agua es la cosecha de escorrentía que puede ser obtenida de techos y suelos así como de cursos de agua intermitentes o efímeros. Sus usos incluyen el consumo humano o animal, la agricultura (cosechas, forraje, pastizales, árboles, jardines de cocina, agroprocesamiento) y la gestión ambiental (bosques, áreas protegidas y vida salvaje) (Critchley y Siegert, 1991; FAO, 1994; Falkenmark et al., 2001; Anderson y Burton, 2009; Scheierling et al., 2013).

La cosecha de agua ofrece oportunidades subexplotadas para los sistemas predominantes de agricultura de secano en América Central. Sigue un principio muy básico para capturar escorrentía potencialmente dañina y utilizarla para hacer crecer plantas o para el suministro de agua. Esto es particularmente importante en áreas donde las precipitaciones son limitadas, desiguales o poco confiables y donde se sufre de períodos secos, tal y como sucede en Centroamérica (McCartney et al., 2013).

La cosecha de agua almacena ésta y la pone a disposición donde y cuando exista escasez. La cosecha de agua sirve como una barrera y un alivio en los períodos secos y en la temporada seca ya que puede reasignar agua en el campo y a lo largo del tiempo. Además, dicha agua puede ser empleada para uso doméstico, para reponer suministros de agua verde o incrementar la disponibilidad de recursos de agua azul a nivel local (Mekdaschi y Liniger, 2013).

La cosecha de agua ha sido practicada exitosamente durante un milenio y algunas de las recientes intervenciones que se han llevado a cabo en Centroamérica han tenido un significativo impacto local (por ejemplo Cajina Canelo y Faustino, 2007; Pulver et al., 2012). Sin embargo, el potencial de la recopilación de agua sigue siendo en gran medida desconocido y poco apreciado en la región.

La aplicabilidad e impacto de las tecnologías de cosecha de agua dependen mucho de las condiciones locales con pros y contras variables. Del lado de los pros está mejorar la eficiencia con la cual se utiliza el agua lluvia, con lo que se reduce la presión sobre los recursos tradicionales de agua y por lo tanto sobre el agua misma. Ofrece una alternativa para todos los sistemas de riego abastecidos por recursos de agua azul (agua de superficie y de suelos), los cuales no siempre son económicos o técnicamente factibles en operaciones realizadas por pequeños agricultores. Al emplear técnicas de cosecha de aguas, los riesgos de producción se ven reducidos, lo cual resulta en una disminución de la vulnerabilidad y un incremento en la capacidad de recuperación agrícola.

A su vez, las tecnologías de cosecha de aguas mantienen incertidumbres y riesgos, destacando la dependencia existente con la variabilidad de las precipitaciones. En Centroamérica las

condiciones climáticas prevalentes incluyen estaciones muy marcadas pero precipitaciones muy erráticas, lo cual puede significar un gran reto para garantizar las cantidades de agua suficientes cuando dicho recurso es necesario. El suministro de agua recolectada se ve limitado por la capacidad de almacenamiento, el diseño y los costos de las estructuras para la cosecha de aguas, particularmente por el alto costo de la inversión inicial o por los requisitos laborales para mantenimiento. Adicionalmente, las estructuras y áreas de captación pueden restarle espacio a las zonas productivas, un recurso muy limitado en la mayoría de áreas de Centroamérica. Retos adicionales incluyen el uso conjunto de estructuras, lo cual puede llevar a desacuerdos en el mantenimiento, desavenencias o conflictos en cuanto a los derechos corriente arriba, corriente abajo y problemas para la aceptación de nuevos sistemas y leyes y reglas asociadas. Existe la posibilidad de que la implementación no coordinada prive a los ecosistemas corriente abajo, especialmente cuando se desvían aguas inundadas (Prinz, 1996; Falkenmark et al., 2001; Liniger y Critchley, 2007; Rockström et al., 2007; Anderson y Burton, 2009; Liniger et al., 2011; Critchley y Gowing, 2012; Oweis et al., 2012; Scheierling et al., 2013).

Dadas las condiciones agroecológicas en Centroamérica y los impactos previstos como consecuencia del cambio climático en los sistemas agrícolas de la región (Schmidt et al., 2012), la cosecha de agua es una práctica estratégica de mucha importancia para mejorar la productividad del agua. Aparentemente existe un gran potencial para la cosecha de agua en las áreas propensas a la sequía en Nicaragua, Honduras y El Salvador. Sin embargo lo que falta es la identificación de áreas donde los parámetros de suelos, precipitaciones, temperaturas, presión de evaporación y formación de laderas ofrezcan las condiciones para que su implementación sea exitosa. Es necesaria una proyección clara de cuánta agua es realmente “factible recolectar” en cada área, para definir planes y estrategias de riego específicos para la ubicación, tomando en cuenta los cultivos con el mayor potencial para el uso eficiente del agua, la estación del año y las fases fenológicas del cultivo, oportunidades de mercado y precios. Lamentablemente no está disponible una evaluación de los impactos de la cosecha generalizada de agua en cuanto a recursos de agua verde y azul de ciertos campos y las partes bajas de las cuencas hidrográficas.

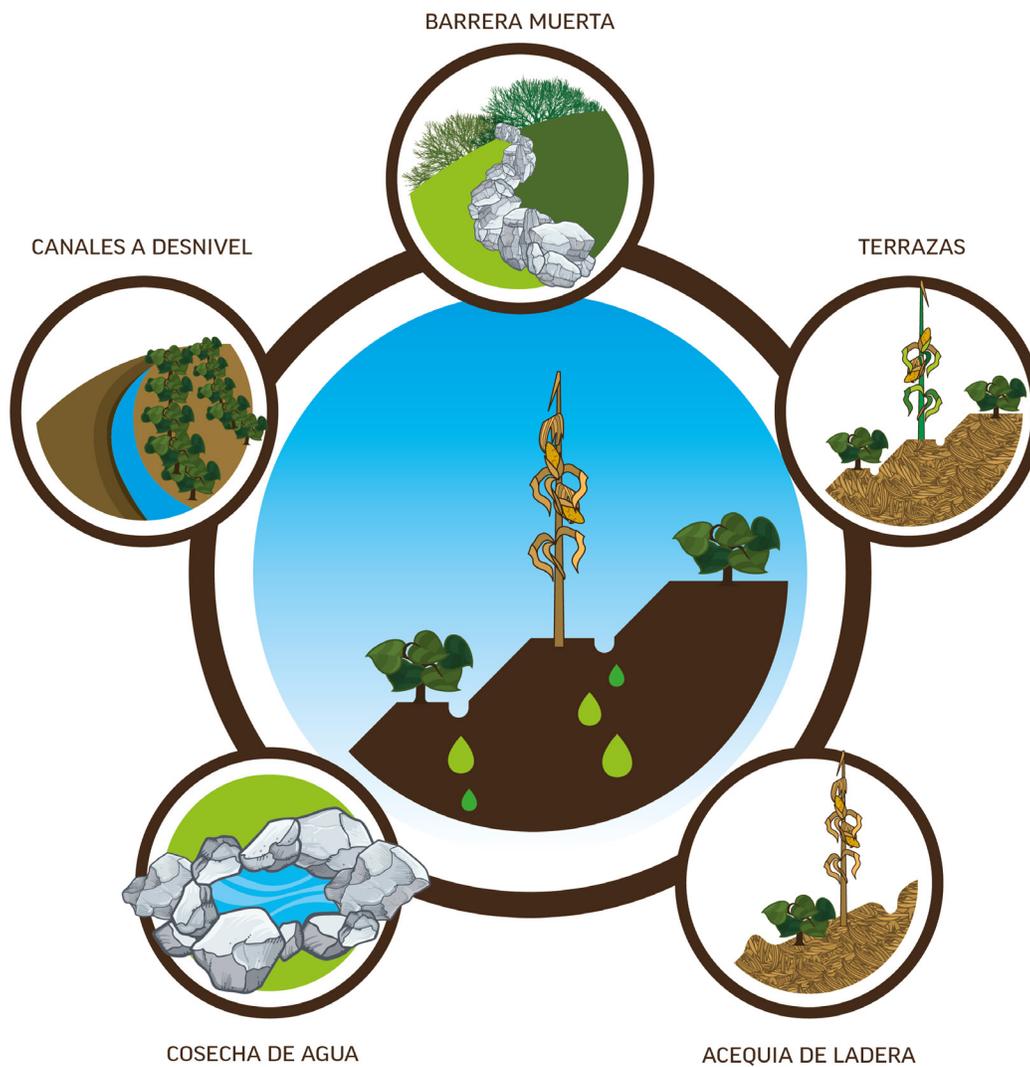
En resumen, la regulación de la escorrentía durante precipitaciones de mayor intensidad es un enfoque estratégico para mejorar la productividad del agua en Centroamérica mediante el incremento de la infiltración del agua y el almacenamiento de agua para superar períodos secos y expandir la producción, incluso ya entrada en la temporada seca. Las prácticas estructurales identificadas durante las encuestas de campo y las mesas de discusión con los agricultores proporcionan medidas que ayudarán a reducir los riesgos relacionados con los recursos hídricos como resultado de la alta variabilidad en las precipitaciones. Estas actividades de infraestructura requieren no sólo inversiones para construirlas sino también la responsabilidad de darles mantenimiento. A su vez, muy probablemente cambiarán el ciclo hidrológico del campo en que se desarrollen y afectarán las relaciones corriente arriba y corriente abajo. La cuidadosa planificación y toma de medidas específicas es necesaria para la implementación de dichas estructuras.



**Las prácticas estructurales** identificadas durante las encuestas de campo y las mesas de discusión con los agricultores proporcionan medidas que ayudarán a reducir los riesgos relacionados con los recursos hídricos, como resultado de la alta variabilidad en las precipitaciones. Sin embargo, a menudo, cambian el ciclo hidrológico del campo y afectan las relaciones entre la corriente arriba y la corriente abajo.

*Combinación de prácticas con cosecha de agua, Honduras.  
Foto: Jim Patrico, Progressive Farmer Magazine*

## PRÁCTICAS ESTRUCTURALES



**Las prácticas para mejorar la productividad del agua** no son intervenciones independientes, sino la combinación de prácticas agronómicas, vegetativas y estructurales.

## 5.4 Sistemas agrícolas y productividad del agua

Las prácticas para mejorar la productividad del agua no son intervenciones aisladas. Únicamente mediante la combinación de prácticas agronómicas, vegetativas y estructurales se puede verdaderamente desarrollar el pleno potencial de la gestión de suelos y agua. Las prácticas se encuentran vinculadas entre sí mediante la interacción e interdependencia para lograr un objetivo de producción específico dentro de un sistema agrícola. Las interacciones e interdependencias deben ser comprendidas plenamente para lograr rendimientos sostenibles. Dependen en gran medida de las condiciones específicas del suelo según su ubicación, así como de las condiciones climáticas y las especies definidas de plantas.

Estos factores no son siempre bien entendidos por los agrónomos que brindan asistencia técnica a los agricultores (ver informe complementario de los servicios de extensión en Centroamérica). Por ello, es necesario evaluar los sistemas agrícolas o los enfoques de los sistemas según el impacto que tengan en la productividad del agua. Dada la diversidad de los sistemas agrícolas, esta sección se enfocará exclusivamente en la agroforestería, la agricultura de conservación y los sistemas de cultivos y ganados. Estos tres enfoques de sistemas son comúnmente considerados como los que más potencial tienen para mejorar la productividad del agua en las agriculturas de secano y han sido promovidos intensamente durante la última década en Centroamérica.

### Agroforestería

La agroforestería describe un complejo uso de la tierra en el cual los árboles son cultivados en asociación con los cultivos agrícolas, los pastizales o el ganado. Existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los componentes del sistema. Los sistemas de agroforestería son diversos en cuanto a sus arreglos espaciales y temporales así como en cuanto a su diseño. Proveen funciones ambientales requeridas para la sostenibilidad del ecosistema (Wallace et al., 2004). Los potenciales beneficios de la agroforestería pueden ser muchos y van desde la diversificación de la producción hasta una mejora en el uso de los recursos naturales. Los beneficios clave en cuanto al uso de los recursos naturales incluyen la conservación de suelos para la protección contra la erosión, así como la mejora en la fertilidad de la tierra. Bajo qué condiciones, la mezcla de árboles y cultivos mejora la eficiencia en el uso de aguas lluvia en términos generales es un tema muy complejo. Depende de si las ganancias derivadas de la productividad del agua son calculadas directamente, en términos de cantidades o de lluvia utilizada para transpiración con el objeto de apoyar el crecimiento de la planta. La otra alternativa es indirectamente, mediante el incremento de la productividad del agua en términos de mejora de la proporción de biomasa o rendimiento sobre el volumen de agua utilizada.

Wallace et al. (2004) describen el reto de identificar el balance hídrico en un sistema de agroforestería. Dicho balance incluye procesos de intercepción y de intensidades de radiación, los cuales influyen las tasas de evaporación de la superficie del suelo y las copas de sus árboles. Factores como las especies de plantas, el desarrollo de la canopia, la intensidad de las precipitaciones, el tipo de suelo y sus interacciones añaden complejidad cuando se trata de entender realmente el ciclo de agua en estos sistemas.

En climas húmedos tropicales, en comparación con un monocultivo, los componentes del balance hídrico de un sistema de agroforestería con 50% de cobertura de árboles varían hasta 50% en el incremento de las pérdidas de intercepción. El caso dependerá de si la ubicación es continental, montañosa o costera. En un ambiente semiárido, las pérdidas por intercepción se ven completamente compensadas por una disminución en la evaporación del suelo, pero sólo parcialmente en un clima húmedo tropical. La escorrentía, humedad del suelo y el drenaje muy probablemente se vean disminuidos en un sistema de agroforestería, en una proporción dependiente del tipo de suelo, de laderas y de las especies. El canopeo adicional y la capacidad de las raíces de los árboles de explotar el agua que se encuentra en la profundidad del suelo llevará a un incremento general en la transpiración (Schellekens et al., 1999; Wallace et al., 1999; Ong y Swallow, 2003).

Existe una serie de prácticas de agroforestería que están diseñadas para conservar el agua y reducir la escorrentía por su efecto directo en la tierra de la ladera. Plantar árboles o arbustos en el contorno de las zonas en pendiente puede resultar en la formación de terrazas naturales, cuando el agua y la tierra se acumulen ladera arriba en los arbustos. El efecto barrera de los arbustos no sólo ayudará a disminuir la pérdida de tierra sino también la escorrentía, comúnmente el equivalente de aproximadamente un tercio de su valor sin arbustos (Kiepe, 1995a; Kiepe, 1995b). Este incremento en la tasa de infiltración también reduce la escorrentía en estos sistemas de arbustos en los contornos (ver capítulos 5.2 y 5.3).



*Agroforestería en granos básicos, Honduras. Foto: Axel Schmidt*

**Los sistemas** de agroforestería pueden mejorar la productividad del agua donde la profundidad del recurso hídrico está más allá del alcance del sistema de enraizamiento de los cultivos.

**Un gran reto** es cómo ver más allá de la parcela y de la finca misma para comenzar a entender las interacciones entre las explotaciones agrícolas y el territorio en sí, las cuencas hídricas y las escalas regionales (hidrología de cuencas).

De manera similar, la encuesta de campo para este documento reveló información de El Salvador que demostraba una reducción de la erosión en 87%, un incremento en la producción de biomasa y la retención de humedad en la tierra por hasta 20 días en las parcelas con agroforestería en comparación con las parcelas normales (Segura, 1999). En Carazo, Nicaragua, MARENA-POSAF II (2005a, 2005b) reportó un incremento anual de 440 m<sup>3</sup>/ha de retención de agua en suelos en un sistema de cultivo de árboles dispersos. Para sistemas de café multiniveles en Jinotega, la misma fuente indica 575 m<sup>3</sup>/ha anuales, y para parcelas con gestión natural de regeneración de

árboles en Dilpilto, un total de 985 m<sup>3</sup>/ha al año. A pesar de los posibles retos metodológicos para establecer estos números, éstos deberían mostrar los efectos positivos de los sistemas de agroforestería en la erosión del suelo, la retención de agua de suelos y a su vez de la productividad del agua en Centroamérica.

El ejemplo más exitoso e impresionante del potencial de los sistemas de agroforestería es Qesungual Slah y el Sistema de Agroforestería de pajote (QSMAS) desarrollado en el sud-oeste de Honduras por agricultores locales y expertos de la FAO. QSMAS es un sistema productivo conformado por pequeños agricultores, que aplica un grupo de tecnologías en las áreas propensas a sequía en laderas de zonas tropicales sub-húmedas. Inicialmente, el QSMAS fue practicado por más de 6,000 agricultores de escasos recursos en 7,000 ha. En el sudoeste de Honduras, principalmente para producir alimentos básicos (maíz, frijoles y sorgo). El sistema también fue adoptado por otras regiones sub-húmedas del sudoeste y sudeste de Honduras, Noroeste de Nicaragua y Guatemala.

Bajo condiciones experimentales, QSMAS es al menos tan efectivo como los sistemas de tala y quema para la producción de maíz, y más eficientes para el caso de la producción de frijoles. Sin duda alguna, el QSMAS incrementa la resiliencia del sistema, el eficiente ciclo de nutrientes, la productividad del agua en los cultivos, y la síntesis de carbono y la acumulación sostenida. Un efecto importante es el incremento de la disponibilidad del agua de suelo (40 - 74 m<sup>3</sup>/ha y 15 cm profundidad de suelos) en la segunda fase de la estación de lluvias bimodal, cuando las lluvias son por lo general más irregulares (períodos secos durante fases clave del desarrollo de cultivos) o inadecuadas (temporadas de lluvia más cortas) (Baltodano y Mendoza, 2007). El éxito e incremento en la adopción, de parte de los pequeños agricultores, fue motivado parcialmente por la contribución sustancial de QSMAS a la seguridad alimentaria mediante la mejora en la productividad del agua de cultivos y rendimientos a un menor costo; las mejoras en los ciclos hídricos mediante escorrentía reducida, erosión, la turbidez del agua y la evaporación superficial, así como el incremento en la infiltración, la capacidad de almacenamiento del agua de suelos y el uso de “agua verde” (Castro et al., 2009).

Existe a su vez otras situaciones en las cuales los sistemas de agroforestería pueden incrementar la productividad del agua, por ejemplo, si el cultivo sotobosque es una especie C3, que suele ser de luz saturada a la intemperie. Puede que la sombra parcial tenga poco efecto en su asimilación mientras se reduce la transpiración (Ong et al., 1996). Puede darse una modificación del micro clima en los sistemas de agroforestería, debido a la presencia de un dosel elevado de árboles. Esto puede alterar la radiación, humedad y la temperatura en un cultivo sotobosque. La sombra de los árboles incrementa la humedad del aire alrededor de la vegetación sotobosque, particularmente en climas semi-áridos, por ejemplo, en sistemas con cinturones de protección o barreras contra el viento (Brenner, 1996).

Los sistemas de agroforestería pueden mejorar la productividad del agua donde la profundidad del recurso hídrico está más allá del alcance del sistema de enraizamiento de los cultivos. Esto dependerá de la especie determinada de árbol y sus sistemas de raíces, así como la presencia o ausencia de capas de suelo impenetrables. Debido a que los árboles son los componentes permanentes de los sistemas de agroforestería, pueden utilizar el agua de la lluvia que cae fuera de la temporada de cosechas e incrementar el contenido de agua de suelos bajo sus copas. Este fenómeno puede ocurrir si el agua “guardada” por la reducción en la evaporación del suelo, combinada con la canalización de las precipitaciones interceptadas como escurrimientos en el tronco, exceden el monto retirado de los sistemas de enraizamiento bajo las copas de los árboles

## La encuesta de campo

para este documento reveló información de El Salvador que demostraba una reducción de la erosión del 87%, un incremento en la producción de biomasa y la retención de humedad en la tierra por hasta 20 días en las parcelas con agroforestería en comparación con las parcelas normales (Segura, 1999).

**En Carazo, Nicaragua, MARENA-POSAF II (2005a, 2005b) reportó un incremento anual de 440 m<sup>3</sup>/ha de retención de agua en suelos con un sistema de cultivo de árboles dispersos. Para sistemas de café multiniveles en Jinotega, la misma fuente indica 575 m<sup>3</sup>/ha anuales, y para parcelas con gestión natural de regeneración de árboles en Dilpilito, un total de 985 m<sup>3</sup>/ha al año.**

**En Honduras, bajo condiciones experimentales, Quesungual es al menos tan efectivo como los sistemas de tala y quema para la producción de maíz, y más eficientes para el caso de la producción de frijoles.**

**Dados los beneficios potenciales que los sistemas de agroforestería ofrecen para la productividad del agua, es crucial entender cómo dichos sistemas funcionan y proceder a diseñar sistemas específicos según la ubicación geográfica y las directrices de gestión.**

(Ong y Leakey, 1999). En un sistema de alta densidad de árboles (dependiendo de la arquitectura del canope), la proporción de agua lluvia “pérdida” a través de la intercepción por las copas de los árboles y utilizada para la transpiración de los árboles, excedería la “guardada” por la sombra y escurrimientos en el tronco, lo cual resultaría en una tierra más seca bajo la copa de cada árbol. Van noordwijk y Ong (1999) expresaron lo anterior como el monto de agua utilizado por unidad de sombra. Este puede que sea uno de los factores más importantes en cuanto a las diferencias observadas entre la sabana y los sistemas de cultivo en callejones, la vegetación de bosque nublado y las plantaciones de árboles de rápido crecimiento.

A pesar de que existe claramente un gran potencial para que los sistemas de agroforestería conserven y mejoren el uso de recursos hídricos, la agroforestería en sí no genera automáticamente todos los beneficios antes descritos. Para maximizar los beneficios, un sistema de agroforestería debe diseñarse según cada entorno (clima, suelo), debe ser factible en relación a los obstáculos locales y de acuerdo a las explotaciones agrícolas, y debe ser económicamente viable y aceptable para el agricultor. Si no es bien manejado, un sistema de agroforestería, al igual que con cualquier sistema agrícola o incluso forestal, se puede llegar a dar múltiples interacciones competitivas que perjudiquen el uso eficiente del agua. Por lo que es importante recordar que las interacciones en la copa de los árboles puedan cambiar de competitivas a complementarias o neutrales, dependiendo de la edad, tamaño y población de las especies dominantes, así como del suministro y accesibilidad de los recursos necesarios para el crecimiento de las plantas.

Un gran reto es cómo ver más allá de la parcela y de la finca misma para comenzar a entender las interacciones entre las explotaciones agrícolas y el territorio en sí, las cuencas hídricas y las escalas regionales (hidrología de cuencas). El enfoque convencional es sumar las áreas con condiciones hidroecológicas similares, asumiendo que los factores involucrados en llevar a cabo una ampliación son proporcionales al área ocupada por cada zona. Sin embargo, este enfoque podría exagerar un poco los efectos beneficiosos del agua guardada a nivel de parcela, debido a que el agua utilizada en una parcela no está disponible para las demás parcelas ladera abajo. Además, este enfoque olvida el efecto en cuanto a uso del terreno y la calidad del agua disponible para los usuarios ladera abajo (Ong y Swallow, 2003).

Dados los beneficios potenciales que los sistemas de agroforestería ofrecen para la productividad del agua, es crucial entender cómo dichos sistemas funcionan y proceder

a diseñar sistemas específicos según la ubicación geográfica y las directrices de gestión. Sin lugar a dudas, Centroamérica puede beneficiarse de la contribución de la agroforestería para la mejora de la productividad de agua en la región.

## Agricultura de conservación

El enfoque de la agricultura de conservación está compuesto de varios sistemas agrícolas que incluyen las prácticas básicas que definen este tipo de agricultura— perturbaciones mínimas del suelo (mínima o no labranza), cobertura de suelos permanente mediante residuos de cultivos o cobertura de cultivos; y rotación de cultivos (Giller Giller et al., 2009). Varias de estas prácticas se describen en los Capítulos 5.1 y 5.2 de este documento. La agricultura de conservación favorece las mejoras en los suelos como entornos de enraizamiento. No se trata de una tecnología aislada, sino más bien de varias tecnologías basadas en uno o más de los tres principios fundamentales de la agricultura de conservación descritos. De hecho, este tipo de agricultura funciona mejor cuando estas características se combinan (Hobbs, 2007; Corbeels et al., 2014).

Derpsch et al. (2010) resume las interacciones mejoradas entre las características de la agricultura de conservación: (a) física: mejor porosidad para el crecimiento de las raíces, movimiento del agua y gases para la respiración de las raíces; (b) química: incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CEC) brinda una mejor captura, la liberación de nutrientes inherentes y aplicados: mejor control/liberación de nutrientes; (c) biológica: más organismos, materia orgánica y productos de transformación; y (d) hidrológica: más agua disponible.

La combinación de estas características eleva la productividad y hace que el suelo sea un mejor entorno para las raíces de las plantas. Cualquier mejora en la porosidad del suelo tiene dos principales efectos positivos en cuanto a la productividad del agua: la mejora en la filtración del agua y la retención de agua de suelos, que prolongan la disponibilidad de la humedad del suelo para las plantas en época de sequía. Con una filtración de agua mejorada, la agricultura de conservación maximiza la recarga de agua de suelos y reduce los riesgos de inundación. En suelos con drenaje impedido, sin embargo, la agricultura de conservación puede que incremente la severidad y frecuencia del anegamiento (Thierfelder y Wall, 2011). La cobertura permanente del suelo en la agricultura de conservación mantiene las tasas de infiltración al proteger la superficie del suelo de las gotas de agua de alta energía y la superficie de sellado. Esto es corroborado por Derpsch et al. (1986) y Alvarez y Steinbach (2009) quienes encontraron mayores rendimientos de cultivos bajo sistemas de no labranza debido a una retención de agua más alta, la mejora en la infiltración de agua y estabilidad de los agregados en los suelos bajo labranza limitada.

El incremento en la materia orgánica del suelo da como resultado la liberación de nutrientes del suelo en el agua – nutrientes de materia inorgánica aplicados a través del fertilizante. De esta forma, la disponibilidad tanto de agua como de los nutrientes vegetales se extiende al mismo tiempo, incrementando su uso eficiente. Bajo estas condiciones, las plantas pueden expresar de mejor manera su potencial genético. En los sistemas de agricultura de conservación y de labranza en América Latina, África y Asia, las mejoras en el rendimiento han oscilado desde el 20% hasta el 120% (FAO, 2001).

## La agricultura bajo regímenes contrastantes de precipitaciones

La evidencia sugiere que la agricultura de conservación ofrece los mejores beneficios en áreas con pocas precipitaciones. Scopel (1996) y Scopel et al. (2001) informa sobre una serie de pruebas que se realizaron en México, donde el incremento del rendimiento en las cosechas de maíz bajo la agricultura de conservación fue significativamente más alta en zonas con precipitaciones marginales (400–600 mm/año) en comparación con incremento del rendimiento bajo condiciones favorables (600–800 mm/año). El análisis de las propiedades del suelo bajo diferentes sistemas sugiere que esta diferencia se refiere a la absorción de agua. De manera similar, Monneveux et al. (2006) descubrieron que había un desarrollo superior de las raíces sin labranza, así como de absorción de agua durante la estación seca en México.

**En México,** el incremento del rendimiento en las cosechas de maíz bajo la agricultura de conservación fue significativamente más alta en zonas con precipitaciones marginales (400–600 mm/año) en comparación con el incremento del rendimiento bajo condiciones favorables (600–800 mm/año). (Scopel, 1996 y Scopel et al. , 2001)

Un estudio de largo plazo de la producción en las tierras altas de México (Verhulst et al., 2011) descubrieron que los rendimientos bajo la no labranza excedieron aquellos bajo la labranza tradicional por 31 % en promedio entre 1997 – 2009, pero que los beneficios de la no labranza fueron más obvios durante años especialmente secos. Franchini et al. (2012) en el Sur de Brasil también descubrieron que al largo plazo, la no labranza y los cultivos intercalados promovieron rendimientos más estables, particularmente en años con pocas precipitaciones. Sin embargo, en contraste con estos resultados, Corbeels et al. (2014) en el meta análisis de la respuesta de cultivos a la agricultura de conservación, África subsahariana no muestra un mejor desempeño de la agricultura de conservación bajo regímenes de precipitaciones más secos en comparación con regímenes más húmedos. Encontraron una menor variación en la diferencia de medias ponderadas en los sistemas de no labranza con cultivos intercalados respecto a los sistemas con intercalado, lo cual sugiere que hay una mayor estabilidad en el rendimiento de cultivos (menos riesgo) cuando se usa el intercalado de cultivos.

## Adopción de la agricultura de conservación en las laderas de Centroamérica

Aun cuando los niveles de adopción de la agricultura de conservación en América Latina y el Caribe son bastante altos, tienden a concentrarse más en los agricultores más pudientes y a gran escala, con fincas mecanizadas que dependen del combustible. (Kassam et al., 2009, McCarthy, 2014). La mayoría de la evidencia provista se origina en México y Sudamérica, particularmente Brasil, Argentina y Paraguay. La revisión de literatura y encuestas de campo no arrojaron suficientes pruebas en cuanto al rango total de las prácticas de agricultura de conservación en Honduras, el Salvador y Nicaragua. Aunque algunas de las prácticas ya fueron aplicadas, la introducción de la agricultura de conservación en los sistemas de pequeños agricultores en Centroamérica ha sido un verdadero reto. Sin embargo, Pachico et al. (2010) estimaron que existe un gran potencial para la introducción de la agricultura de conservación, reconociendo que tanto las prácticas

tradicionales como las convencionales para la producción de maíz en laderas empinadas ya se encuentran usando la no labranza para la preparación de la tierra antes de la siembra. Por lo tanto, el primer elemento de la agricultura de conservación ya se encuentra presente en las prácticas de los agricultores en las laderas empinadas de las montañas centroamericanas.



*Cultivo con rastrojo de maíz, Nicaragua. Foto: Axel Schmidt*

### **Tanto las prácticas**

tradicionales como las convencionales para la producción de maíz en laderas empinadas ya se encuentran usando la no labranza para la preparación de la tierra antes de la siembra.

## **Competencia con los pastizales**

Pachico et al. (2010) descubrieron que el segundo elemento de la agricultura de conservación – dejar los residuos de los cultivos en el campo para cubrir la tierra durante la temporada seca – no ha sido una práctica general ni en la agricultura tradicional ni en la convencional en Centroamérica. Quemar los residuos de cultivos es aún muy común, igual que remover el rastrojo de maíz/residuos de cultivos para forraje animal, principalmente para el ganado vacuno. La presión de utilizar estos residuos como forraje se ha convertido en un obstáculo para la adopción de la práctica de dejar los residuos de cultivo en los campos como cobertura de suelo. Y dada la gran necesidad de contar con forraje durante la estación seca, no será fácil convencer a los agricultores de que los resultados en cuanto a la mejora de suelos al retener los residuos de cultivos son mucho mayores que su uso como simple forraje. Es incluso muy usual que los agricultores que no poseen ganado le vendan rastrojo de maíz a sus vecinos que sí lo necesitan para sus propios animales. (Reyes et al., 2013, Valbuena, 2014).

Por lo tanto, para lograr la adopción total de las prácticas de agricultura de conservación en El Salvador, Pachico et al. (2010) concluyen que la identificación de una fuente alterna de forraje para ganado resulta necesaria. Un enfoque que podría ser puesto a prueba con agricultores para que dediquen una parte (tal vez entre 20 a 25%) del área en la que ya cultivan maíz, para sembrar forrajes de hierba/leguminosas. Dichos forrajes podrían servir para pastar; ser cortados y llevados a los establos de los animales; o bien ser convertidos en heno para la temporada seca.

La conversión de parte de la tierra dedicada al cultivo de maíz al de forraje, beneficiaría mucho a los agricultores, primero mejorando sus ingresos procedentes de la ganadería y en segundo lugar mejorando la tierra y como resultado el rendimiento del maíz. La mejora de la tierra vendría en

primer lugar al contar con una cobertura de suelos como parte de la agricultura de conservación y en segundo lugar, mediante la mejora de los ciclos de nutrientes a través del aumento de estiércol debido a que la comida del ganado es ahora de mejor calidad al haber cambiado el forraje que está siendo usado. La introducción de forrajes en el sistema también se constituiría en una intercalación efectiva de cultivos, el tercer elemento esencial para la agricultura de conservación.

Resulta sumamente necesario realizar una mayor investigación en cuanto a las opciones de forraje y su compatibilización con los sistemas específicos de producción en Centroamérica para poder superar las barreras a las que se enfrenta el uso de los residuos de los cultivos de manera que eventualmente la agricultura de conservación pueda ser adoptada. Los impactos en la productividad del agua aún se desconocen y deberán ser abordados. Qué sistema de alimentación funcionaría mejor y cuanta tierra necesita ser convertida en pastizal para poder dejar los residuos de maíz como cobertura de suelos en el campo deberá probarse con diversos agricultores y adaptada a sus circunstancias individuales.

En Centroamérica, dada la gran necesidad de contar con forraje durante la estación seca, no será fácil convencer a los agricultores de que retener los residuos de cultivos es mucho mejor para el suelo que su uso como forraje; aunque los impactos en la productividad del agua mediante la incorporación de rastrojos son todavía susceptibles de un análisis pormenorizado que pueda ofrecer evidencias comprobables y constatables.



*Rastrojos como fuente de alimentación para el ganado, Nicaragua. Foto: Dieter Hess*

## Agricultura de conservación y los fertilizantes

Debido a que la labranza mínima y sin mantillo comúnmente resulta en rendimientos deprimidos, el uso de un fertilizante para mejorar la productividad de las cosechas y la disponibilidad de residuos orgánicos es esencial para agricultores a pequeña escala que buscan o pretendan adoptar la agricultura de conservación (Vanhulst et al., 2011b, Baudron et al., 2012). Un estudio de caso de Kenya demuestra como el uso de fertilizantes incrementa la producción de rastrojo de maíz por encima de los umbrales iniciales para brindar una cobertura mínima del suelo, necesaria para empezar a usar la agricultura de conservación (casi 3 t/ha) (Guto et al, 2011). Vanlauwe et al. (2014) concluyen que las estrategias para el uso de la agricultura de conservación en África subsahariana (SSA) deberán integrar el uso apropiado de fertilizantes para incrementar la posibilidad de que los agricultores a pequeña escala resulten beneficiados, incluyéndose aquí mejoras en la productividad del agua.

**Se estima** que el uso eficiente del agua puede incrementarse entre el 15-25% mediante el adecuado manejo de nutrientes. (Hartfield et al. ; 2001)

## Nutrientes y gestión de suelos para la productividad del agua – Gestionar el suelo para manejar el agua

Hartfield et al. (2001) estiman que el uso eficiente del agua puede incrementarse entre el 15-25% mediante el adecuado manejo de nutrientes. La condición de los nutrientes de una planta tiene un efecto indirecto sobre la eficiencia del uso del agua a través de la eficiencia fisiológica de la planta. Un estado óptimo en cuanto a nutrientes garantiza un mayor resultado de biomasa por unidad de agua utilizada. Los autores encontraron que mediante la gestión de suelos, el uso eficiente de agua puede incrementarse entre 25-40%. Estos resultados recalcan la importancia del papel de la gestión de suelos y de los nutrientes vegetales para mejorar la eficiencia en el uso del agua y por lo tanto la productividad del agua en Centroamérica.

Barron (2012) indicó que la disponibilidad de agua para una cosecha puede ser mejorada casi de manera instantánea al mejorar la gestión de suelos (labranza, estructuras de infiltración, ver secciones anteriores de este capítulo), y la disponibilidad de nutrientes al añadir nutrientes orgánicos y/o inorgánicos. Sin embargo, aprender a administrar los suelos para obtener la máxima productividad del agua y para crear un puente entre períodos secos puede tomar mucho tiempo. La estabilización del suelo pueda que no se dé en áreas tropicales semi-áridas y áreas sub-húmedas por 10 a 20 años debido al reto que existe en cuanto a la construcción de propiedades químicas y biológicas en el suelo, incluyendo el equilibrio de materia orgánica en la tierra.

## Investigación adicional requerida para las sinergias

Si bien existe un creciente número de evidencias científicas indicando las mejoras en la productividad del agua a través de la implementación de la agricultura de conservación, todo el potencial y beneficios posibles no son comprendidos a plenitud.

**La investigación** científica en Centroamérica en cuanto a sistemas de agricultura de conservación se encuentra a la zaga en comparación a otras partes del mundo.

Existen muchas interacciones sinérgicas entre los componentes varios de las prácticas de agricultura de conservación que no han sido totalmente explicados. La investigación científica en Centroamérica en cuanto a sistemas de agricultura de conservación se encuentra a la zaga en comparación a otras partes del mundo. Esto es debido en parte a que la agricultura de conservación es un sistema complejo, que conlleva mucho conocimiento y especialización lo cual requiere contar con el personal adecuado dentro de las redes institucionales facilitadoras.

### El manejo Integrado de Plagas (MIP) y la Agricultura de Conservación

La agricultura de conservación es un sistema productivo que busca eficiencia económica y, a la vez, conservar, mejorar y hacer más eficiente el uso de los recursos naturales, por medio del manejo integrado del suelo, agua, plagas y los recursos biológicos disponibles, practicando una agricultura más comprometida con el ambiente.

La agricultura de conservación incorpora el manejo integrado de cultivos con el que comparte la misma finalidad: la convergencia entre los objetivos de producción y conservación del ambiente. El MIP, dentro de este marco, es una herramienta valiosa para lograr los objetivos de la agricultura de conservación.

Escobar Betancourt , José Cristóbal. *El Manejo Integrado de Plagas de Cultivos Hortícolas*. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL. PROYECTO AGRICULTURA SOSTENIBLE EN ZONAS DE LADERA FASE II

### Sistemas mixtos agropecuarios

Los sistemas mixtos agropecuarios que eran tan comunes en el pasado (Mazoyer y Roudart, 2006) se encuentran nuevamente atrayendo la atención mundial. Estos sistemas representan el más alto nivel de integración entre los sistemas agrícolas y ofrecen muchos beneficios. Los cultivos tienden a rendir más energía y proteínas por unidad de superficie que los animales, pero el valor nutritivo y los ingresos de la producción de ganado tienden a ser mayores que la de los cultivos. El ganado también sirve para apoyar la explotación agrícola, por ejemplo, al permitir que haya una mayor rotación de cultivos, de gestión de riesgos, al añadir valor a los residuos de los cultivos y granos, el suministro de energía de tracción (Schiere et al, 2006) y el reciclaje de nutrientes sobrantes para la gestión de fertilidad de los suelos (Hendrickson et al., 2008; Tarawaliet al., 2011). A su vez, los sistemas mixtos de cultivos y ganado generan una mayor eficiencia económica para ahorrar costos de producción mediante los aspectos complementarios existentes entre los cultivos y el ganado (Wilkins, 2008). Diversificar la producción puede reducir la exposición de los agricultores al riesgo de las fluctuaciones de mercado (Russelle et al., 2007) y a los retos de las condiciones climáticas.

La agricultura mixta es la categoría más grande de sistemas de ganado en el mundo en términos de cantidades de animales, productividad y el número de personas a quienes sirve (Thornton et al., 2002). La mayor parte de la producción animal en el mundo se deriva de sistemas agropecuarios mixtos de secano en países en desarrollo y de la producción industrial intensiva en países desarrollados ((Herrero et al., 2010). Los productos ganaderos proveen un tercio del consumo humano de proteína, y a su vez consumen casi un tercio del agua utilizada a nivel global para agricultura (Herrero et al., 2009). Con una creciente demanda para productos animales y la competencia por el agua siendo cada vez más polémica, mejorar la productividad del agua para ganado es esencial (Descheemaeker et al., 2010).

La revisión de literatura y las encuestas de campo en Centroamérica en cuanto a la productividad del agua no reportaron información existente o informes en cuanto a la productividad de agua para ganado. Lo cual no es sorprendente, ya que la productividad de agua para ganado es un concepto relativamente nuevo ((Peden et al., 2007,2009). Existen varias brechas de conocimiento y una gran falta de puntos de referencia. Sin embargo, como punto de partida para iniciar futuras investigaciones y discusiones, resumimos aquí los hallazgos investigativos que consideramos pertinentes, así como los conceptos recopilados de otras regiones.

La productividad de agua para ganado es definida como la relación que existe en el grupo neto de productos y servicios beneficiosos para la ganadería y el agua que se agotó para producirlos. Existen tres estrategias básicas para ayudar a mejorar la productividad del agua para ganado: 1) mejoras en la gestión de forrajes (mejorar la calidad de la comida, mejorar la productividad del agua de forraje, selección de tipos de forraje); 2) gestión de agua, gestión animal (mejorar la productividad animal, mejorar la salud animal); y 3) contar con agua potable para los animales que tenga la debida calidad, particularmente durante las temporadas secas (Fujisaka et al., 2005). Una estrategia individual puede que no sea efectiva. En su lugar, un enfoque balanceado, dependiendo del lugar que haga uso de las tres estrategias sería mucho más efectivo.

La productividad del agua en relación al ganado no busca maximizar el número de cabezas o la fabricación de productos animales y servicios. En su lugar, busca producir los mismos beneficios con menos animales y también disminuye la demanda para el agua agrícola. En ese sentido, se requiere mejorar la productividad de cada animal (Peden et al., 2007; Descheemaeker et al., 2010). La producción animal depende en gran medida del acceso que se tenga a suficiente forraje de calidad – granos, residuos de cultivos y sub-productos, pastos, forraje de árboles y cultivos forrajeros. Peden et al. (2007) sugiere que debido a que la producción de forraje es una de las actividades con mayor consumo de agua agrícola, el abastecimiento estratégico de forraje es un punto de entrada para la mejora global de la productividad de agua para el ganado.

Las investigaciones de ganado y particularmente en cuanto a forraje durante los últimos 50 años no han abordado correctamente el vínculo existente entre la alimentación para el ganado y la gestión del agua. El conocimiento científico sobre el uso del agua para el forraje continua siendo muy limitado. La juiciosa selección de fuentes de alimentación de ganado es potencialmente una de las formas más efectivas para mejorar la productividad de agua agrícola a nivel global. Peden et al. (2007) estiman que el agua transpirada para la producción de forraje es aproximadamente 50 veces o más el monto del consumo de agua llevado a cabo por cada animal. Por lo tanto, incrementar la productividad de agua de ganado, dependerá en gran medida del incremento en el monto de forraje que los animales utilizan para producción en relación a la cantidad utilizada para mantenimiento.

El uso de agua en la producción de forrajes puede variar sustancialmente (Blümmel et al., 2009) y dependerá mucho del tipo de alimentación que se quiera utilizar (por ejemplo, granos, forrajes, concentrados, residuos de cultivos, pastos), condiciones climáticas, gestión de campiñas y riego. Como tal, la selección estratégica de tipos de forraje tiene el potencial de poder incrementar la productividad de agua para ganado (Descheemaeker et al., 2010). En los sistemas mixtos agropecuarios, los residuos de los cultivos son una fuente importante de alimentación para rumiantes (Devendra y Thomas, 2002; Reyes et al., 2013).

### **La revisión de literatura**

y las encuestas de campo en Centroamérica no reportaron información existente en cuanto a la productividad de agua para ganado.

Debido a que los residuos de cultivos no consumen agua adicional, éstos presentan una excelente oportunidad para incrementar la productividad de agua de alimentación. Sin embargo, existen concesiones que deben darse cuando se utiliza el residuo de los cultivos para forraje animal, particularmente en cuanto al mantenimiento de la fertilidad de la tierra y las mejoras en la estructura de suelos. Más aún, los residuos de cultivos no tienen mayor valor nutricional, cuando mucho cumplen únicamente con los requisitos para simplemente mantener a los animales (Coleman y Moore, 2003).

La producción de forraje es el mayor consumidor de agua para la producción de ganado en los sistemas mixtos (Singh et al., 2004). Por ello, las intervenciones que incrementan la productividad del agua de alimentación incrementan directamente la productividad de agua de ganado. Se han realizado investigaciones sustanciales para incrementar la productividad del agua para cultivo, lo cual se refleja en un gran número de publicaciones científicas que discuten el tema (para una revisión integral ver Kijne et al., 2003). La mayor parte de recomendaciones para mejorar la productividad del agua de cultivo, también pueden ser utilizadas para mejorar la productividad del agua para alimentación animal. Y en general, las medidas agronómicas dirigidas al crecimiento saludable y robusto de las cosechas ayudan a que se dé la transpiración productiva sobre pérdidas de agua improductivas. Aliviar el estrés hídrico mejora la productividad del agua, únicamente si otras tensiones (deficiencias nutricionales, malezas y enfermedades) también se ven reducidas o eliminadas (Bouman, 2007).

## **Aumentar la productividad de pastoreo en las tierras marginales**

Los pastizales o forrajes en Centroamérica suelen estar ubicados en tierras marginales, consideradas inadecuadas para la siembra de cultivos (Peters et al., 2001, Steinfeld et al., 2006). Por lo tanto, el hacer uso de los recursos alimenticios disponibles en estas áreas incrementa la productividad general del sistema. Sin embargo, los pastizales en Centroamérica por lo general se encuentran en un avanzado estado de degradación debido a un manejo inapropiado de las tierras de pastoreo (Holmann et al., 2004). En estos casos, el agua se pierde del sistema debido a escorrentía, y como resultado se da una menor productividad del agua. Como consecuencia, el manejo cuidadoso de las tierras de pastoreo mediante densidades adaptativas resulta esencial. (Lascano, 1991). Los árboles de forraje brindan diversos beneficios que ayudan a mejorar la productividad del agua para ganado. Y adicionalmente a brindar forraje nutritivo, los árboles ayudan a estabilizar la tierra, disminuyen la erosión, mejoran la estructura de suelos y la fertilidad, y ayudan a mejorar

la estabilidad del ecosistema. (Romero et al., 1994). Existe poca información disponible en cuanto a la productividad de agua respecto a los diferentes tipos de forraje, concentrados y suplementos (Peden et al., 2007), pero añadir fuentes de forraje altamente nutritivas a la dieta de los animales, incrementa en gran medida la productividad animal (Lennéet al., 2003; Holmann et al., 2004). Peters et al. (2011) brindan información sobre las diferentes opciones de forraje disponibles para América Latina incluyendo hierbas, legumbres con múltiples usos y arbustos para mejorar el rendimiento animal y la mejora de suelos.

## Suministro de agua potable para animales

Durante los seis meses de la temporada seca en Centroamérica los animales suelen caminar largas distancias hasta los puntos de abastecimiento de agua, por lo tanto gastando energía sustancial (Fujisaka et al., 2005). A pesar de que el monto de agua requerida para beber es pequeña en comparación a la cantidad necesitada para producir forraje, el otorgar este pequeño volumen es una decisión estratégica (Peden et al., 2007). El agua permite que los animales tengan acceso a su alimentación y la conviertan en productos animales. Su disponibilidad hace una gran diferencia en cuanto a la productividad del agua para ganado en general (Peden et al., 2009). Más aún, el contar con suficientes puntos de abastecimiento de agua es instrumental para la distribución óptima de los animales de manera que se pueda hacer el mejor uso del forraje disponible (gestión de pastizales) y evitar la degradación del suelo y de los pastos (Wilson, 2007). La cosecha de agua (ver Capítulo 5.3) ofrece un tremendo potencial para tener acceso permanente al agua potable de calidad durante la estación seca.

## Cuidado animal

La baja productividad animal en Centroamérica se manifiesta en la baja ganancia de peso diaria, de producción de leche, de crecimiento y de partos, así como en la alta tasa de mortalidad (Szott et al., 2000). Unas de las razones por las que se dice que no se maneja el ganado adecuadamente es la selección inapropiada de animales para la crianza y reproducción, así como la poca provisión de servicios veterinarios, lo cual socava todos los demás esfuerzos realizados para incrementar la productividad del agua para ganado. Animales enfermos o en tensión generan una menor productividad, ya que éstos se encuentran consumiendo agua y forraje pero no dan los resultados o servicios que deberían. Disminuir la proporción entre la energía proporcionada por la comida requerida para el mantenimiento de un animal y la cantidad de comida que se utiliza para efectos productivos, mejora la productividad animal (Peden et al., 2009), y por lo tanto la productividad del agua en sistemas mixtos agropecuarios. La clave para incrementar la productividad del agua es la cría de animales apropiada, incluyendo servicios veterinarios y control de enfermedades para mejorar la salud del ganado.

## Investigación adicional requerida

Para obtener una mejoría en la productividad del agua en los sistemas mixtos agropecuarios altamente complejos, se requiere de habilidades administrativas de alto nivel. Sin embargo, los sistemas de investigación, educación y extensión en Centroamérica, y de hecho en todo el mundo, fallan al proporcionar la información requerida, conocimientos en general y directrices prácticas (Peden et al., 2006). Existen únicamente unos cuantos ejemplos de investigación y evaluaciones que pretenden entender todas las necesidades hídricas que requiere el ganado, y cómo la producción animal afecta exactamente los recursos de agua. La consecuencia de esta falta de

información ha sido la pérdida de oportunidades para mejorar la productividad del agua en cuanto a forraje/ganado y maximizar los retornos de inversión en cuanto a agua y desarrollo ganadero. Una falta general de conocimiento y comprensión impide la toma de decisiones acertadas o la implementación de intervenciones específicas. (Peden et al., 2009).

En Centroamérica, la mayoría de las planificaciones de desarrollo han sido un tanto parciales para favorecer al sector dedicado a los cultivos. Los responsables de las políticas por lo general han visto al sector ganadero como algo subsidiario. Más aún, la agenda ganadera por lo general no está integrada con el desarrollo del riego, las inversiones en biocombustibles o de reforestación. Esto es debido en parte a que el enfoque está puesto sobre las materias primas y en partes del sistema agrícola, pero no en la agricultura mixta como parte de un todo, o en los también denominados sistemas adaptativos complejos, cuya variedad les permite ofrecer mejores soluciones para los retos del futuro. El desarrollo de la agricultura mixta requiere un gran entendimiento de las interacciones y combinaciones de funciones, en lugar de prestar atención únicamente a maximizar los rendimientos o beneficios de un solo elemento, por ejemplo, granos, leche, suelo, biofísica o incluso aspectos sociales (Schiere et al., 2006). La literatura revela diferentes prácticas y sistemas para mejorar la productividad del agua en Centroamérica pero la información de campo en cuanto a la eficiencia del uso de agua y de la productividad de agua en la región es mínima. La información (relativamente de mejor calidad) en cuanto al control de la erosión, que se vincula indirectamente a la productividad del agua, demuestra lo que es posible entender si se contara con una investigación más sistemática. Cambios en las formas de pensar, actitudes y políticas como resultado de investigaciones adicionales y el apoyo a la experimentación, facilitarán la integración de cultivos, ganado, manejo de suelos y agua a nivel de fincas, territorios e incluso a nivel institucional (Peden et al., 2009).

## **6. Adopción de prácticas agrícolas para mejorar la productividad de agua en Centroamérica**

La revisión de literatura, las encuestas de campo realizadas y las discusiones de mesa redonda identificaron un limitado número de prácticas para mejorar la productividad del agua que han sido adoptadas por pequeños agricultores en cada uno de los tres países. Por ejemplo, en Nicaragua, barreras vivas, cultivos de franja, la no quema ni tala de residuos incluyendo la labranza mínima y la cobertura de cultivos, así como la cosecha de agua, fueron las prácticas más importantes ya implementadas por los agricultores. En El Salvador, este grupo idéntico de prácticas se ve complementado a su vez por las acequias de ladera e infiltración, barreras muertas y terrazas en la producción de café. La revisión en Honduras reveló un grupo similar de prácticas, complementadas por ajustes en la densidad de la siembra. En los tres países estas prácticas son implementadas predominantemente en pequeñas parcelas de muestra. Y a pesar de los numerosos programas y proyectos en la región en los últimos 30 años, la implementación en parcelas más grandes es poco común y las prácticas descritas en el capítulo 5 fueron distribuidas entre diversos proyectos y áreas geográficas pero con pocos niveles de adopción. Este capítulo echa un vistazo a los obstáculos y oportunidades que afectan la adopción de estos métodos.

### Las experiencias

demuestran que las medidas físicas/estructurales fueron abandonadas cuando éstas requerían de mantenimiento.

### Se observa

a menudo que, cuando las intervenciones de los proyectos ofrecen incentivos directos, los agricultores tienden a abandonar las buenas prácticas pasado un tiempo.

## Impacto de la ubicación

La encuesta de campo realizada en los tres países corroboró los resultados de Hellin y Schrader (2003); cuando las intervenciones de proyectos que ofrecen incentivos directos terminan, los agricultores tienden a abandonar la mayoría de las prácticas que eran promovidas. Los encuestados por su parte lograron identificar las prácticas que mejoran la humedad de la tierra como aquellas con mayor potencial a ser adoptadas en los tres países y mencionaron que las medidas físicas/estructurales fueron abandonadas cuando éstas requerían de mantenimiento. No pudieron establecerse patrones geográficos en materia de adopciones. Y en términos generales, casi no había evidencia sólida (datos) en cuanto a la efectividad o la adopción de las prácticas para mejorar la productividad del agua.

Estos hallazgos confirman las declaraciones de PASOLAC (2000) de que las prácticas son “específicas a cada agricultor”. La adopción se dará en función de cada ubicación específica, sistema de producción, metas de producción, prioridades de los agricultores y capacidades de gestión. Por un lado, las laderas de Centroamérica son un ambiente muy heterogéneo, muy a menudo con una gran diversidad de condiciones agroecológicas, de microclimas y socioeconómicas presentes entre las fincas colindantes (por ejemplo, infraestructura, ganado, mercados), o incluso entre las parcelas de la misma finca (por ejemplo, tierra, pendiente). Por otra parte, cada práctica tiene un grupo de características bastante bien definidas en cuanto a su adaptación ecológica, su efectividad para mejorar la productividad del agua, los costos de implementación y mantenimiento y los beneficios percibidos por el agricultor. El reto es hacer concordar estas prácticas con las condiciones específicas de cada lugar. Esto requiere de una amplia gama de información, conocimiento y habilidades de asesoramiento que raramente ha estado disponible en el pasado. Un enfoque generalizado, el cual no es adaptado a condiciones locales, se asocia con bajos índices de adopción a largo plazo y poca modificación de comportamientos.

## Rendimientos económicos en las prácticas

La encuesta de campo realizada entre los agricultores reveló que éstos adoptaron las prácticas cuando percibieron que recibirían un retorno económico a su inversión, un hallazgo muy bien documentado (e.g. Lutz et al., 1994; Saín y Barreto, 1996; Scherr, 2000; Bravo-Ureta et al., 2003; Prins, 2004). La adopción es particularmente limitada entre los agricultores

de subsistencia que dependen de un retorno inmediato de su inversión para la conservación de suelo y agua. Dichos beneficios económicos no son necesariamente evidentes hasta el mediano o largo plazo. Las necesidades de corto plazo de los agricultores incluyendo la necesidad de reducir riesgos, desempeñaron un papel muy importante en cuanto a la rentabilidad percibida por una práctica de conservación y por ende su nivel de adopción. (Hansen et al., 1987; Ellis-Jones y Mason 1999; Antle et al., 2007). A pesar de este conocimiento generalizado, Pomareda (2008) establece que el impacto de la adopción de diversas prácticas de agua y suelos en cuanto a costos y beneficios dentro del contexto socio económico de los pequeños agricultores no es del todo entendido. Más aún, muchos autores (Lutz et al., 1994; Reardon y Vosti, 1995; Lapar y Pandey, 1999) mencionan que los retornos económicos de las prácticas de conservación, a pesar de ser una condición necesaria para la adopción, no explican suficientemente los patrones de adopción entre los pequeños agricultores.

## Capital humano, social y financiero

Desde el innovador trabajo de Ryan y Gross (1943), una infinidad de estudios han analizado las variables que afectan la adopción de nuevas tecnologías agrícolas. Revisiones detalladas de esta información pueden encontrarse en Federet al. (1985), Lindner (1987), Feder y Umali (1993), Rogers (1995) y Lichtenberg (2001). Visto a través de un amplio lente interdisciplinario, existe el consenso de que la adopción de las tecnologías agrícolas depende de una amplia gama de factores personales, sociales, culturales y económicos que interactúan con la innovación misma (Pannell et al., 2006). Prokopy et al. (2008) muestran que los mayores niveles de educación, capital, ingresos, tamaño de la finca, acceso a información, actitudes ambientales positivas, conciencia ambiental y uso de redes sociales suelen ser positivamente asociadas con la adopción de las mejores prácticas de gestión. Y dada la situación actual en educación, extensión y capital humano en Centroamérica, existen serias barreras para la adopción.

Rogers (1995) clasificó las variables para adoptar nuevas tecnologías en tres grupos: 1) capital humano; 2) factores estructurales; y 3) capital social. En cuanto al capital humano, los autores mencionan la influencia de la edad, género, educación, alfabetización, experiencia agrícola y entrenamiento. En cuanto a los factores estructurales, tamaño de la finca, tenencia de la tierra y crédito han sido analizados ampliamente. Estudios recientes evalúan el efecto del acceso a redes sociales e instituciones en cuanto a la percepción de los agricultores sobre la nueva tecnología y el subsiguiente efecto en la adopción (e.g., Shultz et al., 1997, Winterset al., 2004). En cuanto a adoptar tecnologías de conservación del suelo, las teorías investigativas y económicas sugieren que las percepciones de los agricultores en cuanto a los problemas de erosión de suelos locales, atributos domésticos y bienes, pendiente de la parcela, patrones de uso de tierra y condiciones generales según ubicación son relevantes en el diseño de un modelo apropiado para ser adoptado (Solis et al., 2006).

Este resultado es consistente con los resultados de las discusiones de mesa redonda en los tres países – fortalecer el capital humano mediante educación, capacitaciones agrícolas y asistencia técnica es esencial para ayudar a que los agricultores entiendan mejor los atributos de las nuevas tecnologías. Sin embargo, los agricultores salvadoreños argumentaron que a pesar de conocer los beneficios ambientales y contar con el conocimiento técnico, debido a los altos costos no pueden asumir la transición de la gestión convencional a prácticas más sostenibles.

**Algunas experiencias demuestran** (Solis et al., 2006) que las percepciones de los agricultores en cuanto a los problemas de erosión, la pendiente de la parcela, los patrones de uso de tierra y las condiciones generales según ubicación son relevantes en el diseño de un modelo apropiado para ser adoptado (Solis et al., 2006).

## Selección de prácticas y tecnologías

La tecnología en sí influye las decisiones en cuanto a la adopción y uso (Adesinay Zinnah, 1993). Y en particular la relativa complejidad, riesgo y características de inversión de las tecnologías afectan tanto la adopción como la difusión (Batz et al., 1999). Las preferencias de riesgo de los agricultores influyen en las decisiones para la adopción de tecnología, especialmente si los costos a invertir son mayores e irreversibles (Howley et al., 2012). En un análisis de las diferencias entre las tecnologías de capital más intensivo y las de gestión intensiva, El-Osta y Morehart (2002) descubrieron que la edad del agricultor, el tamaño de la granja y el tipo de producción (p.e., lácteos) incrementó la posibilidad de adoptar tecnología de capital intensivo, mientras que el nivel educativo y tamaño de operación afectaban positivamente la decisión de adoptar tecnologías de gestión intensiva. Estos hallazgos hacen énfasis en la importancia de educación y capacitación para la adopción de mejoras en las prácticas de productividad del agua en Centroamérica. Esto es especialmente cierto debido a que muchas de las prácticas y sistemas descritos en este documento son de conocimiento y gestión intensiva.

## Servicios de extensión

Muchos estudios concuerdan que los servicios de extensión son un factor clave no sólo para la adopción de sistemas de agroforestería, sino también para las tecnologías agrícolas en general (Feder y Slade, 1986; Hansen et al. (1987); Saín y Barreto, 1996; Ramírez y Shultz, 2000; Marsh y Pannell, 2000; Garforth et al., 2003; Pattanayak et al., 2003). Shultz et al. (1997) recalcan la importancia de la frecuencia en las visitas a las fincas por los agentes de extensión para que la adopción sea exitosa. En Honduras, los métodos de extensión participativos como la metodología CIAL (Braun, 2003; Humphries et al., 2005) han tenido un impacto positivo en la innovación y adopción de nuevas tecnologías agrícolas.

Dadas las complejas y diferenciadas condiciones específicas de la ubicación de la finca, las características del agricultor y el tipo de tecnología, parecería imposible que los sistemas de investigación y extensión desarrollen “paquetes” suficientemente adaptados a cada agricultor o grupo. Hacer adaptaciones para las condiciones locales no sólo requiere información y conocimiento sobre los principios agronómicos y agroecológicos, gran habilidad de comunicación y tiempo, sino también un buen entendimiento de las condiciones locales que únicamente los agricultores en cada lugar pueden brindar. Y por lo tanto se requiere de su participación. De hecho, en los países más desarrollados, tanto la extensión como la investigación para la agricultura de conservación, han sido promovidas por los agricultores (Wall, 2007). Es necesario llevar a cabo un mayor análisis de los servicios de extensión y los sistemas de innovación en Centroamérica, especialmente en cuanto a los modelos de desarrollo participativo y difusión de innovación (Gündel, 1998; Cramb 2000).

Neill y Lee (1999) atribuyeron la diseminación general del sistema maíz y mucuna en el norte de Honduras a la extensión de agricultor a agricultor.

## Participación de los agricultores

A raíz de las condiciones específicas para la adopción (agricultor/a, ubicación y tecnología), las discusiones de la mesa redonda en los tres países enfatizaron la necesidad de una mayor participación de los agricultores/as en la planificación e implementación de los proyectos. El diseño de proyectos en Centroamérica por lo general no incluye la heterogeneidad de las condiciones de las laderas. Los proyectos tienden a predefinir las prácticas de conservación de suelos y agua para promover proyectos de corta duración. Ashby et al. (1996) insisten en lo vital del papel de los agricultores para promover las prácticas de conservación de suelos y agua (de agricultor a agricultor). Neill y Lee (1999) atribuyeron la diseminación general del sistema maíz y mucuna en el norte de Honduras debido a la extensión de agricultor a agricultor. Se estima que la tasa de difusión fue más del 60% entre los agricultores en 1992, y se encontró que dicha difusión fue en gran medida espontánea (sin ayuda de extensionistas u ONG). El sistema maíz y mucuna ha sido ampliamente reconocido como un “caso de éxito” de difusión de un sistema de agricultura de conservación.

**Dada la complejidad** del tema en cuanto a la tenencia de tierras en América Latina y el mercado de renta de tierras, que necesariamente incluye lidiar con el tema de la duración del contrato (largo plazo vs. anual), estos dos factores deberían ser recalcados en el diseño de los programas así como en la implementación, estableciendo a su vez vínculos con financiamiento

## El acceso al mercado como un factor

El eventual declive en la aplicación de la producción de mucuna y maíz se relacionó con los cambios en el acceso de mercado que experimentaron los productores de maíz, entre otros factores (Neill y Lee, 1999). Jansen et al. (2006) reportaron hallazgos similares de disminución en la adopción que se dieron, sin embargo, con otros cultivos de mayor acceso a los mercados en Honduras. Los informes de otros autores variaron. Posthumus (2005) concluyó en un estudio sobre la adopción de bancales, terrazas de formación lenta, zanjas de infiltración, y prácticas de conservación en Perú, que contar con acceso al mercado incrementó la adopción de terrazas de formación lenta. No obstante, la ambigüedad en la literatura con respecto al acceso de mercado sobresale el contexto específico del agricultor y su ubicación para que se dé la adopción.

## Importancia de las redes sociales

Varios autores recalcan la importancia de las redes sociales y la afiliación a grupos para contar con una adopción exitosa (Hansen et al. 1987; Ashby et al. 1996; Witter et al. 1996; Cramb 2000; Swinton, 2000, Posthumus 2005). En un artículo reciente McCarthy (2014) concluyó que la adopción de prácticas de conservación incrementó proporcionalmente al número de organizaciones con base comunitaria en un área, así como al número de organizaciones externas enfocadas en el desarrollo integrado, recalcando la importancia de construir capital social. Existe mucha literatura enfocada en las motivaciones, valores, objetivos e influencias en la conducta de los agricultores como factores para la adopción de tecnología (e.g. Rehman et al., 2007; Aragão-Pereira, 2011). La literatura explica cómo las normas sociales, las creencias sobre el desempeño e importancia de la tecnología y las intenciones de un agricultor para cambiar sus prácticas,

impactan la adopción de tecnologías. Sauer y Zilberman (2010) mostraron un impacto positivo del comportamiento de grupos paritarios en la toma de decisiones sobre la adopción de tecnología. Otras aclaraciones sobre el cambio de comportamiento son la clave para seguir trabajando en la adopción de parte de los agricultores en Centroamérica.

## **Influencia de la tenencia de la tierra sobre la adopción**

Solis et al. (2006) indicaron que la tenencia de la tierra tiene un positivo y significativo impacto en la adopción. En contraste, el tamaño de la tierra muestra un efecto negativo y significativo para la adopción, lo cual indica que las fincas más pequeñas tienen una mayor probabilidad de comprometerse en actividades de conservación de suelos que las más grandes. En su estudio basado en el proyecto PAES en El Salvador y el proyecto CAJON en Honduras, Solis et al. (2006) descubrieron que los productores con altos niveles de inversión en la conservación de suelos también muestran un mayor promedio de eficiencia técnica. Estos productores a su vez cuentan con las granjas más pequeñas y presentan la mayor elasticidad parcial de producción con respecto al total de la tierra cultivada. Estos resultados sugieren que en las áreas menos productivas, el acceso a la tierra le es negado a muchos productores rurales eficientes. (Deininger et al., 2003). Dada la complejidad del tema en cuanto a la tenencia de tierras en América Latina y el mercado de renta de tierras, que necesariamente incluye lidiar con el tema de la duración del contrato (largo plazo vs. anual), estos dos factores deberían ser recalcados en el diseño de los programas así como en la implementación, estableciendo a su vez vínculos con financiamiento. Sin embargo, los pequeños agricultores, muy frecuentemente se enfrentan a obstáculos crediticios. Por lo tanto, nuevos y creativos productos financieros son necesarios para los sistemas de agricultura de secano que son predominantemente compuestos de pequeños agricultores, con el objeto de forjar una estrategia para el desarrollo y mejoras en la productividad, que a su vez ayude a los agricultores a llevar a cabo la inversión inicial para la conservación de los suelos y el agua.

## **El caso especial de la adopción de la agroforestería**

Dadas las diversas oportunidades para la integración de árboles en los sistemas productivos y la importancia de la producción de café y cacao en Centroamérica, las áreas con sistemas silvopastoriles parecen haberse incrementado (>2 M ha) en la última década (Ibrahim, 2013). Sin embargo, la mayoría de ellos son sistemas silvopastoriles de bajos insumos dentro de algún tipo de disposición lineal, tales como las barreras vivas (tasa de adopción > 90% de fincas con ganado) con sistemas más complejos e intensivos como bancos de proteína, mientras que el pastoreo o siembra en franjas es dejado atrás (tasas de adopción sumamente bajas). Ibrahim et al. (2010) atribuyeron esta falta de adopción a los rígidos requisitos, difíciles de cumplir en cuanto a capital y mano de obra asociado al establecimiento de sistemas complejos de agroforestería, siendo que falta mucho conocimiento y asistencia técnica, así como una prevalencia de políticas inadecuadas y la carencia de incentivos para la adopción.

Current et al. (1995), al revisar los 21 proyectos de agroforestería en Centroamérica mencionaron una serie de factores afectando la adopción de la agroforestería en Centroamérica. Los agricultores se ven muy atraídos por las nuevas tecnologías basadas en retornos de inversión y la utilidad de un sistema en particular en comparación a usos alternativos de la tierra. Los agricultores no dejan de

Los agricultores se ven muy atraídos por las nuevas tecnologías basadas en retornos de inversión y la utilidad de un sistema en particular en comparación a usos alternativos de la tierra.

Las tasas de crecimiento específicas para cada especie de árbol son considerablemente más largas que los proyectos de desarrollo y que los horizontes políticos.

evaluar los requisitos de recursos para cada sistema, costos locales de mano de obra y materiales, así como los precios locales para los productos relacionados con los árboles. Y cabe destacar que la adopción es también una función de gestión de riesgos, incluyendo el grado hasta el cual un dado sistema de agroforestería estabiliza los rendimientos y brinda múltiples fuentes de ingreso. Current et al. (1995) sugieren que la falta de tenencia formal de la tierra disminuyó la adopción, pero esto no era un obstáculo vinculante. Lejos de ello, las leyes y reglamentos para la cosecha de árboles que fueron creadas para proteger los bosques (y crean incertidumbre en cuanto a los permisos para cosechar los árboles en el futuro) limitan los proyectos de agroforestería que fueron revisados.

Las principales barreras para la adopción de sistemas de agroforestería: tal y como la asistencia técnica, capacitaciones, provisión de materiales de siembra, crédito y otros incentivos materiales y financieros identificados por Ibrahim et al. (2010), son los mismos identificados 15 años antes por Current et al. (1995), indicando un progreso limitado hacia un entorno normativo más propicio para promover la adopción de agroforestería en Centroamérica en las últimas dos décadas. Y para complicar más las cosas, los programas de agroforestería no tienden a tomar en cuenta los períodos de 5-10 años que son necesarios para la exitosa implementación de los mismos. Las tasas de crecimiento específicas para cada especie de árbol son considerablemente más largas que los períodos de las administraciones gubernamentales y por lo tanto que los horizontes políticos. La información y conclusiones de otras regiones del mundo pueden que no sean aplicables a Centroamérica. Los efectos de la agroforestería varían muchísimo según ubicación (Muschlery Bonneman, 1997), tal vez más que cualquiera de las otras tecnologías que están siendo discutidas aquí. Las tres especies más apropiadas para la agroforestería variarán según el área geográfica, lo cual hace que los estudios comparativos entre diferentes regiones sean muy difíciles de llevar a cabo exitosamente. Podría lograrse un importante valor agregado si se realizaran investigaciones básicas sobre las diferentes variedades de agroforestería en las diversas regiones agro-ecológicas (McCarthy, 2014).

## Formando una agenda de investigación en cuanto a las adopciones

La obtención de datos confiables en cuanto a la adopción en Centroamérica de las tres prácticas de agricultura de conservación debidamente combinadas es realmente escasa. Pocos estudios tenemos registrados en América Latina (para una revisión ver a Knowler y Bradshaw, 2007), y únicamente tres en Centroamérica (Sain y Barreto, 1996; De Herrera y Sain, 1999; Pachico et al., 2010).

La adopción de la agricultura de conservación no puede necesariamente aplicarse de forma generalizada en otros países y regiones debido a que la agricultura de conservación tiene diferentes efectos en cada lugar dependiendo del clima y el tipo de suelo en un área en particular (Zinn et al., 2005; Giller et al., 2009). La evidencia que sale de Sudamérica proviene de agricultores que dependen de sistemas agrícolas basados en combustible, y que tienen una estructura de costo-beneficio completamente diferente de la de los pequeños agricultores en Centroamérica, que de hecho no usan combustible en absoluto (McCarthy, 2014). Por lo tanto, es de vital importancia continuar generando datos específicamente aplicables a los sistemas de pequeños agricultores de Centroamérica.

Además, los estudios que existen proveen una imagen no muy clara. McCarthy et al. (2011) y Wall (2007) revisaron la evidencia empírica en cuanto a los principales obstáculos para la adopción de la agricultura de conservación por los pequeños agricultores (no específicos de Centroamérica). Y en ese sentido los autores mencionaron los siguientes obstáculos: (1) quienes se encuentran involucrados necesitan en muchas áreas usar los residuos de los cultivos para forraje animal; (2) el incremento de gastos en herbicidas y/o mano de obra para retirar malezas, al menos durante los primeros años; (3) vínculos muy débiles con los servicios de extensión para adquirir información en cuanto a la agricultura de conservación (en cierta medida una tecnología intensiva en conocimiento); (4) acceso limitado a equipos de siembra directa; (5) acceso limitado a semillas de cultivos de cobertura adecuados en el mercado; y (6) grupos muy cerrados entre los agricultores, que impiden el abandono de prácticas tradicionales de labranza. McCarthy (2014) concluyó que los agricultores más grandes, especialmente aquellos que dependen de la mecanización basada en combustibles, suelen tener más probabilidades de adoptar la agricultura para la conservación. Esto también es cierto para agricultores que cuentan con una tenencia segura de la tierra y/o que son dueños de la tierra que está siendo explotada, y que de hecho tienen acceso a información en cuanto a la agricultura para la conservación (por ejemplo, mediante la extensión), y que se encuentran localizados en áreas muy propensas a la erosión de suelos y menos precipitaciones.

Claramente, tomar en cuenta el factor tiempo en los estudios de impacto y de adopción es esencial. Tasas válidas de adopción o no adopción únicamente pueden ser establecidas varios años después de que las intervenciones finalizan. Para el caso de la mejora de la tierra en la agricultura de conservación, es crucial que se lleven a cabo estudios a largo plazo sobre los efectos observados en el rendimiento de cultivos y por lo tanto en la productividad del agua. Muchos de los estudios que no encontraron efectos significativos como resultado de la agricultura de conservación en los suelos o rendimientos fueron llevados a cabo a lo largo de un período de cinco años o menos (Roldán et al., 2003; Astier et al., 2006). Cabe destacar que cuando se han dado estudios a mayor plazo, sí se han encontrado resultados positivos de la adopción de la agricultura de conservación (Erenstein et al., 2012; Franchini et al., 2012).

Cabe destacar que los estudios que han podido rescatar un mayor plazo de tiempo, han registrado resultados positivos de la adopción de la agricultura de conservación.

## 7. Marco político – ¿Un entorno propicio para la gestión de agua y suelos?

Sabemos que las prácticas de conservación de agua y suelos son adoptadas y la forma en que son administradas se ve influenciada por una multiplicidad de factores, que fueron resumidos ya en la sección anterior. La mayoría de dichos factores, tales como: el acceso a los mercados y los servicios de extensión, la tenencia de la tierra, la educación y las redes sociales, la participación de los agricultores, e investigación e innovación: se encuentran estrechamente vinculados a las políticas nacionales y los marcos regulatorios. Sin embargo, la gran interrogante aquí es: ¿Son, hoy por hoy, estos marcos propicios para la adopción de prácticas de conservación de agua y suelos, y por lo tanto para la mejora de la productividad del agua en Centroamérica?

Esta sección busca resumir los análisis que surgieron de las discusiones de mesa redonda en cada uno de los tres países. Dichas mesas redondas asumieron la responsabilidad de llevar a cabo un detallado análisis del complejo grupo de principios, metas, reglas y directrices (marco de políticas) encargadas de orientar la planificación, inversión y desarrollo agrícola. En menor grado, las mesas redondas discutieron las oportunidades estratégicas, así como los obstáculos – legales, organizacionales, fiscales, de información, políticos y culturales – que tienen un impacto sobre la capacidad de desarrollar un entorno propicio.

### Amplio horizonte de políticas y legislación – pero sin vínculos

Los tres estudios de país revelaron un extendido conjunto de legislación y políticas dispersas en materia de conservación de agua y suelos. Éste comprende desde directivas para la implementación hasta acuerdos internacionales (por ejemplo, la Convención sobre cambio climático de la ONU) para orientar las políticas y la legislación nacional (por ejemplo, un Convenio sobre medio ambiente y recursos naturales, una Ley nacional de agua, una política para el manejo de recursos hídricos), o incluso legislación nacional indirecta tal y como la Ley para la organización, competencia y procedimientos del ejecutivo, o la Ley municipal en Nicaragua y las ordenanzas municipales. La participación de las partes interesadas se encuentra destacada hasta cierto grado dentro de estas leyes, reglamentos y políticas, pero no se encuentran vinculadas, haciendo que la participación sea un proceso de laberinto.

Más de una docena de instrumentos legislativos se encuentran actualmente activos en los tres países. Para el caso de El Salvador su implementación está siendo llevada a cabo por 27 instituciones. Por lo general, tanto la legislación como las políticas ofrecen directivas contradictorias en cuanto a la conservación natural de recursos y de la agricultura, y tienden a diluir las responsabilidades y duplicar esfuerzos. Esto puede generar problemas en la coordinación interinstitucional y exagerar las contradicciones o roces que pueden existir entre los sectores agrícolas y ambientales.

### Marcos legales no implementados o aplicados

La responsabilidad de la conservación de agua y suelos ha sido encargada a diferentes instituciones en los tres países. Cada institución varía en su habilidad de administrar las tareas relacionadas. Por ejemplo, el trabajo de conservación puede estar aislado del desarrollo agrícola como resultado de mecanismos de coordinación poco adecuados, la falta de fondos, vehículos y otros equipos

esenciales, así como la falta de experiencia, o recursos humanos debidamente capacitados (Centro Humboldt, 2011). La falta de personal altamente competente puede deberse a falta de inversión en educación y servicios de extensión lo cual podría explicar hasta cierto grado las bajas tasas de adopción de las prácticas de conservación de agua y suelos en Centroamérica. La falta de incentivos diseñados para atraer y retener personal capacitado en las áreas rurales contribuye adicionalmente a esta situación. El ambiente institucional se ve comprometido por reglamentos contradictorios, lo cual añade una capa más de frustración al trabajo que se realiza. Por ejemplo, las leyes para la protección forestal pueden llegar a ser un impedimento para la cosecha de productos forestales, lo cual puede desincentivar la adopción de las prácticas agroforestales.

## **Perspectivas de inversión a corto plazo y el enfoque del valle**

Naturalmente debido a que existe una gran variedad de leyes, existen también una amplia gama de conflictos de interés, muy a menudo en perjuicio de la conservación de suelos y agua. El enfoque actual radica en una serie de estrategias para el incremento de ingresos a corto plazo, y por ello, la inversión en prácticas de conservación de agua y suelos, las cuales son intervenciones a largo plazo, se pueden concebir como una pérdida de recursos. Habiéndosele dado prioridad a los cultivos de exportación como bananas/plátanos, piña, caña de azúcar, aceite de palma y melones en los últimos 50 años, los programas de desarrollo agrícola por lo general se han dado en valles más amplios, donde se cuenta con condiciones más favorables en materia de agua y suelos. Pero precisamente por lo anterior, es que las inversiones en la agricultura de secano en ladera por lo general se han visto muy descuidadas (Pelupessy & Ruben, 2000).

En términos públicos la inversión en agricultura ha experimentado un decrecimiento en todos los países del mundo desde la década de los ochenta. En El Salvador por ejemplo, el presupuesto nacional dedicado a la agricultura ha disminuido del 6.4% en 1984 a menos del 1.9% en 1999. En los últimos años, los niveles de inversión pública se han mantenido muy bajos, a pesar de que la agricultura contribuye un 12% al producto interno bruto de El Salvador. En Nicaragua, la mayoría de las inversiones provienen de la cooperación extranjera (Arauz, 2012).

## **Cambios frecuentes – Inestabilidad política**

Cambios frecuentes en el gobierno y las subsecuentes reorganizaciones de agendas y personal son muy disruptivos. Los programas de conservación de agua y suelos, debido a que esencialmente se trata de esquemas a largo plazo, son particularmente sensibles a este tipo de interrupciones. Las fluctuaciones hacen que la planificación a largo plazo sea imposible y que el personal experimentado termine migrando a otros sectores o instituciones. A nivel municipal, la implementación y aplicación sigue siendo un reto, debido a la falta de personal calificado.

## **Precaución en cuanto a los incentivos directos y la importancia de los incentivos indirectos**

Las políticas de incentivos son muy usadas para inducir cambios de comportamiento en grupos o individuos. Para motivar a los agricultores a adoptar nuevas técnicas y prácticas de agua y suelos, muchos gobiernos y organizaciones de desarrollo presentan incentivos directos tal y como pagos en efectivo por trabajo, subvenciones, subsidios, préstamos, así como pagos en especie, ayuda alimenticia (alimentos por trabajo) y herramientas agrícolas.

Uno de los mayores incentivos para una mejor gestión de la tierra (Almekinders, 2002) es un entorno propicio que cuenta con un acceso seguro a la tierra, las semillas, los mercados, los servicios profesionales de extensión y la educación. Estos programas de incentivos son, sin duda, esenciales y desempeñan un papel clave en la orientación de las decisiones de gestión de la tierra (Hellín y Schrader, 2003)

La falta de participación de los agricultores en el diseño de iniciativas de conservación de suelo y agua (CSA) es evidente en los documentos de proyecto. Hellín y Haigh (2002) señalan que, en Honduras, los agricultores muestran mayor preocupación por las plagas y la sequía que por la pérdida de suelo. En este contexto, los agricultores pueden sentir las recomendaciones de CSA como irrelevantes y rechazar las recomendaciones oficiales o abandonarlas una vez terminen los incentivos directos (Shaxson, 1997)

Asimismo, los incentivos directos pueden utilizarse al inicio de los proyectos de suelos y agua para mitigar los, a veces, altos niveles de inversión requeridos por las prácticas de conservación de suelos. Pueden compensar por el retraso en los beneficios económicos, los cuales pueden tomar muchos años para acumular. Los incentivos directos son en ocasiones utilizados como una compensación por los beneficios ex situ en cuanto a conservación que son disfrutados por la sociedad en general (Stocking & Tengberg, 1999). El concepto de pago por servicios para los ecosistemas está basado en la compensación para los agricultores que implementan prácticas de interés social, como por ejemplo, la reducción de la sedimentación agua abajo para lograr reservas más sanas, ecosistemas acuáticos y agua potable (Huszar, 1999; Rosa et al., 2004).

Hellin & Schrader (2003) describen los incentivos directos para obtener la participación de los agricultores en proyectos de conservación de agua y suelos como una poderosa herramienta de atracción, si bien calificada como un instrumento que deja sus dudas para obtener las metas de mediano y largo plazo para el uso sostenible de la tierra

y la gestión eficiente de recursos naturales. Los incentivos directos generan dependencia en las comunidades rurales (Bunch, 1982) y socavan los componentes claves del desarrollo humano, principalmente la toma de decisiones participativas, el empoderamiento de grupo y la experimentación de parte de los agricultores (Hinchcliffe et al., 1995; Steiner, 1996; Schrader, 2002). Por su parte, Hellin & Schrader (2003) mostraron en su análisis de proyectos de conservación de suelos en Honduras, que los agricultores tienden a abandonar la mayor parte de las de prácticas promocionadas cuando los incentivos directos llegan a su fin. La falta de participación de los agricultores en el diseño de iniciativas de conservación de suelo y agua (CSA) es evidente en los documentos de proyecto. Esta carencia desvela que se trabaja sobre suposiciones, que pueden estar fuera de lugar. Hellín y Haigh (2002) señalan que, en Honduras, los agricultores no parecen enormemente preocupados por la pérdida de suelo y que muestran mayor preocupación por las amenazas a la productividad de las plagas y enfermedades y la sequía. En este contexto, los agricultores pueden sentir las recomendaciones de CSA como irrelevantes y rechazar las recomendaciones oficiales o abandonarlas una vez terminen los incentivos directos (Shaxson, 1997)<sup>24</sup>. Los autores recomiendan que los programas de conservación de suelos y agua deben, siempre y cuando sea posible, evitar el uso de incentivos directos.

Almekinders (2002) resalta que uno de los grandes incentivos para las mejoras en la gestión de la tierra es propiciar un entorno que garantice acceso seguro a la tierra, semillas, mercados, servicios profesionales de extensión y educación. Precios favorables para insumos agrícolas y productos también es de esencial importancia. Estos aportan incentivos directos y pueden incluir medidas fiscales y legislativas como concesiones fiscales (Sanders & Cahill, 1999). Las organizaciones para el desarrollo tienden a ignorar los incentivos indirectos y suelen enfocarse en los incentivos directos, dado que los primeros suelen encontrarse fuera de su esfera de acción – excepto en aquellos casos

24 J. Hellin a, K. Schrader. "The case against direct incentives and the search for alternative approaches to better land management in Central America". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99 (2003) 61-81.

que apoyan la incidencia de los pequeños agricultores para un paquete de incentivos indirectos. Tales programas de incentivos son claramente esenciales; juegan un papel clave en la orientación de la toma de decisiones para la gestión de suelos.

## **La Necesidad de políticas integradas – El enfoque de sistema o cadena de valor**

La mejora en los sistemas de productividad del agua se ve influenciada tanto por las condiciones biofísicas como por las condiciones socio-político y económicas. Como fue discutido con anterioridad, es mucho más probable que las intervenciones técnicas sean adoptadas cuando los contextos institucionales, culturales y económicos de las comunidades beneficiarias son tomados en cuenta y apoyados por políticas facilitadoras (Peden et al., 2009). Las intervenciones biofísicas y socio-político y económicas no son mutuamente excluyentes, y de hecho interactúan el uno con el otro. Un enfoque integrado tiene mayor potencial de mejorar la productividad del agua en Centroamérica.

Un ejemplo de este enfoque puede verse en el sector cafetalero de Honduras. Las investigaciones revelaron que las políticas gubernamentales apoyaban toda la cadena de valor. Dicho enfoque prestó atención a resolver los aspectos legales tales como seguridad y tenencia de tierra, promover la organización local entre los productores, invertir en investigación y transferir tecnología a través de servicios de extensión mejorados. El enfoque incluyó la disponibilidad de financiamiento para todos los integrantes de la cadena de valor, desde la producción al procesamiento hasta llegar al mercadeo.

La organización Asociación Nacional de Café – ANACAFE es un caso de éxito, comprobándose la necesidad para, y el valor de, las acciones colectivas. El Instituto Hondureño del Café – IHCAFE-, fue reconocido por su investigación de recursos genéticos (nuevas variaciones), la gestión de cultivos, el control de procesos y calidad, así como por brindar asistencia técnica y servicios de extensión. A su vez, la distribución legal de títulos de propiedad sentó las bases en cuanto a inversión y disponibilidad de créditos y el Banco Hondureño de Café (BANHCAFE) fue clave para apoyar transacciones e inversiones. Todos estos componentes trabajando en conjunto, se constituyeron en una política de estímulo y un marco institucional sólido. Al apoyar todos estos componentes combinados, uno de los sectores agrícolas más importantes en Honduras se vio fortalecido.

## **Es esto suficiente – ¿Qué se necesita en el futuro?**

En el futuro, las políticas integradas, las inversiones e instituciones sostenidas, así como la innovación serán esenciales para garantizar que la agricultura pueda satisfacer la creciente demanda alimenticia global y responder a los cambios, retos y oportunidades siendo enfrentados por la agricultura de secano en Centroamérica. Mayor inversión en investigación y desarrollo de parte del sector público, así como en extensión, educación y los vínculos entre estos, son críticos para crear el tan necesitado entorno propicio para la creatividad y la escala.

Toda innovación está relacionada a una fuerte capacidad de investigación y desarrollo, a acciones colectivas coordinadas, al intercambio de conocimiento entre los diversos actores, y a los incentivos y recursos para formar asociaciones y empresas. Los sistemas innovadores son críticos para

Según algunos estudios (Bunch, 1982), los incentivos directos generan dependencia (externa) en las comunidades rurales.

En diferentes experiencias de la región se comprueba que la mejora en los sistemas de productividad del agua se ve influenciada tanto por las condiciones biofísicas como por las condiciones socio-políticas y económicas.

Centroamérica. No existe una hoja de ruta ya lista para lograr que se dé esta innovación agrícola, sin embargo, está muy claro que si la agricultura de secano quiere florecer en Centroamérica, es vital un enfoque integrado.

## 8. Comentarios finales

Incrementar la productividad del agua será el objetivo estratégico más importante para la agricultura centroamericana en el futuro. Los sistemas de agricultura de secano tendrán que hacer frente al incremento en la demanda de productos mientras las cambiantes condiciones climáticas agravan la disponibilidad y distribución de agua a lo largo de los ciclos de cultivo.

La presente revisión de la literatura reveló un potencial considerable para incrementar la productividad del agua en Centroamérica mediante prácticas de gestión que ayudarían a incrementar la infiltración de las precipitaciones, con el objeto de lograr una mejora en la retención de agua, evitar la pérdida de agua por evaporación y maximizar la transpiración de las cubiertas vegetales para un incremento en la producción de biomasa y rendimientos. Dada la baja productividad agrícola que la región se encuentra experimentando actualmente, cualquier incremento en el rendimiento, por menor que sea, tendrá un impacto significativo en la seguridad alimentaria y el subsecuente alivio de la pobreza.

### **Liberación del potencial de la productividad del agua al mejorar las prácticas**

Durante las entrevistas de campo que se llevaron a cabo para la elaboración del presente informe, fueron identificadas una serie de prácticas agronómicas, vegetativas y estructurales interrelacionadas para el manejo de suelos y agua. Son pasos esenciales para mejorar la productividad del agua. Y para que lleguen a su pleno potencial, lo más recomendable es combinarlas y repetirlas a lo largo de múltiples períodos productivos, lo cual requiere de un enfoque integrado en el manejo de fincas. Esta combinación de prácticas definitivamente ayuda a liberar su pleno potencial. Las interacciones e interdependencias entre las prácticas en sí y los ecosistemas en los cuales son aplicadas deben ser bien comprendidas.

Si bien cada una de las prácticas es relativamente fácil de implementar, su aplicación oportuna, según las condiciones específicas correspondientes a cada ubicación, requieren un conocimiento a fondo, planificación y adaptación. Dependen en gran medida de condiciones específicas según el lugar, las condiciones climáticas o de suelos y la especie de planta con la que se esté trabajando, factores que no siempre son bien comprendidos por los agrónomos que brindan asistencia técnica a los agricultores.

En el caso de las prácticas vegetativas, a pesar de que los beneficios son ampliamente conocidos, su potencial está lejos de ser plenamente desarrollado. La implementación errática de prácticas mucho más complejas, como el intercalado, revela serias lagunas en el conocimiento de las plantas

en sí, la variedad de sus características, las condiciones climáticas y de suelos y las capacidades de gestión. Se requiere una cuidadosa planificación para asegurarse de que los cultivos no están compitiendo unos con otros por espacio físico, nutrientes, agua o luz del sol.

Las prácticas estructurales regulan la escorrentía durante las precipitaciones de mayor intensidad y prácticamente son consideradas un enfoque estratégico para la mejora en la productividad del agua en Centroamérica. Las técnicas ayudan a incrementar la infiltración del agua, la cosecha y almacenaje del agua para su uso durante períodos secos y para expandir la producción durante la estación seca. Estas y otras prácticas estructurales sirven para ayudar a los agricultores a reducir los riesgos relacionados con el agua, presentados por la gran variación en las precipitaciones. Sin embargo, las mismas requieren no sólo de una inversión para construir o implementar, sino también un mantenimiento constante. Muy probablemente cambiarán el ciclo hidrológico del campo y afectarán las relaciones agua arriba y agua abajo. De nuevo cabe destacar lo esencial de una cuidadosa planificación y constante monitoreo y mediciones (datos, información y conocimiento).

## **Entender y administrar los sistemas agrícolas**

Las prácticas de gestión de agua y suelos son mejor comprendidas dentro de una perspectiva de sistemas. El presente documento se enfocó en los tres sistemas (agroforestería, agricultura de conservación y sistemas mixtos agropecuarios) más comúnmente considerados con mayor potencial para la mejora de la productividad hídrica en la agricultura de secano, y que de hecho han sido promovidos intensamente a lo largo de la última década en Centroamérica.

Corroborando las ideas y percepciones de la aplicación de estas prácticas, los sistemas de agroforestería deben ser diseñados para cada ambiente (tomando en cuenta el clima, suelos, situación socioeconómica de cada finca, capacidades de gestión) de manera que se pueda mejorar el uso de los recursos hídricos. De no manejarse bien un sistema de agroforestería de igual forma que un sistema agrícola o forestal, puede llevar a múltiples interacciones competitivas entre sí y terminar socavando el uso eficiente del agua. Los sistemas de cultivos arbóreos suelen ser dinámicos en sus interacciones a lo largo del tiempo, exigiendo ajustes en su administración. Pero dados los potenciales beneficios que los sistemas agroforestales ofrecen respecto a la productividad del agua, resulta crucial comprender que estos sistemas realmente apuntan al diseño de sistemas específicos para cada ubicación y directrices de gestión.

Una complejidad similar puede verse en la agricultura de conservación. No se trata de una única tecnología sino más bien de una o más tecnologías que se fundamentan en uno o más de los tres principios cardinales de la agricultura de conservación. La agricultura de conservación hace mejor su trabajo de mejorar la productividad del agua cuando las tres características están combinadas. Y a pesar de que las investigaciones científicas de todo el mundo muestran que, efectivamente, se ve mejorada la productividad del agua en la agricultura de conservación, su potencial y sus beneficios reales no son comprendidos del todo, como tampoco lo son las interacciones sinérgicas entre los varios componentes de este tipo de agricultura. La mayor parte de la evidencia científica, en cuanto a agricultura de conservación, proviene de haciendas de mayor tamaño, mecanizadas y dependientes de combustibles. Por lo tanto, se hace necesario realizar estudios adicionales en los ambientes de laderas existentes en Centroamérica con el objeto de identificar principios de implementación específicos según la ubicación.

Los sistemas mixtos agropecuarios añaden otra capa de complejidad a la gestión de haciendas, integrando animales al sistema agrícola. Estos sistemas representan el nivel más alto de integración entre los sistemas agrícolas y ofrecen beneficios tales como una mayor eficiencia económica así como una exposición reducida a los mercados y riesgos climáticos. A pesar de que suelen ser muy comunes en la región, falta conocimiento y también faltan puntos de referencia en relación con la productividad del agua cuando se trata de ganado y de productividad general del agua en estos complejos sistemas centroamericanos. Es evidente que para obtener una mejora en la productividad del agua, en los sistemas mixtos agropecuarios, se requieren habilidades administrativas de más alto nivel. Ahora bien, los sistemas de investigación, educación y extensión en Centroamérica – y de hecho en todo el mundo– no son capaces de brindar la información requerida, el conocimiento ni las directrices prácticas necesarias para la toma de decisiones sólidas en lo referente a intervenciones específicas.

Siguiendo el estilo de los sistemas de producción agrícola en regiones templadas, que tienden a hacer énfasis en las operaciones industrializadas y altamente especializadas, los planificadores de desarrollo y legisladores tienden a separar los cultivos de la producción de ganado. Las inversiones en agricultura suelen enfocarse en bienes y en partes del sistema agrícola, en lugar de entender que la agricultura es un todo interconectado. Y cabe destacar que los sistemas complejos e interconectados, precisamente por su diversidad, tienden a ofrecer mejores soluciones para los retos que se anticipan en el futuro. La agricultura mixta requiere una comprensión integral de las interacciones y funciones combinadas, en lugar de sólo de los beneficios de una de sus partes, por ejemplo granos, leche, suelos, biofísica o incluso los aspectos sociales.

## **Después de años de promoción, las tasas de adopción siguen siendo bajas**

En el presente documento, la adopción de nuevas prácticas ha sido descrita como una función que dependerá de las condiciones específicas en cuanto a ubicación, el sistema de producción que se emplea, las metas del agricultor, sus prioridades y el conocimiento y habilidades de gestión requeridas para poder manejar prácticas y sistemas muy complejos. Dada la actual situación en cuanto a educación, investigación, innovación, extensión y capital humano en Centroamérica, no es de sorprender que la adopción de estas prácticas, que requieren tal grado de “conocimiento y habilidades de gestión”, se haya quedado rezagada. En los tres países estas prácticas se encontraron casi exclusivamente en pequeñas parcelas de muestra y distribuidas entre diferentes proyectos y áreas geográficas.

El ambiente heterogéneo y diverso de las laderas de Centroamérica presenta un reto para los sistemas de investigación y extensión, cuando se trata de armonizar las prácticas con las condiciones de los lugares donde pretenden ser implementadas. Y promover esta adaptación no sólo requiere de una gran cantidad de información y conocimiento sobre principios agronómicos y agroecológicos, avanzadas habilidades de comunicación y tiempo, sino también una comprensión profunda de las condiciones locales, que únicamente los agricultores en cada ubicación pueden brindar. Por lo tanto, se requiere una amplia participación de los agricultores. Por el contrario, los recurrentes esfuerzos para promover e implementar enfoques iguales para todos son lo que se asocia con tasas muy bajas de adopción y de cambio de comportamientos.

## La necesidad de un enfoque estratégico nuevo: Construcción de la diversidad

La importancia central de la gestión de suelos en las mejoras de la productividad del agua exige una nueva forma de pensar. Los enfoques en cuanto a la conservación de suelos deben ser revisados. El régimen exclusivamente prescriptivo de “ingeniería” de intervenciones técnicas, centrado por lo general en estructuras, movimientos de tierra y métodos para controlar la escorrentía y la erosión, han fallado persistentemente (Critchley, 1991). El enfoque de desarrollo sostenible de los 90 trajo consigo una nueva dirección estratégica, no sólo para la conservación de suelos sino también para el desarrollo rural (Hurni et al., 1996), promoviendo una visión a largo plazo que incluyó nociones como la autosuficiencia (Pretty, 1995), conocimiento local (Reij et al., 1996) y manejo de la tierra (Roose, 1996). Lo anterior fue un intento de desarrollar un enfoque más integral para lidiar con la gestión de la tierra y los problemas de suelos. A pesar de que existe abundante experiencia con estos enfoques para la conservación de suelos, tan sólo desde el punto de vista de transferencia de tecnología, ninguno de ellos ha cumplido con su promesa inicial. Ninguno ha sido asimilado y apropiado suficientemente por los clientes finales de la conservación de suelos, quienes son los propios usuarios de la tierra, los agricultores (Stocking, 2002).

Por ello, Stocking (2002) sugiere aprovechar la enorme diversidad encontrada en los sistemas de secano de pequeños agricultores, como los que existen en Centroamérica. Los agricultores a pequeña escala utilizan pequeñas variaciones locales en cuanto a tierra, microclimas y condiciones de agua para producir una gran variedad de productos agrícolas. Comúnmente descrito como tradicional, este panorama agrícola es muy dinámico; los resultados de los aprendizajes y experimentos se encuentran en todas partes del mundo. A su vez es de crucial importancia el dinamismo interno de los pequeños sistemas agrícolas que engendran un mosaico constantemente cambiante de complejas y dinámicas relaciones entre las personas, las plantas y el ambiente.

Stocking argumenta que la diversidad nos aleja de las soluciones universalistas y bien mapeadas, que por lo general son rechazadas, no porque estén equivocadas sino por la vasta heterogeneidad del uso de la tierra y de sus condiciones y circunstancias. Un buen ejemplo de diversidad son las 220 asociaciones de agroforestería documentadas por Guo y Padoch (1995) entre comunidades de minorías étnicas en ocho prefecturas de Yunnan, en el suroeste de China. No existe una práctica única que funciona para todas estas asociaciones y de hecho, son mucho más fuertes ya que tuvieron la oportunidad de aprender de las adaptaciones particulares que cada una de ellas tuvo que hacer.

La diversidad de prácticas incorpora la vasta gama de conocimiento y experiencias de los agricultores que se encuentran lidiando con la degradación ambiental. Las aplicaciones locales son el producto de muchas influencias que han sido intentadas, probadas y adaptadas. Hay muchos tipos de intervenciones, a diferentes escalas, tanto espacial como temporal y que son apropiados para diferentes circunstancias y problemas. Esta variedad de intervenciones debe ser entendida y apreciada por cada agricultor, su familia, las comunidades locales, los concejos de distrito y los políticos nacionales e internacionales.

Una diversidad de prácticas tiene mayor potencial de hacer a los sistemas de uso de la tierra más resilientes, y por lo tanto más sostenibles. La diversidad brinda una amplia gama de soluciones para el uso de suelos que ayudan a lidiar con fuerzas externas tales como el cambio climático, el crecimiento de la población y la recesión económica. Debido a que estas amenazas son también muy diversas, los agricultores deben tener varias soluciones disponibles, las cuales se obtienen mediante la diversificación y no mediante la especialización.

Brookfield (2001) utiliza el término “agrodiversidad” para describir todas las formas y aspectos de la diversidad encontrada en los sistemas de agricultura a pequeña escala en el trópico. La agrodiversidad ha sido definida como una de las muchas formas mediante las cuales los agricultores usan la diversidad natural del ambiente para la producción, incluyendo su elección de cultivos, tierra, agua y sistemas de gestión de la flora y la fauna del lugar (biota).

La agrodiversidad marcha en dirección opuesta a la idea de que hay tecnologías que, si son promovidas adecuadamente, resolverán los principales problemas ambientales y de desarrollo - seguridad alimentaria, cambio climático, pérdida de biodiversidad y degradación de suelos. La agrodiversidad no puede ser fácilmente diseccionada, explicada o entendida. Las interconexiones y relaciones son complicadas y su naturaleza, constantemente cambiante, no es fácilmente resumida en un libro de texto para ser promovidas e implementadas. La agrodiversidad nos induce a que creamos que hay muchas soluciones y variedades de opciones. Esto significa que el enfoque más apropiado en cuanto a la conservación de suelos puede variar no sólo de lugar a lugar, sino de hogar a hogar y de individuo a individuo (Stocking, 2000).

## Ampliación de la discusión

Los resultados de este informe apoyan la tesis de Stocking. Sin embargo, ¿existe el suficiente conocimiento sobre agrodiversidad en Centroamérica? La investigación llevada a cabo para este documento reveló que de hecho existía una falta de información y de datos en materia de suelos, agua, parámetros económicos y de producción, así como de adopción, efectividad y eficiencia en cuanto a las prácticas para mejorar la productividad del agua. Como consecuencia de esto no todas las preguntas hechas con motivo de este documento pudieron recibir respuesta. Es un gran reto entender las diferentes interacciones que se dan entre parcelas y campos, cuencas y escalas regionales. La complejidad de las demandas de la agrodiversidad exige capacidades muy específicas de sofisticación y capacidad de gestión. Lamentablemente la falta de inversión en educación básica y secundaria así como la formación técnica, ha obstaculizado mucho el aprendizaje.

Ser capaz de responder a todas las preguntas presentadas en este informe será decisivo para darse cuenta del gran potencial que tiene Centroamérica para mejorar la productividad del agua y para lograr que la agricultura de secano prospere. Se necesita de una discusión a fondo entre agricultores, gobiernos, la comunidad dedicada al desarrollo y la investigación, las agencias de cooperación y el sector privado sobre cómo alcanzar esta meta de manera integral e inteligente y sin olvidar la necesidad de abordar las diferentes condiciones de las laderas en Centroamérica. Asegurarse de que existe una documentación extensa, una investigación aplicada y un constante aprendizaje son los primeros pasos, pero aún faltan muchos otros por definir.

Las prácticas vegetativas, a pesar de sus reconocidos beneficios, no se ha desarrollado plenamente su potencial. Se requiere una cuidadosa planificación para asegurarse de que los cultivos no están compitiendo unos con otros por espacio físico, nutrientes, agua o luz del sol.

La implementación de una diversidad de prácticas tiene mayor potencial para la resiliencia y la sostenibilidad.

Asegurarse de que existe una documentación extensa, una investigación aplicada y un constante aprendizaje son los primeros pasos, pero aún faltan muchos otros por definir.



# Bibliografía





- ACT – African Conservation Tillage Network 2010. Jab Planter user manual. Available at: [http://teca.fao.org/sites/default/files/technology\\_files/jab%20planter.pdf](http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/jab%20planter.pdf). (Accessed on 19/09/2014)
- Adesina, A. & Zinnah, M. 1993. Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics* 9: 297-311
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guideline for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Natural Resources Management and Environment Department. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 174 p.
- Almekinders, C. 2002. Incentive measures for sustainable land use and conservation of agrobiodiversity. Proceedings of the workshop on experiences and lessons from Southern Africa, Lusaka, Zambia, 11–14 September 2001. Southern African Development Community Plant Genetic Resources Centre (SPGRC). Lusaka, Zambia. 172 p.
- Al-Kaisi, M. & Yin, X. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal* 95:1475-1482.
- Alvarez, R. & Steinbach, H. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine pampas. *Soil and Tillage Research* 104(1): 1-15.
- Amado, T., Fernández, S.B. & Mielniczuk, J. 1998. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. *Journal of Soil and Water Conservation* 53(3): 268-271.
- Anderson, I.M. & Burton, M. 2009. Best practices and guidelines for water harvesting and community based (small scale) irrigation in the Nile basin. Water Harvesting Report. Nile Basin Initiative - Efficient Water Use for Agricultural Production Project (EWUAP), Kent, UK. 35 p.
- Anderson, S., Gündel, S., Pound, B. & Triomphe, B. 2001. Cover crops in smallholder agriculture: lessons from Latin America. ITDG Publishing, London, UK. 136 p.
- Antle, J.M., Stoorvogel, J. & Valdivia, R. 2007. Assessing the economic impacts of agricultural carbon sequestration: Terraces and agroforestry in the Peruvian Andes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122(4): 435-45.
- Aragão Pereira, M. 2011. Understanding adoption and non-adoption of technology: a case study of innovative beef farmers from Mato Grosso do Sul State, Brazil. Ph.D. thesis. Lincoln University Digital Thesis. New Zealand. 334 p.
- Arauz, A. 2012. Análisis de la cooperación oficial externa al sector agropecuario y forestal, con énfasis a los fondos fuera del presupuesto del gobierno de Nicaragua. Informe del proyecto: Nicaragua-estudio de gasto público del sector agropecuario y forestal. World Bank, Managua, Nicaragua. 67 p.
- Argueta, O., 2000. Valoración de la acequia de ladera como alternativa para el uso sostenible de los suelos en El Salvador. Thesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 144 p.
- Ashby, J.A., Beltrán, J., Guerrero, M. & Ramos, H. 1996. Improving the acceptability to farmers of soil conservation practices. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(4): 309-312.
- Astier, M., Maass, J., Etchevers-Barra, J., Pena, J. & González, F. 2006. Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. *Soil and Tillage Research* 88(1): 153-159.
- Baltodano M.E. & Mendoza, R.B. 2007. Evaluación y cuantificación de los efectos productivos y ambientales del sistema agroforestal Quesungual. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Managua, Nicaragua, 26 p.
- Barron, J. 2012. Soil as a water resource: Some thoughts on managing soils for productive landscapes meeting development challenges. Wageningen UR Open Journal thematic issue. Available at: <http://library.wur.nl/ojs/index.php/AE2012> (Accessed on 19/09/2014).

- Batz, F. J., Peters, K. J., & Janssen, W. 1999. The influence of technology characteristics on the rate and speed of adoption. *Agricultural Economics* 21: 121-130.
- Baudron, F., Tittonell, P., Corbeels, M., Letourmy, P., & Giller, K. 2012. Comparative performance of conservation agriculture and current smallholder farming practices in semi-arid Zimbabwe. *Field Crops Research* 132: 117-128.
- Beekman, G., Cruz Majluf, S., Espinoza, N., García Benevente, E., Herrera Toledo, C., Medina Hidalgo, D., Williams, D. & García-Winder, M. 2014. Water to feed the land. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), San Jose, Costa Rica. 100 p.
- Blanco-Canqui, H., Mikha, M., Benjamin, J., Stone, L., Schlegel, A., Lyon, D., Vigil, M. & Stahlman, P. 2009. Regional study of no-till impacts on near-surface aggregate properties that influence soil erodibility. *Soil Science Society of America Journal* 73(4): 1361. doi:10.2136/sssaj2008.0401.
- Blümmel, M., Samad, M., Singh, O.P. & Amede, T. 2009. Opportunities and limitations of food-feed crops for livestock feeding and implications for livestock water productivity. *The Rangeland Journal* 31: 207-212.
- Bolaños, J. 1995. Productividad con conservación: Estrategias para la producción sostenible de maíz de laderas. In: Sain, G., Miranda B., Rivera, J. Choto de Cerna, C. (eds.). Taller de productividad y conservación de los recursos en la agricultura de laderas. San Jose, Costa Rica. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 98 p.
- Borhom, T. 2001. Studies on water requirements for some crops under different cropping systems. M. Sc. Thesis. Agriculture Faculty, University of Cairo, Egypt. 132 p.
- Bot, A. & Benitez, J. 2005. The importance of soil organic matter. Key to drought resistant soil and sustained food and production. *FAO Soils Bulletin* 80. Land and Plant Nutrition Management Service, United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 95 p.
- Bouman, B. 2007. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. *Agricultural Systems* 93: 43-60.
- Braun, A. 2003. The Farmer Research Group (CIAL) as a community based natural resource management organization. In: Pound, B., Snapp S., McDougall, C. & Braun, A. (eds.). *Managing natural resources for sustainable livelihoods - uniting science and participation*. Earthscan, London & International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada. p. 194-196.
- Bravo-Ureta, B., Cocchi, H., Solís, D. & Rivas, T. 2003. Un análisis comparativo de tres proyectos de manejo de cuencas en América Central: Informe final. Inter-American Development Bank. Washington D.C., USA. 164 p.
- Breman, H., Groot, J. & van Keulen, H. 2001. Resource limitations in Sahelian agriculture. *Global Environmental Change* 11 (1): 59-68.
- Brenner, A.J. 1996. Microclimate modifications in agroforestry. In: Ong, C.K. & Huxley, P.A. (eds.). *Tree-crop interactions. A physiological approach*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 156-186.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. Columbia University Press, New York. 608 p.
- Buckles, D., Triomphe, B. & Sain, G. 1998. Cover crops in hillside agriculture: Farmer innovation with Mucuna. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada & International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico. 218 p.
- Bunch, R., 1982. Two ears of corn. A guide to people-centered agricultural improvement. World Neighbors, Oklahoma City, USA. 24 p.
- Cajina Canelo, M. & Faustino, J. 2007. Alternativas de captación de agua, la esperanza de mejores cosechas y la Conservación ambiental: cogestión de actores locales y acción colectiva en la subcuenca del río Aguas Calientes,

- Nicaragua. Technical report. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 44 p.
- Castro, A., Rivera, M., Ferreira, O., Pavón, J., García, E., Amézquita, E., Ayarza, M., Barrios, E., Rondón, M., Pauli, N., Baltodano, M.E., Mendoza, B., Wélchez, L. & Rao, I. 2009. Quesungual slash and mulch agroforestry system (QSMAS): Improving crop water productivity, food security and resource quality in the sub-humid tropics. CPWF Project Report. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia. 76 p.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2000. Resultados de validaciones: Cultivos en callejones y acequias de ladera. San Salvador, El Salvador. 40 p.
- Centro Humboldt, 2011. Balance Nacional de la Gestión Ambiental en Nicaragua. Report. Centro Humboldt, Managua, Nicaragua. 33p.
- Coleman, S.W. & Moore, J.E. 2003. Feed quality and animal performance. *Field Crops Research* 84: 17-29.
- Cong Tu, Ristaino, J. & Shuijin Hu 2006. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. *Soil Biology and Biochemistry* 38(2): 247-255.
- Corbeels, M., Sakyi, R.K., Kühne, R.F. & Whitbread, A. 2014. Meta-analysis of crop responses to conservation agriculture in sub-Saharan Africa. CCAFS Report No. 12. Copenhagen: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CAAFS). 20 p. Available online at: [www.ccafs.cgiar.org](http://www.ccafs.cgiar.org) (Accessed on 19/09/2014).
- Cramb, R.A. 2000. Processes influencing the successful adoption of new technologies by smallholders. In: Stür, W., Horne, P., Hacker, J.B. & Kerridge, P. (eds.). *Working with farmers: The key to adoption of forage technologies*. ACIAR Proceedings Series Report 95. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia. pp.11-22.
- Critchley, W & Gowing, J. 2012. Introduction. In: Critchley, W. & Gowing, J. (eds.). *Water Harvesting in Sub-Saharan Africa*. Earthscan, London, UK. pp. 1-9.
- Critchley, W. 1991. New approaches to soil and water conservation. *ILEIA Newsletter* 7: 1/2
- Critchley, W. & Siegert, K. 1991. *Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for Plant Production*. Natural Resources Management and Environment Department, United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. Italy. AGL/MISC/17/91. Available at: [www.fao.org/docrep/U3160E/U3160E00.htm#Contents](http://www.fao.org/docrep/U3160E/U3160E00.htm#Contents) (Accessed on 19/09/2014).
- Current, D., Lutz, E. & Scherr, S. 1995. The costs and benefits of agroforestry to farmers. *The World Bank Research Observer* 10(2): 151-180.
- Dabney, S., Delgado, J. & Reeves, D. 2001. Using winter cover crops to improve soil quality and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:1221-1250.
- Dalianis, C., Alexopoulou, E., Dercas N. & Sooter, C. 1996. Effect of plant density on growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum in Greece. In: Chartier P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. & Winblad, M. (eds.). *Biomass for Energy and Environment*. Proceedings of 9th European Biomass Conference. Pergamon Press, Oxford, UK. pp.582-587.
- De Herrera, A.P., & Sain, G. 1999. Adoption of maize conservation tillage in Azuero, Panama. Working Paper No. 7696. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Texcoco, Mexico. 34 p.
- Deininger, K., Zegarra, E. & Lavadenz, I. 2003. Determinants and impacts of rural land market activity: Evidence from Nicaragua. *World Development* 31: 1385-1414
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A. & Li, H. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*: 3(1): 1-25.

- Derpsch, R., Sideras, N. & Roth, C. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Tillage Research* 8: 253-263.
- Descheemaeker, K., Amede, T. & Haileslassie, A. 2010. Improving water productivity in mixed crop–livestock farming systems of sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management* 97: 579-586.
- Devendra, C. & Thomas, D. 2002. Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. *Agricultural Systems* 71: 27-40.
- Ellis-Jones, J., & Mason, T. 1999. Livelihood strategies and assets of small farmers in the evaluation of soil and water management practices in the temperate inter-andean valleys of Bolivia. *Mountain Research and Development* 19(3): 221-34.
- El-Osta, H. S., & Morehart, M. J. 2002. Technology adoption and its impact on production performance of dairy operations. *Review of Agricultural Economics* 22 (2): 477-498.
- Erenstein, O., Sayre, K., Wall, P., Hellin, J. & Dixon, J. 2012. Conservation agriculture in maize- and wheat-based systems in the (sub) tropics: Lessons from adaptation initiatives in South Asia, Mexico, and Southern Africa. *Journal of Sustainable Agriculture* 36(2): 180-206.
- Farahani, H. J., Howell, T. A., Shuttleworth, W. J. & Bausch, W. C. 2007. Evapotranspiration: Progress in measurement and modeling in agriculture. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50:1627-1638.
- Falkenmark, M., Fox, P., Persson, G. & Rockström, J. 2001. Water harvesting for upgrading of rainfed agriculture: Problem analysis and research needs. SIWI Report 11. Stockholm International Water Institute (SIWI), Stockholm Sweden. 94 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 1993. Soil tillage in Africa. Needs and Challenges. FAO Soil Bulletin No. 69. Natural Resources Management and Environment Department, United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 190 p. Available at: <http://www.fao.org/docrep/t1696e/t1696e00.HTM> (Accessed on 19/09/2014).
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 1994. Water harvesting for improved agricultural production. Proceedings of the Food and Agricultural Organization of the UN (FAO) Expert Consultation, November 1993. Cairo, Egypt. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. pp. 301-314
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin 8. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 214 p.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2001. Conservation Agriculture: Case Studies in Latin America and Africa. FAO Soils Bulletin 78. Natural Resources Management and Environment Department, United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 66 p.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2009. World agriculture toward 2030/2050: how to feed the world in 2050 (on line). United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. Available at: [www.fao.org/economic/esa/esag/esag-papers/en/](http://www.fao.org/economic/esa/esag/esag-papers/en/) (Accessed on 19/09/2014).
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2011. The state of the world's water resources for food and agriculture: managing systems at risk. Summary report (on line). United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. Available at: [www.fao.org/nr/water/docs/SOLAW\\_EX\\_SUMM\\_WEB\\_EN.pdf](http://www.fao.org/nr/water/docs/SOLAW_EX_SUMM_WEB_EN.pdf) (Accessed on 19/09/2014).
- Feder, G. & Slade, R. 1986. A comparative analysis of some aspects of the training and visit system of agricultural extension in India. *Journal of Development Studies* 22(2): 409-428.

- Feder, G. & Umali, D. 1993. The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change* 43: 215-239.
- Feder, G., Just, R. & Zilberman, D. 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change* 33: 255-298.
- Franchini, J., Debiassi, H., Balbinot, H., Tonon, B., Farias, J., Oliveira, M. & Torres, E. 2012. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in Southern Brazil. *Field Crops Research* 137: 178-185.
- Fujisaka, S., Holmann, F., Peters, M., Schmidt, A., White, D., Burgos, C., Ordoñez, J.C., Mena, M., Posas, M.I., Cruz, H., Davis, C. & Hincapié, B. 2005 Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales* 27(2): 73-92
- Gámez, L.A. 2006. Monitoreando las inversiones se cuantifican los servicios ambientales. *Revista Laderas Centroamericana* 23: 23-29.
- Garforth, C., Angell, B., Archer, J., & Green, K. 2003. Fragmentation or creative diversity? Options in the provision of land management advisory services. *Land Use Policy* 20: 323-333.
- Gaballah, M. S. & Ouda, S. A. 2008. Effect of water stress on the yield of soybean and maize grown under different intercropping patterns. Twelfth International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt. Water Technology Association (WTA), Cairo, Egypt. 14 p.
- Giller, K., Witter, E., Corbeels, M. & Tittonell, P. 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crops Research* 14: 23-34.
- Gündel, S. 1998. Participatory innovation development and diffusion: adoption and adaption of introduced legumes in the traditional slash-and-burn peasant farming system in Yucatan, Mexico. GTZ, Eschborn, Germany. 79 p.
- Guo Huijun & Padoch, C. 1995 Patterns and management of agroforestry systems in Yunnan. *Global Environmental Change* 5(4): 273-279.
- Guto, S., Pypers, P., de Ridder, N., Vanlauwe, B. & Giller, K. 2011. Socio-ecological niches for minimum tillage and crop-residue retention in continuous maize cropping systems in smallholder farms of Central Kenya. *Agronomy Journal* 103: 1-11.
- Hansen, D., Erbaugh, J. & Napier, T. 1987. Factors related to adoption of soil conservation practices in the Dominican Republic. *Journal of Soil and Water Conservation* 42(5): 367-369.
- Hatfield, J.L., Sauer, T.J. & Prueger, J. H. 2003. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy Journal* 93: 271-280.
- Hatibu, N., Young, M.D.B., Gowing, J.W., Mahoo, H.F., & Mzirai, O.B. 2003. Developing improved dryland cropping systems for maize in semi-arid Tanzania. Part 1: Experimental evidence of the benefits of rainwater harvesting. *Journal of Experimental Agriculture* 39 (3): 279-292.
- Haycock, N., Burt, T., Goulding, K. & Pinay, G. (eds.) 1997. Buffer zones: Their processes and potential in water protection. Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, Oxford, UK, September 1996. Hancock Associated Limited, St. Albans, Herts, UK. 326 p.
- Hellin, J. & Schrader, K. 2003. The case against direct incentives and the search for alternative approaches to better land management in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99: 61-81.
- Hendrickson, J.R., Hanson, J.D., Tanaka, D.L. & Sassenrath, G.F. 2008. Principles of integrated agricultural systems: introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23: 265-271.

- Herrero, M., Thornton, P.K., Gerber, P. & Reid, R.S. 2009. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1: 111-120.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Mwangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy Rao, P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., & Rosegrant, M. 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop–livestock systems. *Science* 327: 822-825
- Hillel, D. 2008. *Soil in the environment – crucible of terrestrial life*. Elsevier, London. 307 p.
- Hinchcliffe, F., Guijt, I., Pretty, J. & Shah, P. 1995. *New horizons: the economic, social and environmental impacts of participatory watershed development*. Vol. 50. Gatekeeper Series, International Institute for Environment and Development, London. 20 p.
- Hobbs, P. R. 2007. Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *Journal of Agricultural Science*: 145: 127-137.
- Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, R. D., Burgos, C., Perez, E., Ramírez, G. & Medina, A. 2004a. ¿Vale la pena recuperar pasturas degradadas? Una evaluación de los beneficios y costos desde la perspectiva de los productores y extensionistas pecuarios en Honduras. Documento de Trabajo No. 196. Central International de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 34 p.
- Holmann, F., Rivas, L., Argel, P.J. & Perez, E. 2004b. Impact of the adoption of *Brachiaria* grasses: Central America and Mexico. *Livestock Research for Rural Development* 16 (12). Online journal. Available at: <http://www.lrrd.org/lrrd16/12/holm16098.htm> (Accessed on 19/09/2014).
- Howley, P., Donoghue, C. & Heanue, K. 2012. Factors affecting farmers' adoption of agricultural innovations: A panel data analysis of the use of artificial insemination among dairy farmers in Ireland. *Journal of Agricultural Science* 4(6): 171-179
- Hudson, N. 1987. *Soil and water conservation in semi-arid areas*. Soil Resources, Management and Conservation Service Publication 57. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 185 p.
- Hudson, N. 1995. *Soil conservation*. 3rd edition. Iowa State University Press, Ames, USA. 391 p.
- Humphries, S., Gallardo, O., Jimenez, J., & Sierra, F. 2005. Linking small farmers to the formal research sector: lessons from a participatory bean breeding program in Honduras. *Agricultural Research & Extension Network Paper No. 142*. The Overseas Development Institute (ODI), London, UK. 16 p.
- Hurni, H. & ten other international contributors 1996. *Precious earth: From soil and water conservation to sustainable land management*. Centre for Development and Environment, University of Bern, Switzerland. 87 p.
- Huszar, P., 1999. Justification for using soil conservation incentives. In: Sanders, D., Huszar, P., Sombatpanit, S., & Enters, T. (eds.). *Incentives in soil conservation: From theory to practice*. Oxford & IBH Publishing, New Delhi. pp. 57–68.
- Ibrahim, M. 2013. Pasado, presente y futuro de los sistemas silvopastoriles en América Latina. (Online document). Available at: [http://www.iica.int/Esp/regiones/andina/colombia/Documents%20de%20la%20Oficina/TallerGanaderia/4%20SPS\\_MUHAMMAD\\_Colombia.pdf](http://www.iica.int/Esp/regiones/andina/colombia/Documents%20de%20la%20Oficina/TallerGanaderia/4%20SPS_MUHAMMAD_Colombia.pdf) (Accessed 19/09/2014).
- Ibrahim, M., Guerra, L., Casasola, F. & Neely, C. 2010. Importance of silvopastoral systems for mitigation of climatic change and harnessing of environmental benefits. In: Abberton, M., Conant, R., Batello, C. (eds.). *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics*. Proceedings of the workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change, Rome, April 2010. *Integrated Crop Management Series Vol. 11*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. pp. 189-195.
- IICA (Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture), ECLAC (Economic Commission Latin America and

- the Caribbean) & FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2011. The outlook for agriculture and rural development in the Americas: A perspective on Latin America and the Caribbean 2011-2012 (on line). San Jose, Costa Rica. Available at: [www.eclac.org/publicaciones/xml/6/44826/Perspectivas\\_agricultura2011\\_ingles-web.pdf](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/44826/Perspectivas_agricultura2011_ingles-web.pdf) (Accessed 19/09/2014).
- IITA (International Institute of Tropical Agriculture). 1980. Annual Report, Ibadan, Nigeria. pp. 10-15.
- Jansen, H., Rodriguez, A., Damon, A., Pender, J., Cheniern, J. & Schipper, R. 2006. Determinants of income-earning strategies and adoption of conservation practices in hillside communities in rural Honduras. *Agricultural Systems* 88(1): 92-110.
- Joyce, B., Wallender, W., Mitchell, J., Huyck, L., Temple, S., Brostrom, P. & Hsiao, T. 2002. Infiltration and soil water storage under winter cover cropping in California's Sacramento Valley. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers* 45: 315-326.
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. & Pretty, J. 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(4): 292-320.
- Keating, B.A. & Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Research* 34: 273-301.
- Keller, A. & Seckler, D. 2005. Limits to the productivity of water in crop production. California water plan update. *Crop Water Use* 4: 177-197.
- Kiepe, P. 1995a. No runoff, no soil loss: Soil and water conservation in hedgerow barrier systems. *Tropical Resource Management Papers* 10, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 156 p.
- Kiepe, P. 1995b. Effect of *Cassia siamea* hedgerow barriers on soil physical properties. *Geoderma* 66: 113-120.
- Kijne, J.W., Barker, R. & Molden, D. (eds.), 2003. Water productivity in agriculture -limits and opportunities for improvement. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series* CABI, Wallingford. 368 p.
- Klocke, N., Currie, R. & Aiken, R. 2009. Soil water evaporation and crop residues. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers* 52(1):103-110.
- Knowler, D., & Bradshaw, B. 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32(1): 25-48.
- Lamm, F., Aiken, R. & Aboukheira, A. 2009. Corn yield and water use characteristics as affected by tillage, plant density and irrigation. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers* 52(1):133-143.
- Lapar, L.A. & Pandey, S. 1999. Adoption of soil conservation: the case of the Philippine uplands. *Agricultural Economics* 21(3): 241-256.
- Lascano, C. 1991. Managing the grazing resource for animal production in savannas of tropical America. Harry Stobbs Memorial Lecture. *Tropical Grasslands* 25: 66-72.
- Lenné J., Fernandez-Rivera, S. & Blümmel, M. 2003. Approaches to improve the utilization of food-feed crops – synthesis. *Field Crops Research* 84: 213-222.
- Lichtenberg, E. 2001. Adoption of soil conservation practices: A revealed preference approach. Working Paper 01-12, Department of Agricultural and Resource Economics, University of Maryland, College Park, USA. 24 p.
- Lindner, R. K. 1987. Adoption and diffusion of technology: An overview. In: Champ, B., Highley, E. & Remenyi, J. (eds.). *Technological change in post-harvest handling and transportation of grains in the humid tropics*. ACIAR Proceedings No. 19. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia. pp. 144-151.
- Liniger, H. & Critchley, W. (eds). 2007. *Where the land is greener: case studies and analysis of soil and water*

- conservation initiatives worldwide. World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT). Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), United Nations Environment Program, Centre for Development and Environment (CDE), Bern, Switzerland. 376 p.
- Liniger, H., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C. & M. Gurtner. 2011. Sustainable land management in practice. Guidelines and best practices for Sub-Saharan Africa. TerraAfrica, World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Bern, Switzerland. 243 p.
- Lithourgidis, A., Dordas, C., Damalas, C. & Vlachostergios, D. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science* 5(4): 396-410.
- López, K.S. 2008. Evaluación de la calidad del establecimiento y efecto de las prácticas de conservación de suelo y agua sobre la calidad del suelo en laderas de Nicaragua. Thesis. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. 94 p.
- Lu, Y., Watkins, K., Teasdale, J. & Abdul-Baki, A. 2000. Cover crops in sustainable food production. *Food Reviews International* 16: 121-157.
- Lutz, E., Pagiola, S. & Reiche, C. 1994. The costs and benefits of soil conservation: the farmer's viewpoint. *The World Bank Research Observer* 9: 273-295.
- Mannering, J. & Fenster, C. 1983. What is conservation tillage? *Journal of Soil and Water Conservation* 38(3): 140-143.
- MARENA – POSAF II (Programa Socio-ambiental y Desarrollo Forestal). 2005a. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Programa Socio ambiental y Desarrollo Forestal. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 56 p.
- MARENA – POSAF II. (Programa Socio-ambiental y Desarrollo Forestal). 2005b. Establecimiento y manejo de sistemas de café ecoforestal. Programa Socio ambiental y Desarrollo Forestal. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 62 p.
- Marsh, S. & Pannell, D. 2000. Agricultural extension policy in Australia: the good, the bad and the misguided. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 44: 605-627.
- Mazoyer, M. & Roudart, L. 2006. A history of world agriculture from the neolithic age to the current crisis. Earthscan, New York, USA. 496 p.
- McCarthy, N. 2014. Climate-smart agriculture in Latin America: drawing on research to incorporate technologies to adapt to climate change. Inter-American Development Bank, Office of Strategic Planning and Development Effectiveness, Technical Note 652. Washington, D.C., USA. 65 p.
- McCarthy, N., Lipper, L. & Branca, G. 2011. Climate Smart Agriculture: Smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation. Mitigation of Climate Change in Agriculture Working Paper 4. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy. 26 p.
- McCartney, M., Rebelo, L., Xenarios, S. & Smakhtin, V. 2013. Agricultural water storage in an era of climate change: assessing need and effectiveness in Africa. IWMI Research Report 152. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka. 37 p.
- Mekdaschi Studer, R. & Liniger, H. 2013. Water harvesting: Guidelines to good practice. Centre for Development and Environment (CDE), Bern, Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam, MetaMeta, Wageningen, The International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome. 210 p.

- Mendoza, R.B. & Cassel, D.K. 2002. Hedgerows and their effects on crop productivity and soil loss induced by water and tillage erosion on small run-off plots in the El Pital watershed, Nicaragua. USAID-CRISP, Technical Bulletin No. SM CRSP2002-01, Texas A&M University, College Station, Texas. 37 p.
- Mills, A. & Fey, M. 2004. Frequent fires intensify soil crusting: physicochemical feedback in the pedoderm of long-term burn experiments in South Africa. *Geoderma* 121(1-2): 45-64.
- Mitchell, J., Singh, P., Wallender, W., Munk, D., Horwath, W., Hogan, P., Roy, R., Hanson, B. & Wroble, J. 2012. No-tillage and high-residue practices reduce soil water evaporation. *California Agriculture* 66(2): 55-61.
- Molden, D., Oweis, T., Pasquale, S., Kijne, J., Hanjra, M., Bindraban, P., Bouman, B., Cook, S., Erenstein, O., Farahani, H., Hachum, A., Hoogeveen, J., Mahoo, H., Nangia, V., Peden, D., Sikka, A., Silva, P., Turrall, H., Upadhyaya, A. & Zwart, S. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity. In: Molden, D. (ed.). *Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Earthscan, London, UK, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka. pp. 279-310.
- Monneveux, P., Quillerou, E., Sanchez, C. & Lopez-Cesati, J. 2006. Effect of zero tillage and residues conservation on continuous maize cropping in a subtropical environment (Mexico). *Plant and Soil* 279(1-2): 95-105.
- Morris, R. & Garrity, D. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops Research* 34(3-4): 303-317.
- Mt. Pleasant, J. (2006). The science behind the Three Sisters mound system: An agronomic assessment of an indigenous agricultural system in the northeast". In: Staller, J., Tykot, R. & Benz, B. *Histories of maize: Multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize*. Academic Press, Burlington, Massachusetts. pp. 529-537
- Muschler, R. & Bonnemann, A. 1997. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *Forest Ecology and Management* 91(1): 61-73.
- Neill, S. P. & Lee, D. R. 1999. Explaining the adoption and disadoption of sustainable agriculture: The case of cover crops in Northern Honduras. Working paper 99-31. Department of Agricultural, Resource, and Managerial Economics Cornell University, Ithaca, New York, USA. 27 p.
- Ogindo, H. & Walker, S. 2005. Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rained maize-bean intercrop and component cropping in semi arid region in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 30(11-16): 799-808.
- Oldeman, L., Haakkeling, R. & Sombroek, W. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation. An explanatory note. Global assessment of soil degradation, October 1991. Second revised edition. International Soil Reference and Information Centre and United Nations Environment Programme, Wageningen, The Netherlands. 35 p.
- Ong, C.K. & Leakey, R. 1999. Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforestry Systems* 45: 109-29.
- Ong, C.K. & Swallow, B.M. 2003. Water Productivity in Forestry and Agroforestry. In: Kijne, J.W., Barker, R. & Molden, D. (eds.). *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*. CAB International, Wallingford, UK, in association with the International Water Management Institute (IWMI), Sri Lanka. pp. 217-228.
- Ong, C.K., Black, C.R., Marshall, F.M. & Corlett, J.E. 1996. Principles of resources capture and utilization of light and water. In: Ong, C.K. & Huxley, P.A. (eds.). *Tree-crop interactions – a physiological approach*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 73-158.
- Ouma, G. & Jeruto, P. 2010. Sustainable horticultural crop production through intercropping: The case of fruits and vegetable crops: A review. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(5): 1098-1105.

- Oweis, T., Prinz, D. & Hachum, A. 2012. Water harvesting for agriculture in the dry area. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) & CRC Press/ Balkema, Leiden, The Netherlands. 266 p.
- Pachico, D., Burpee, G. & Alfaro, M. 2010. Conservation and regenerative agriculture: Potential for poverty alleviation in El Salvador. Report. Catholic Relief Services, Baltimore, USA. 20 p.
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F. & Wilkinson, R. 2006. Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46: 1407-1424.
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central) 2000. Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua. Managua, Nicaragua. 205 p.
- Passioura J. & Angus, J. 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. *Advances in Agronomy* 106: 37-75.
- Pattanayak, S., Mercer, D., Sills, E. & Yang, J. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies. *Agroforestry Systems* 57(3): 173-86.
- Peden, D., Freeman, A., Astatke, A. & Notenbaert, A. 2006. Investment options for integrated water-livestock-crop production in Sub-Saharan Africa. Working Paper 1. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. 51 p.
- Peden, D., Tadesse, G. & Misra, A. 2007. Water and livestock for human development. In: Molden, D. (ed.) *Water for food, water for life: Comprehensive assessment of water management in agriculture*. Earthscan, London, in association with International Water Management Institute (IWMI), Colombo, pp. 485-514
- Peden, D., Tadesse, G. & Hailelassie, A. 2009. Livestock water productivity: implications for sub-Saharan Africa. *The Rangeland Journal* 31: 187-193.
- Pelupessy, W. & Ruben, R. 2000. *Agrarian policies in Central America*. Macmillan Press Ltd., London, UK. 209 p.
- Pérez, C.J. 2003. Tecnologías de manejo sostenible de suelos y agua mejoran los ingresos y el empleo rural. *Revista Laderas Centroamericana* 18: 35-38.
- Peters, M., Franco, L.H., Schmidt, A. & Hincapié, B. 2011. Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del Trópico Americano. Publicación CIAT No. 374. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Cali, Colombia. 212 p.
- Peters, M., Horne, P., Schmidt, A., Holmann, F., Kerridge, P.C., Tarawali, S.A., Schultze-Kraft, R., Lascano, C.E., Argel, P., Stür, W., Fujisaka, S., Müller-Sämann, K. & Wortmann, C. 2001. The role of forages in reducing poverty and degradation of natural resources in tropical production systems. *Agricultural Research and Extension Network Paper No. 117*. Overseas Development Institute (ODI), London, UK. 16 p.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. & Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267(520): 1117-1123.
- Pomareda, C. 2008. Política comercial y seguridad alimentaria en Centroamérica: Opciones e implicaciones. IDB Publications, Inter-American Development Bank, Washington D.C. 60 p.
- Posthumus, H. 2005. Adoption of terraces in the Peruvian Andes. Ph.D. Thesis. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 204 p.
- Prasad, M., Simmons, P. & Maher, M. 2004. Release characteristics of organic fertilizers. *International Symposium on growing media and hydroponics*. ISHS Acta Horticulturae 644. 607 p.

- Pretty, J. 1995. Regenerating agriculture: Policies and practice for sustainability and self-reliance. Earthscan, London. 336 p.
- Prins, C. 2004. El largo camino de Madeleña en El Salvador: sus rutas y resultados. Recursos Naturales y Ambiente (CATIE) 43: 132-141.
- Prinz, D. 1996. Water harvesting: Past and future. In: Pereira, L.S. (ed.). Sustainability of irrigated agriculture. NATO ASI Series E: Applied Sciences (Netherlands), Vol. 312: 135-144.
- Prokopy, L. S., Floress, K., Klotthor-Weinkauff, D. & Baumgart-Getz, A. 2008. Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* 63(5): 300-311.
- Pulver, E., Jaramillo, S., Moreira, S. & Zorilla, G. 2012. Transformation of upland to irrigated agriculture through use of water harvesting in Costa Rica, Mexico and Nicaragua. Project report. Latin American Fund for Irrigated Rice (FLAR), Common Fund for Commodities (CFC), International Center for Tropical Agriculture (CIAT), CIAT, Cali, Colombia. 21 p.
- Ramírez, O. & Schultz, S. 2000. Poisson count models to explain the adoption of agriculture and natural resource management technologies by small farmers in Central American countries. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 32(1): 21-33
- Reardon, T. & Vosti, S.A. 1995. Links between rural poverty and the environment in developing countries: Asset categories and investment poverty. *World Development* 23(9): 1495-1506.
- Rehman, T., McKemey, K., Yates, C. M., Cooke, R. J., Garforth, C. J., Tranter, R. B., Park, J. R. & Dorward, P.T. 2007. Identifying and understanding factors influencing the uptake of new technologies on dairy farms in SW England using the theory of reasoned action. *Agricultural Systems* 94: 281-293.
- Reij, C., Scoones, I. & Toulmin, C. (eds.) 1996. Sustaining the soil: Indigenous soil and water conservation in Africa. Earthscan, London. 260 p.
- Reyes-Muro, L., Camacho-Villa, T. & Guevara-Hernández, F. (Coords.) 2013. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. 242 p.
- Rockström, J., Hatibu, N., Oweis, T.Y., Wani, S., Barron, J., Bruggeman, A., Farahani, J., Karlberg, L. & Qiang, Z. 2007. Managing water in rainfed agriculture. In: Molden, D. (ed.). Water for food, water for life: Comprehensive assessment of water management in agriculture. Earthscan and International Water Management Institute (IWMI), London and Colombo. pp. 315-352.
- Rogers, E. 1995. Diffusion of Innovations. The Free Press, New York. 221 p.
- Roldán, A., Caravaca, F., Hernández, M., Garcia, C., Sánchez-Brito, O., Velásquez, M. & Tiscareño, M. 2003. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil and Tillage Research* 72(1): 65-73.
- Romero, F., Benavides, J., Kass, M. & Pezo, D. 1994. Utilization of trees and bushes in ruminant production systems. In: Homan, E.J. (ed.). Animal agriculture and natural resources in Central America: strategies for sustainability. Workshop proceedings. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. pp. 205-218.
- Roose, E. 1996. Land husbandry - Components and strategy. Soil Bulletin 70. Soil Resources Management and Conservation Service Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 380 p.

- Rosa, H., Barry, D. Kandel, S. & Dimas, L. 2004. Compensation for environmental services and rural communities. Lessons from the Americas and key issues for strengthening community strategies. Fundación PRISMA, San Salvador, El Salvador. 31 p.
- Rufino, R.L. 1989. Terraceamento. In: Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo, Curitiba. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Paraná, Brazil. pp. 218-235.
- Russelle, M.P., Entz, M.H. & Franzluebbbers, A.J. 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agronomy Journal* 99: 325-334.
- Ryan, B. & Gross, N. 1943. The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural Sociology* 8: 15-24.
- Sain, G. & Barreto, H. 1996. The adoption of soil conservation technology in El Salvador: Linking productivity and conservation. *Journal of Soil and Water Conservation* 51: 313-321.
- Sanders, D. & Cahill, D. 1999. Where incentives fit in soil conservation programs. In: Sanders, D., Huszar, P., Sombatpanit, S., & Enters, T. (eds.). *Incentives in soil conservation: From theory to practice*. Oxford & IBH Publishing, New Delhi. pp. 11-24.
- Sauer, J., & Zilberman, D. 2010. Innovation behavior at farm level – selection and identification. Paper presented at 114<sup>th</sup> EAAE Seminar 'Structural Change in Agriculture', Berlin, Germany, April 15<sup>th</sup>-16<sup>th</sup>, 2010. 26 p. Available at: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/61354/2/sauer.pdf> (Accessed 19/09/2014).
- Scheierling, S.M., Critchley, W. R. S., Wunder, S. & Hansen, J. 2013. Improving water management in rainfed agriculture: Issues and options in water-constrained production systems. *Water Paper*, Water Anchor. The World Bank, Washington D.C., USA. 225 p.
- Schellekens, J., Scatena, F.N., Bruijnzeel, L.A. & Wickel, A.J. 1999. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. *Journal of Hydrology* 225: 168-184.
- Scherr, S. 2000. A downward spiral? Research evidence on the relationship between poverty and natural resource degradation. *Food Policy* 25: 479-498.
- Schiere, H.B., Baumhardt, R.L., Van Keulen, H., Whitbread, A.M., Bruinsma, A.S., Goodchild, A.V., Gregorini, P., Slingerland, M.A. & Hartwell, B. 2006. Mixed crop-livestock systems in semiarid regions. In: Peterson, G.A., Unger, P.W. & Payne, W.A. (eds.). *Dryland agriculture*. American Society of Agronomy Monograph Series No. 23. Madison, WI, USA. pp. 227-291.
- Schmidt A., Eitzinger, A., Sonder, K. & Sain, G. 2012. Tortillas on the roaster (ToR) - Central American maize-bean systems and the changing climate. Full technical report. Catholic Relief Services (CRS) Baltimore, Maryland, USA, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México, D.F. 127 p.
- Schrader, K. 2002. Anreize zur nachhaltigen Bodennutzung in Zentralamerika. Eine Analyse direkter materieller Anreize in Projekten der ländlichen Regionalentwicklung in Bergregionen El Salvadors, Honduras' und Nicaraguas. *Geographica Bernensia* G 69. Institute of Geography, University of Berne, Berne, Switzerland. 283 p.
- Scopel, E. 1996. Estudio de sistemas de cultivo sostenibles y productivos con labranza de conservación en maíz de temporal en México: Informe de actividades científicas 1994 & 1995. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Mexico City, Mexico. 31 p.
- Scopel, E., Tardieu, F., Edmeades, G. & Sebillotte, M. 2001. Effects of conservation tillage on water supply and rainfed maize production in semiarid zones of west-central Mexico. *International Maize and Wheat Improvement Center*

- (CIMMYT), Texcoco, Mexico. 18 p.
- Segura, E. 1999. Contribución de las tecnologías agroforestales a la economía y bienestar de los pequeños productores en tierra de ladera en El Salvador. Tesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 89 p. Available at: <http://web.catie.ac.cr> (Accessed on 19/09/2014).
- Sheng, Y.P. 1989. Evolution of a Three-Dimensional Curvilinear-Grid Hydrodynamic Model for Estuaries, Lakes, and Coastal Waters: CH3D. In: Spaulding, M.S. (ed.). Estuarine and Coastal Modeling. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA. pp. 40-49.
- Shultz, S., Faustino, J. & Melgar, D. 1997. Agroforestry and soil Conservation: Adoption and profitability in El Salvador. *Agroforestry Today* 9: 16-17.
- Sinclair, T.R. & Gardner, F.P. 1998. Environmental limits to plant production. Principles of ecology in plant production. CAB International, UK. 200 p.
- Singh, O., Sharma, A., Singh, R & Shah, T. 2004. Virtual water trade in dairy economy: Irrigation water productivity in Gujarat. *Economical and Political Weekly* 39(31): 3492-3497.
- Solís, D., Bravo-Ureta, B. & Quiroga, R. 2006. The effect of soil conservation on technical efficiency: Evidence from Central America. Selected paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Long Beach, California, July 23-26, 2006. American Agricultural Economics Association (New Name 2008: Agricultural and Applied Economics Association). Available at: <http://EconPapers.repec.org/RePEc:ags:aaea06:21345>. (Accessed 19/09/2014).
- Steiner, K. 1996. Causes of soil degradation and development approaches to sustainable soil management. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Margraf Verlag, Eschborn, Germany. 178 p.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. 2006. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 390 p.
- Steduto, P., & Albrizio, R. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea: II. Water use efficiency and comparison with radiation use efficiency. *Agricultural and forest meteorology* 130(3): 269-281.
- Steduto, P., Hsiao, T.C. & Fereres, E. 2007. On the conservative behaviour of biomass water productivity. *Irrigation Science* 25: 189-207.
- Stocking, M. & Tengberg, A. 1999. Soil conservation as an incentive enough - experiences from southern Brazil and Argentina on identifying sustainable practices. In: Sanders, D., Huszar, P., Sombatpanit, S. & Enters, T. (eds.). Incentives in soil conservation: From theory to practice. Oxford & IBH Publishing, New Delhi. pp. 69-86.
- Stocking, M. 2002. Diversity: A new strategic direction for soil conservation. Proceedings of 12th ISCO Conference, May 26-31, 2002. Ministry of Water Resources, Beijing, China. pp. 53-58.
- Swinton, S.M. 2000. More social capital, less erosion: Evidence from Peru's Altiplano. Selected paper for presentation at the American Agricultural Economics Association, Tampa, FL, USA, July 30-August 2, 2000. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA. 19 p.
- Szott, L., Ibrahim, M. & Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover. Cattle, pasture, and land degradation and alternative land use in Central America. Technical report. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 71 p.
- Tanner, C.B. & Sinclair, T.R. 1983. Efficient water use in crop production: research or re-research? In: Taylor, H.M., Wayne, J.R. & Sinclair, T.R. (eds.). Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. American Society of Agronomy,

- Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. p. 1-27.
- Tarawali, S., Herrero, M., Descheemaeker, K., Grings, E. & Blümmel, M. 2011. Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. *Livestock Science* 139: 11 – 21.
- Thierfelder, C. & Wall, P.C. 2011. Reducing the risk of crop failure for smallholder farmers in Africa through the adoption of conservation agriculture. In: Bationo, A., Waswa, B., Okeyo, J.M., Maina, F. & Maguta Kihara, J. (eds.). *Innovations as key to the green revolution in Africa - Exploring the scientific facts*. Springer, Netherlands. pp. 1269-1277.
- Thompson, M. 1992. The effect of stone retention walls on soil productivity and crop performance on selected hillside farms in southern Honduras. Project report. Texas A&M University, College Station, Texas, USA. 48 p.
- Thornton, P., Kruska, R.L., Henninger, N., Krisjanson, P.M., Reid, R.S., Atieno, F., Odera, A.N. & Ndegwa, T. 2002. Mapping poverty and livestock in the developing world. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. 124 p.
- Thurow, A.P., Thurow, T.L. & Hector, S.R. 2004. Considerations for targeting soil conservation investments in Honduras. *Environment and Development Economics* 9: 781-802.
- Thurow, T.L. & Smith, J.E. 1998. Evaluación de métodos de conservación de suelos y agua aplicados a las tierras de ladera cultivadas en el sur de Honduras. Agencia para el Desarrollo Internacional. Programa de Investigación Colaborativo de Manejo de Suelo de la Universidad de Texas A&M. Boletín Técnico No. 98-2. 22 p.
- Trenbath, B.R. 1976. Plant interactions in mixed cropping communities. In: Papendick, R., Sanchez, A., Triplett, G. (eds.). *Multiple cropping*. ASA Special Publication 27. American Society of Agronomy, Madison, WI., USA. pp. 129-169.
- Tsubo, M., Walker, S. & Ogindo, H. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping system for semi-arid regions. *Field Crops Research* 93(1): 10-22.
- Valbuena, D., Homann-Kee Tui, S., Erenstein, O., Teufel, N., Duncan, A., Abdoulaye, T., Swain, B., Mekonnen, K., Germaine, I. & Gérard, B. 2014. Identifying determinants, pressures and trade-offs of crop residue use in mixed smallholder farms in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Agricultural Systems*: Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2014.05.013> (Accessed on 19/09/2014).
- van Donk, S.J., Martin, D.L., Irmak, S., Melvon, S., Petersen, J.L. & Davison, D.R. 2010. Crop residue cover effects on evaporation, soil water content, and yield of deficit-irrigated corn in west-central Nebraska. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers* 53(6): 1787-1797.
- Van Noordwijk, M. & Ong, C.K. 1999. Can the ecosystem mimic hypotheses be applied to farms in African savannahs? *Agroforestry Systems* 45: 131-158.
- Vanlauwe, B., Wendt, J., Giller, K.E., Corbeels, M., Gerard, B. & Nolte, C. 2014. A fourth principle is required to define conservation agriculture in sub-Saharan Africa: the appropriate use of fertilizer to enhance crop productivity. *Field Crops Research* 155: 10-13.
- Verhulst, N., Nelissen, V., Jaspers, N., Haven, H., Sayre, K., Raes, D., Deckers, J. & Govaerts, B. 2011a. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residue management in rainfed semi-arid highlands. *Plant and Soil* 344(1-2): 73-85.
- Verhulst, N., Sayre, K.D., Vargas, M., Crossa, J., Deckers, J., Raes, D. & Govaerts, B. 2011b. Wheat yield and tillage-straw management system × year interaction explained by climatic co-variables for an irrigated bed planting system in northwestern Mexico. *Field Crops Research* 124: 347-356.
- Wall, P.C. 2007. Tailoring conservation agriculture to the needs of small farmers in developing countries: An analysis of issues. *Journal of Crop Improvement* 19(1-2): 137-155.

- Wallace, J.S., Jackson, N.A. & Ong, C.K. 1999. Modelling soil evaporation in an agroforestry system in Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology* 94: 189-202.
- Wallace, J.S., Young, A. & Ong, C.K. 2004. The potential of agroforestry for sustainable land and water management. In: Bonell, M. & Bruijnzeel, L. A. (eds.). *Forests, water and people in the humid tropics: past, present and future hydrological research for integrated land and water management*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 652-670.
- Wani, S. P., Singh, P., Boomiraj, K. & Sahrawat, K.L. 2009. Climate change and sustainable rain-fed agriculture: challenges and opportunities. *Agric. Sit. India* 66 (5): 221-239.
- Welchez, L.A. 1999. Mejoramiento en relación al uso de tecnologías de producción en laderas del sur de Lempira, Honduras, C.A. *Revista Laderas Centroamericana* 5:11-16.
- Wilkins, R.J. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society - Biological Sciences* 363: 517-525.
- Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agricultural Water Management* 17: 215-231.
- Wilson, T. 2007. Perceptions, practices, principles and policies in provision of livestock water in Africa. *Agricultural Water Management* 90: 1-12.
- Winters, P., Crissman, C. & Espinosa, P. 2004. Inducing the adoption of conservation technologies: lessons from the ecuadorian andes. *Environment and Development Economics* 9: 695-719.
- Witter, S., Robotham, M. & Carrasco, D. 1996. Sustainable adoption of conservation practices by upland farmers in the dominican republic. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(3): 249-254.
- Zinn, Y., Lal, R. & Resck, D. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research* 84(1): 28-40.
- Zurek, M.B. 2002. Induced innovation and productivity-enhancing, resource-conserving technologies in Central America: The supply of soil conservation practices and small-scale farmers' adoption in Guatemala and El Salvador. Ph.D. thesis. Justus-Liebig-Universität Giessen, Germany. 237 p.





