

# Manejo del agua en agricultura de secano

## La necesidad de un cambio de paradigma

---

**Johan Rockström<sup>a,b,\*</sup>, Louise Karlberg<sup>a,b</sup>, Suhas P. Wani<sup>c</sup>, Jennie Barron<sup>a,b</sup>,  
Nuhu Hatibu<sup>d</sup>, Theib Oweis<sup>e</sup>, Adriana Bruggeman<sup>e</sup>, Jalali Farahani<sup>e</sup>, Zhu Qiang<sup>f</sup>**

<sup>a</sup> Stockholm Environment Institute (SEI), Kraftriket 2B, Stockholm 106 91, Suiza

<sup>b</sup> Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, Stockholm 106 91, Suiza

<sup>c</sup> International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru 502324, India

<sup>d</sup> SWMNET, ICRISAT, Nairobi, Kenia

<sup>e</sup> ICARDA, Aleppo, Siria

<sup>f</sup> Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China

### ARTÍCULO INFO

Historia del artículo:

Disponible online 6 Noviembre 2009

**Palabras claves:**

Manejo de cuenca

Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH)

Productividad de agua

# Resumen

La agricultura de secano juega y continuará jugando un rol dominante en la provisión de alimentos y medios de vida para una población mundial creciente. Las regiones del mundo de sabana semi-árida y sub-húmeda seca y la estepa, se describen como zonas críticas del mundo (hotspots) en relación con sus limitantes de agua para la producción de alimentos, alta prevalencia de malnutrición y pobreza, así como rápido incremento en la demanda de alimentos. Se requieren mayores inversiones para proteger el agua en la agricultura. Las brechas de rendimiento son grandes en estas regiones y no se deben a la falta de agua *per se*, sino más bien al manejo ineficiente de agua, suelo y cultivos. Una evaluación de opciones para el manejo indica que existe conocimiento relativo a las tecnologías, sistemas de manejo, y métodos de planeación. Una estrategia clave es minimizar el riesgo de pérdidas de cultivos inducida por sequías cortas críticas inesperadas, lo cual requiere hacer énfasis en sistemas de cosecha de agua para riego suplementario. La adopción a gran escala de sistemas de cosecha de agua requerirá un cambio de paradigma en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH), en el cual la precipitación es considerada el punto de partida para el control o manejo de agua dulce, incorporando así recursos de agua verde (agricultura de secano sustentable y ecosistemas terrestres) y recursos de agua azul (escorrentía local). Es necesario reconsiderar la diferencia entre agricultura de secano y de riego en torno al paradigma de la gobernanza, la inversión y el manejo de agua, que tenga en cuenta todas las opciones de agua en los sistemas agrícolas. Se requiere un nuevo enfoque a escala de meso-cuenca, frente al actual enfoque de MIRH a nivel de cuenca y el enfoque básico del mejoramiento agrícola en la finca del agricultor. Se argumenta que la escala de cuenca ofrece las mejores oportunidades para invertir en agua de manera que se construya resiliencia en los pequeños sistemas agrícolas y se logre el equilibrio entre la productividad de agua para alimentos y otros servicios y funciones del agua en el ecosistema.

# 1. La necesidad de inversiones en manejo de agua para promover la agricultura de secano

La agricultura juega un papel clave en el desarrollo económico (World Bank, 2005) y en la reducción de la pobreza (Irz y Roe, 2000). En el sub-Sahara africano el 35% del PIB proviene del sector agrícola, el cual también emplea cerca del 70% de la población (World Bank, 2000). El crecimiento del sector agrícola es esencial para lograr las Metas de Desarrollo del Milenio (MDM) para la erradicación del hambre y la pobreza. El crecimiento requerido corresponde nada menos que con una nueva revolución verde (Conway y Toenniessen, 1990; Falkenmark y Rockström, 2004), y con doblar la producción de alimentos en los próximos 20-30 años, particularmente en el África subsahariana y partes del Sur y Este de Asia, donde la malnutrición y la demanda de alimento es mayor (UN Millenium Project, 2005).

Ningún sector económico consume tanta agua dulce como la agricultura, con un estimado de  $1300 \text{ m}^3$  per cápita<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> requerido para producir una dieta adecuada (Falkenmark y Rockström, 2004). Un análisis de escenarios muestra que aproximadamente  $7100 \text{ km}^3$  año<sup>-1</sup> se consumen globalmente para producir alimentos, de los cuales  $5500 \text{ km}^3$  año<sup>-1</sup> se utilizan en agricultura de secano y  $1600 \text{ km}^3$  año<sup>-1</sup> en agricultura con riego (de Fraiture et al., 2007; CA, 2007). El análisis también describe grandes incrementos en la cantidad de agua necesaria para producir los alimentos requeridos para el 2050, que oscilan entre  $8500$  a  $11000 \text{ km}^3$  año<sup>-1</sup>, en función de supuestos sobre mejoras en los sistema agrícolas de secano y de riego.

El cambio climático puede afectar aún más los recursos hídricos necesarios, debido a reducciones observadas en el agua de lluvia (Zhang et al., 2007). Algunos expertos están prediciendo disminuciones de la precipitación aún mayores y un aumento de eventos extremos (IPCC, 2007). El uso de agua para riego ya causa estrés en muchas de las cuencas de los ríos mayores del

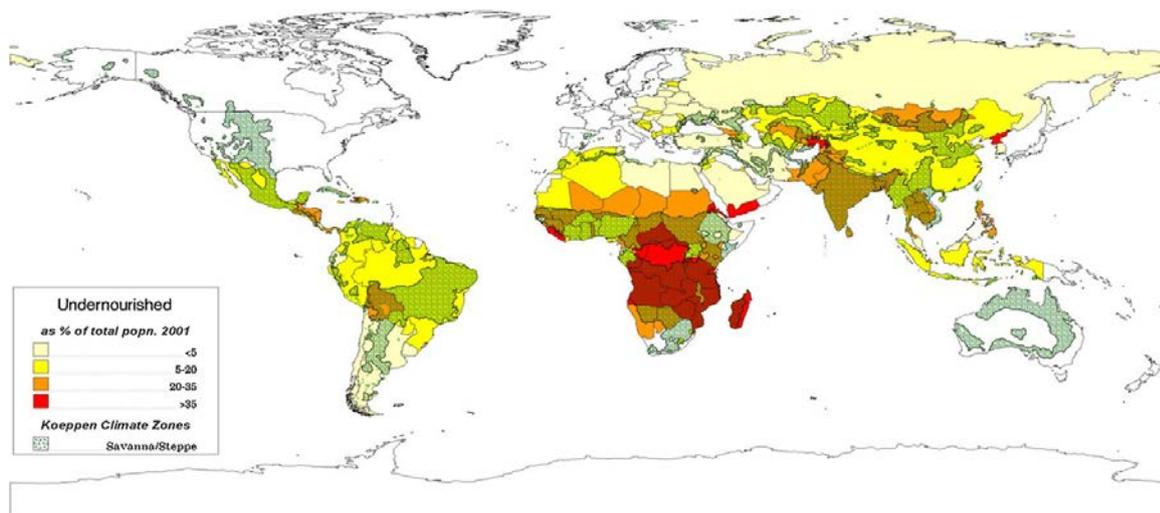
mundo (Molle et al., 2007). El mundo se enfrenta a una probable crisis de agua con poco margen para una mayor expansión del riego a gran escala. Esto acentúa la necesidad de un manejo del agua en la agricultura de secano; no sólo para asegurar el agua requerida para la producción de alimentos, sino también para lograr la resiliencia que pueda hacer frente al futuro del agua en relación a riesgos e incertidumbres. De esta forma, tanto la situación actual como los escenarios futuros apuntan en la misma dirección: la agricultura de secano continuará jugando un rol crucial y dominante en la provisión de alimentos y medios de vida para una creciente población mundial.

La producción de secano, la cual utiliza lluvia infiltrada que forma parte de la humedad del suelo en la zona radicular (el llamado recurso de agua verde), representa la mayor parte del consumo de agua de los cultivos en agricultura. La Evaluación General del Manejo de Agua en Agricultura (CA, 2007) muestra un gran e inexplorado potencial de promover la agricultura de secano y hace un llamado para que se incrementen las inversiones de agua en el sector. En este artículo se analiza cómo y dónde deben realizarse estas inversiones, con el objetivo de promover significativamente la agricultura de secano de una manera sustentable.

## 2. Acercándose a las zonas críticas del mundo

Muchos sistemas de producción agrícola se han adaptado a los gradientes hidro-climáticos. Como ejemplos se incluyen los sistemas de pastoreo en ambientes áridos, sistemas agro-pastoriles en la zona semiárida más seca, y como sedentarios, aquellos sistemas de cultivos múltiples en los sistemas de sabana y agroecosistemas húmedos. El reto de promover la agricultura de secano a través del mejoramiento del manejo de agua se concentra en las regiones del mundo de sabana y estepa. Estas cubren las regiones climáticas semi-árida y sub-húmeda seca donde la agricultura de

secano es la fuente dominante de medios de vida y donde la disponibilidad de agua limita la producción de cultivos (SEI, 2005). Falkenmark (1986) muestra una correlación entre limitantes hidro-climáticas y pobreza. Países con alta prevalencia de desnutrición y un gran número de personas pobres que dependen de la producción agrícola, están situados comúnmente en las regiones climáticas semi-árida y sub-húmeda seca (sabana y estepa) (CA, 2007) (Fig. 1). Nosotros consideramos estas regiones como zonas críticas del mundo.



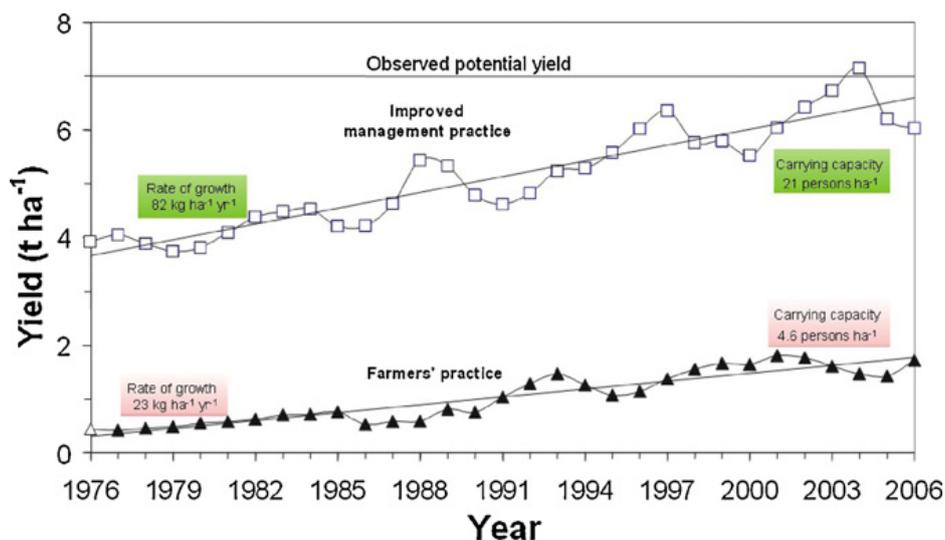
**Fig. 1.** Porcentaje de personas desnutridas en relación con la población total, vinculada con la localización de las regiones semi-árida y sub-húmeda seca (UNStat, 2005).

### 3. Gran potencial desaprovechado para explotar la brecha en el rendimiento y las aparentes limitantes hidro-climáticas

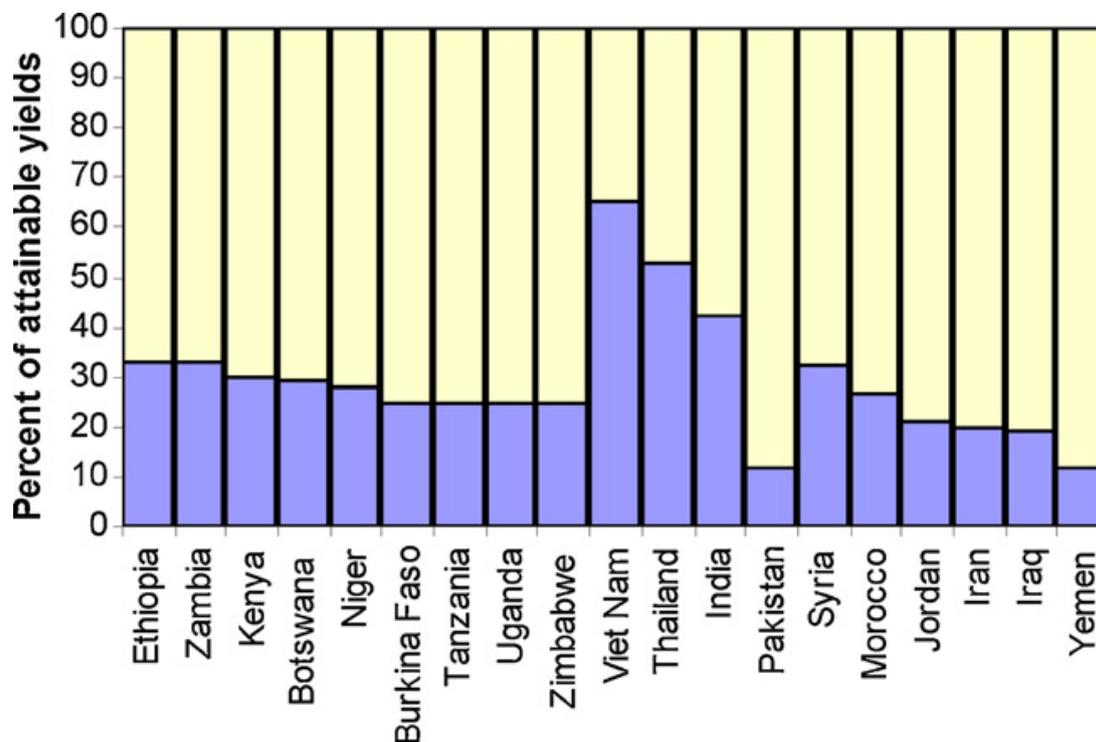
Desde una perspectiva global, la productividad agrícola es más baja en áreas de secano que en sistemas agrícolas con riego. En países desarrollados, el rendimiento promedio de granos de secano es  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$  comparados con  $3.1 \text{ t ha}^{-1}$  en agricultura de riego (Rosegrant et al., 2002). En la agricultura

comercial de la zona templada, los rendimientos de los principales cultivos de grano en secano a menudo exceden las 5 t ha<sup>-1</sup> (Faostat, 2005). De manera similar, en regiones tropicales, los rendimientos de los sistemas agrícolas de secano a menudo exceden las 5-6 t ha<sup>-1</sup>. Estas observaciones sugieren que las aparentes limitantes biofísicas causantes de los bajos rendimientos de los sistemas agrícolas de secano en países tropicales en desarrollo pueden ser superados con un manejo apropiado (Rockström y Falkenmark, 2000; Wani et al., 2003 a,b).

En Patancheru, India, el rendimiento de un sistema intercalado de sorgo/guandul realizado con prácticas corrientes se incrementó de 1.1 t ha<sup>-1</sup> a 5.1 t ha<sup>-1</sup> con un manejo mejorado (Fig. 2). En las zonas sub-húmeda seca y semi-árida, donde los sistemas agrícolas han experimentado los más bajos rendimientos y las mejoras en los rendimientos han sido los menores en las décadas pasadas (FAOSTAT, 2005), la mitigación de las sequías cortas críticas e inesperadas es una práctica común de manejo de agua que minimiza los riesgos de pérdida del cultivo debido a la sequía. La gran brecha que hay entre los rendimientos actuales y alcanzables en agricultura de secano en muchas regiones del mundo (Fig.3) sugiere que existe un gran potencial inexplorado para incrementar el rendimiento.



**Fig. 2.** Rendimientos de cultivo a largo plazo bajo condiciones de secano, (a) Sorgo sembrado con manejo de agricultores; and (b) Sorgo/guandul sembrado con suelo mejorado, agua, nutrientes y manejo de cultivo. ICRISAT, Patancheru, India. Fuente: Wani et al. (2003a).



**Fig. 3.** Brechas de rendimiento para granos principales en agricultura de secano, para países seleccionados de Africa, Asia y Medio Oriente.

En la zona semi-árida y sub-húmeda seca, no es la *cantidad* de precipitación el factor limitante de la producción (Fig. 4) (Klaij y Vachaud, 1992; Agarwal, 2000; Hatibu et al., 2003, Wani et al., 2003b). Mas bien, es la extrema *variabilidad*, con altas intensidades de precipitación, pocos eventos de lluvia, y pobre distribución de la lluvia en espacio y tiempo. Por el contrario, en la zona árida, las necesidades de agua del cultivo a menudo exceden el total de la precipitación, causando una absoluta escasez de agua.

En los agroecosistemas semi-árido y sub-húmedo, las sequías cortas críticas inesperadas (períodos cortos de sequía durante los estados críticos de crecimiento) ocurren en casi toda la estación lluviosa (Tabla 1) (Barron et al., 2003). Por otro lado, sequías meteorológicas ocurren en promedio una o dos veces cada década. Con el cambio climático se ha predicho que se incrementará la frecuencia tanto de sequías meteorológicas como de sequías cortas críticas inesperadas (IPCC, 2007). Mientras que las épocas secas

pueden ser superadas invirtiendo en técnicas apropiadas de manejo de agua, el rendimiento de los cultivos no puede ser sustentable durante la sequía meteorológica y requiere diferentes mecanismos para enfrentarla.

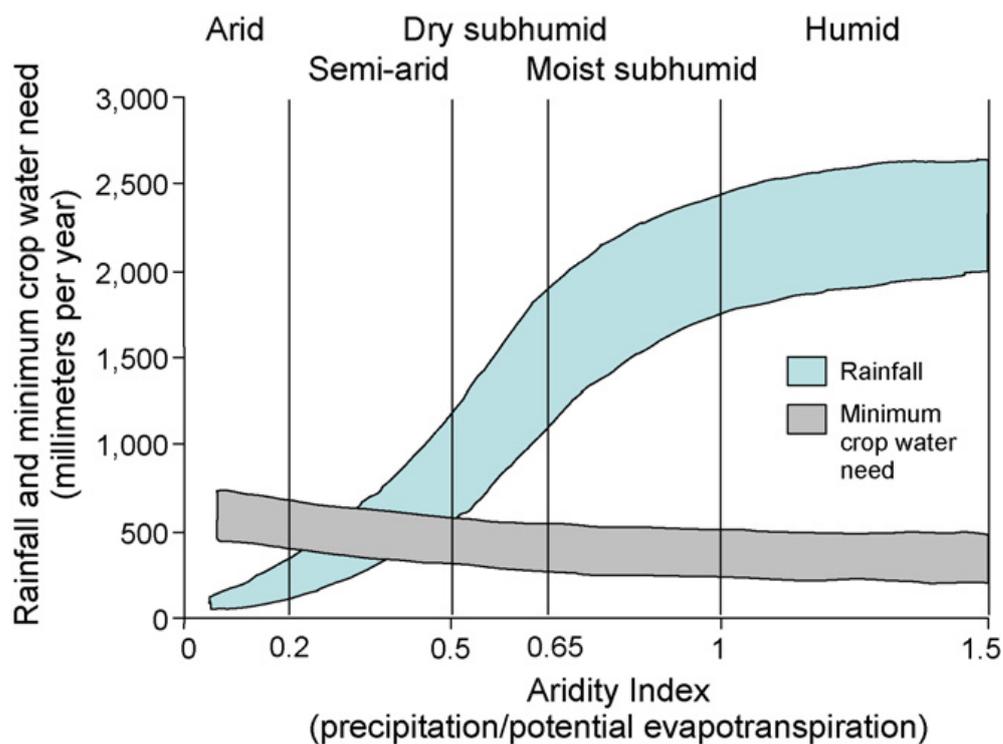
Los sistemas de producción agrícola pueden sufrir de sequías agrícolas y sequías cortas críticas inesperadas causadas por un manejo que induce a la escasez de agua (Rockström et al., 2007). El análisis del balance de agua a nivel de finca indica que, en los sistemas agrícolas de sabana en el sub-Sahara africano, menos del 30% de la precipitación se utiliza en transpiración productiva por los cultivos. En tierras severamente degradadas, esta proporción puede ser tan pequeña como 5% (Rockström et al., 2003). Así, las pérdidas en los cultivos comúnmente relacionadas con la "sequía", pueden ser prevenidas en muchos casos a través de un manejo de agua a nivel de finca.

### Tabla 1

Tipos de estrés por agua y causas principales en ambientes tropicales semi-árido y sub-húmedo seco

	Sequías cortas críticas inesperadas	Sequía
<i>Meteorológica</i> Frecuencia Impacto Causa	Dos de tres años Reducción de rendimiento Deficiente precipitación en periodos de dos a cinco semanas durante la estación de crecimiento	Uno de 10 años Pérdida completa de cultivo Precipitación estacional por debajo del mínimo requerimiento estacional de agua para las plantas
<i>Agrícola</i> Frecuencia Impacto Causa	Mas de dos de tres años Reducción de rendimiento o completa pérdida de cultivo Baja disponibilidad de agua para las plantas y pobre capacidad de absorción de agua en plantas	Uno de diez años Completa pérdida de cultivo  Pobre fraccionamiento de la precipitación, que ocasiona un déficit estacional de humedad del suelo para producir la cosecha (donde pobre fraccionamiento se refiere a alta proporción de escorrentía y evaporación no productiva relativa a la infiltración de agua en la superficie).

Fuente: Falkenmark y Rockström (2004).



**Fig. 4.** Rango de variabilidad a través de zonas hidro-climáticas desde agroecosistemas árido hasta húmedo. Se muestra el gradiente ecosistémico como el índice de aridez (relación entre precipitación anual y evapotranspiración potencial anual). El rango de precipitación total se expresa como más o menos una desviación estándar. Las necesidades mínimas de agua para cultivos fueron tomadas de Doorenbos y Pruitt (1992) y ajustadas por el índice de aridez.

Muchos factores diferentes al agua también limitan la producción en agricultura de secano. Normalmente, los suelos pobres en nutrientes son el factor limitante para el crecimiento (Stoorvogel y Smaling, 1990) aún en regiones con escasez de agua. La producción también está limitada por la escasa mano de obra, la inseguridad en la propiedad de la tierra, difícil acceso al capital de inversión, y limitadas habilidades y aptitudes. Como resultado, la producción actual a menudo es baja comparada con el resultado potencial. La agricultura de secano, en regiones caracterizadas por lluvias erráticas, está sujeta a grandes riesgos relacionados con el agua en sí, los cuales hacen menos probable que los agricultores inviertan en nutrientes y otros insumos que mejoren la producción. Si tales riesgos pueden disminuir a través de inversiones en técnicas de manejo de agua para superar las sequías cortas críticas inesperadas, también podrían cambiar la actitud de los agricultores en

relación con las inversiones agrícolas. En áreas de secano, la precipitación es el parámetro aleatorio más destacable, fuera del control del agricultor. Por consiguiente, la lluvia es tanto un insumo crítico como una fuente importante de riesgo e incertidumbre para el rendimiento productivo.

Anteriores inversiones para investigación sobre agricultura de secano en la zona de sabana han registrado diversidad de resultados en el mejoramiento de la productividad agrícola (Seckler y Amarasinghe, 2004). Esta disparidad pudo deberse a la falta de enfoque en el manejo de agua para áreas de secano (CA, 2007). En décadas recientes se ha centrado la atención en el control de la erosión a través de medidas de conservación de suelo, fertilidad de suelo, control de plagas y manejo del cultivo. El agua ha sido principalmente considerada en función del manejo de la humedad *in-situ*; p. ej., maximizando la infiltración de la lluvia a través de técnicas de conservación de humedad, en vez de manejar los recursos hídricos para superar los periodos de escasez. Una razón clave de este desfase podría ser la falta de políticas que gobiernen el manejo del agua en agricultura de secano (Hatibu et al., 1999). Mientras que las instituciones que gobiernan el agua tradicionalmente han abordado los asuntos de distribución de agua a las viviendas, industrias y sistemas de riego; las instituciones que gobiernan la agricultura (vgr. ministerios de agricultura) se han enfocado en los temas "secos", tales como estrategias de manejo para el control de la erosión. Algunos investigadores y funcionarios públicos están empezando a centrarse más en el manejo de agua para la agricultura de secano. Algunos ejemplos podemos ver en programas de desarrollo con enfoque de cuenca en India (India, 2005) o en las políticas agrícolas implementadas en Tanzania (Ministerio de Agricultura de Tanzania y Seguridad Alimentaria, 2003).



## 4. Potencial de nuevas inversiones en técnicas de manejo de agua

Hay dos grandes estrategias para incrementar el rendimiento en agricultura de secano cuando la disponibilidad de agua radicular limita el crecimiento del cultivo: (1) capturando más agua y permitiendo que ésta se infiltre en la zona de raíces; y (2) usando el agua disponible de manera más eficiente (incrementando la productividad del agua) aumentando la capacidad de absorción de la planta y/o reduciendo la evaporación no productiva del agua en el suelo. Hay un amplio espectro de opciones de manejo integrado de agua y suelo para lograr estos objetivos (Tabla 2). Mientras que muchas técnicas, tales como los sistemas de cosecha de agua externos, se enfocan en capturar más agua, otros se concentran en incrementar directamente la productividad del agua: por ejemplo el riego por goteo y el uso de coberturas. Los enfoques de manejo que buscan capturar más agua, a menudo conducen también a alcanzar mayor productividad del agua, así sucede con los follajes de cultivos más densos que dan sombra al suelo y reducen la evaporación del suelo (Rockström, 2003).

**Tabla 2**

Estrategias de manejo de la lluvia y opciones de manejo correspondiente para mejorar rendimientos y productividad de agua.

Estrategias de manejo de lluvia		Propósito	Opciones de manejo
Incrementar la disponibilidad de agua	Sistemas de cosecha de agua externos	Mitigar sequías cortas críticas inesperadas, proteger nacimientos, recargar agua subterránea, habilitar riego fuera de estación, permitir múltiples usos del agua	Micro-represas de superficie, tanques subterráneos, estanques de finca, tanques y represas de percolación, estructuras para desvío y recarga

	Sistemas de cosecha de agua in-situ, conservación de suelo y agua	Concentrar la lluvia de escorrentía en el área de cultivo u otro uso  Maximizar la infiltración de la precipitación	Muros, diques, camas amplias y surcos, micro-cuencas, surcos de escorrentía  Terraceo, cultivo en curvas a nivel, agricultura de conservación, surcos, trinchos escalonados
	Manejo de evaporación	Reducir la evaporación no productiva	Siembra de secano, uso de cobertura, agricultura de conservación cultivos intercalados, barreras rompevientos, agroforestería, siembra temprana, barreras vivas
Incrementar capacidad la absorción de agua de la planta	Integrar el manejo del suelo, cultivo y agua	Incrementar la proporción del balance de agua que fluye como transpiración productiva	Agricultura de conservación, siembra de secano (temprana), variedades de cultivo mejoradas, geometría de cultivo óptima, manejo de fertilidad de suelo, rotación de cultivo óptima, cultivo intercalado, control del plagas, manejo de materia orgánica

La cosecha de agua atañe a cualquier práctica que recoja escorrentía con fines productivos (Siegert, 1994). A menudo se diferencia entre cosecha de agua *in-situ*; p. ej., la captura de precipitación local en finca, y *ex-situ* la captura de lluvia que cae fuera de la finca (Oweis y Hachum, 2001).

Los sistemas de riego complementario son sistemas de cosecha de agua *ex-situ*, que suministran agua durante periodos en los que la precipitación es insuficiente para proveer la humedad esencial que asegura la cosecha. En tales sistemas, la planificación del agua no está diseñada para abastecer los requerimientos totales de agua de la planta. Mas bien, la mayor importancia del sistema radica en su capacidad para superar sequías cortas críticas

inesperadas y, consecuentemente, para reducir riesgos de agricultura de secano. De acuerdo con Oweis (1997), el riego complementario de 50-200 mm puede superar la sequía corta crítica inesperada y estabilizar los rendimientos en regiones árida y sub-húmeda seca. El incremento de rendimiento potencial del riego complementario varía con la precipitación. Un ejemplo de Siria ilustra que las mejoras en el rendimiento pueden ser más de 400% en regiones áridas (Oweis, 1997).

Muchos estudios indican que los sistemas de riego complementario son exequibles para pequeños agricultores (Fan et al., 2000; Fox et al., 2005). Sin embargo, se requieren estrategias políticas, estructuras institucionales y capacidades humanas similares a las que requiere la infraestructura de riego completo para aplicar exitosamente riego complementario en agricultura de secano.

La agricultura de secano se ha manejado tradicionalmente a escala de finca. Los sistemas de riego complementario, con capacidades de almacenamiento generalmente en el rango de 100-10,000 m<sup>3</sup>; aunque sean pequeños en comparación con el manejo y planeación a nivel de cuenca, en la medida que capturan la escorrentía local, pueden impactar otros usuarios de agua y ecosistemas. Se requieren estrategias legales y derechos de agua concernientes a la recolección de escorrentía superficial local; así como capacidades humanas para planear, construir, y mantener sistemas de almacenamiento para riego complementario. Sin embargo, los agricultores deben ser capaces de responsabilizarse de la operación y manejo de los sistemas. Los sistemas de riego complementario pueden ser usados en huertas pequeñas durante las estaciones secas para producir cultivos comerciales. El riego complementario es una estrategia clave, aún subutilizada, para desbloquear el potencial de rendimiento de secano y la productividad del agua.

Durante los últimos 50 años, la conservación de suelo y agua, o cosecha de agua *in-situ*, ha sido el foco de muchas de las inversiones en manejo de

agua en agricultura de secano. Considerando que la cosecha de agua *in-situ* puede aplicarse en cualquier pedazo de tierra y es exequible para muchos de los pequeños agricultores (p. ej. Wani et al., 2003b; Sreedevi et al., 2004). Estos sistemas de manejo pueden ponerse en marcha antes de invertir en opciones de cosecha de agua *ex-situ*. Observaciones de campo en regiones semi-áridas de Kenia indican que los agricultores que están motivados a adoptar sistemas de cosecha de agua *ex-situ*, a menudo también tienen prácticas avanzadas en sistemas de cosecha de agua *in-situ* (Mwangi Hai, pers. Comm.)<sup>1</sup>.

La agricultura de conservación<sup>2</sup> es un término que describe técnicas de cosecha de agua *in-situ* que incluyen un rango de sistemas de cultivo; p. ej. aquellos que involucran disturbar mínimamente el suelo con máquinas. En muchos casos, arar es remplazado con técnicas tales como abrir el suelo donde las semillas se plantan, rompimiento profundo del suelo para romper capas duras o compactadas del suelo (subsolar), o usar técnicas de siembra directa (no labranza). Cualquiera de estas técnicas, cuando es usada en combinación con el uso de cobertura para aumentar la materia orgánica y mejorar la estructura del suelo, se considera agricultura de conservación.

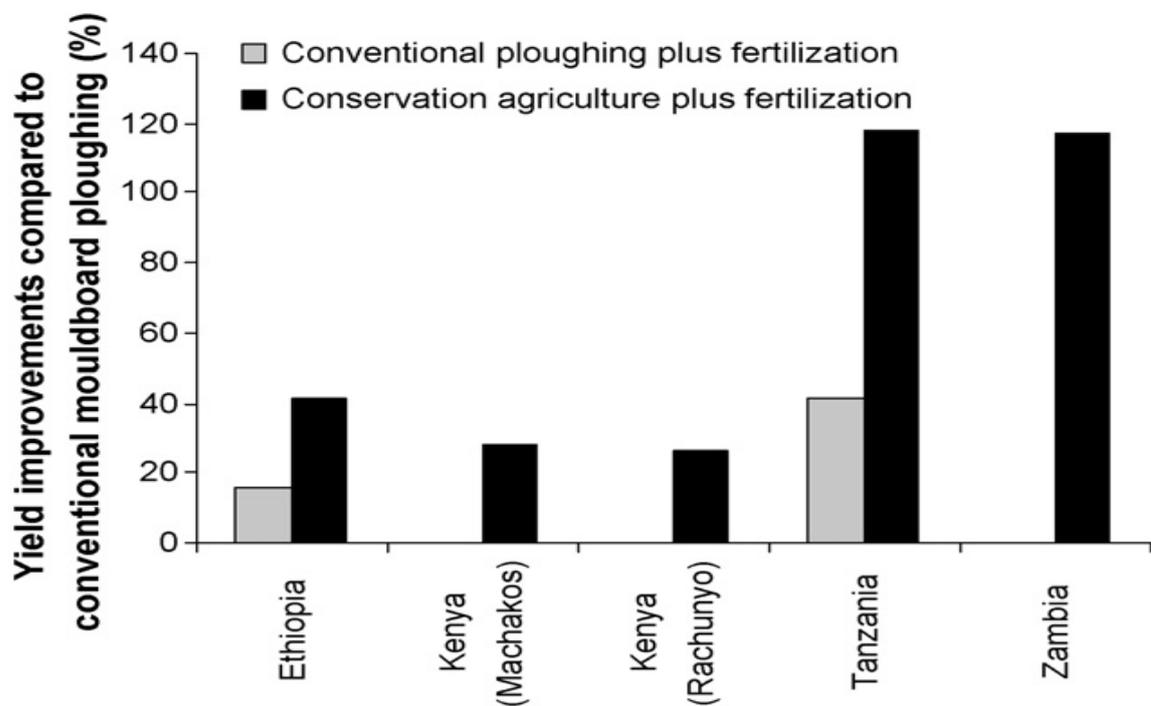
Alguna forma de agricultura de conservación se practica en el 40% de tierras agrícolas de secano en Estados Unidos y ha generado una revolución agrícola en América Latina (Derpsch, 1998, 2005). Ahora bien, la agricultura de conservación la practican comúnmente pequeños agricultores en las planicies de Indo-Ganges (Hobbs y Gupta, 2002). Ejemplos en el sub-Sahara africano muestran que la conversión de agricultura de labranza a conservación resulta en mejoras del rendimiento que oscilan entre 20% y 120%, con mejoras en la productividad del agua del 10% al 40% (Rockström et al.,

---

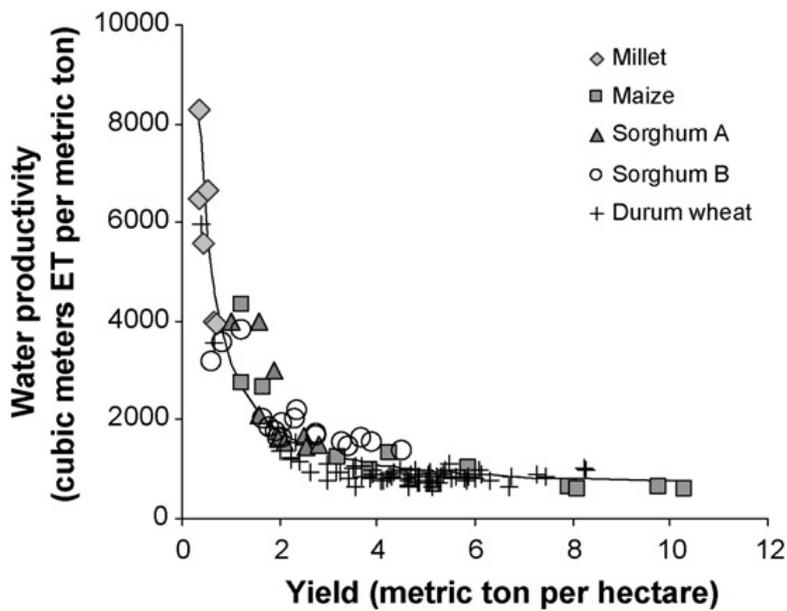
1 Centro Internacional de Agroforestería (ICRAF), United Nations Avenue, Gigiri, PO Box 30677-00100 GPO, Nairobi, Kenia. Teléfono: +254 20 722 4000, <http://www.worldagroforestrycentre.org>.

2 Aquí se entiende agricultura de conservación como el equivalente a "farming conservation" y labranza de conservación, p.ej., sistemas de labranza de no-inversión del suelo y coberturas. La estricta definición de sistema de agricultura de conservación estipula que al menos 30% de suelo esté cubierto con cobertura durante el año, lo cual es un propósito importante y deseable, aunque difícil de alcanzar para agricultores de regiones de sabana debido a deficiencias en biomasa.

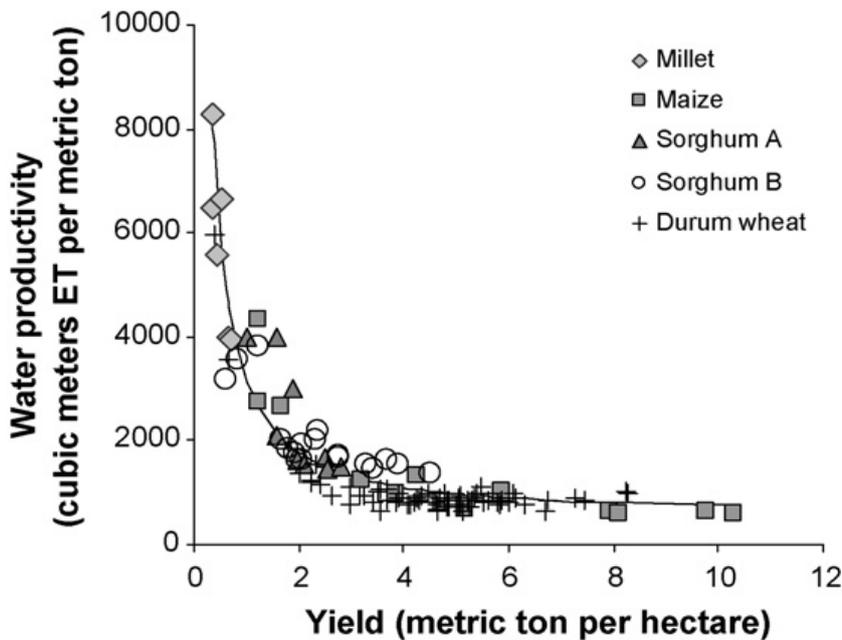
2009b). Otra ventaja de estos sistemas de labranza es el ahorro de fuerza de trabajo relacionado con arar. Entre las desventajas potenciales se observan: mayores costos en el control de plagas y malezas, la necesidad de adquirir nuevas habilidades, y la inversión en nuevos equipos de siembra. Sin embargo, la agricultura de conservación es relativamente barata de implementar, puede ser practicada en todos los suelos y no requiere equipos para conservar el agua. Como resultado, el enfoque es bien interesante para promover la agricultura de secano, que está limitada a menudo por falta de capital de inversión.



**Fig. 5.** Mejoramiento en el rendimiento de maíz a través de la agricultura de conservación en ensayos de finca en el Oriente de Africa. Datos de Rockström et al (2009a).



**Fig. 6** Relación dinámica entre productividad de agua verde y rendimiento para cultivos de cereal bajo diversas condiciones climáticas y de manejo. Fuente: millo, Rockström et al. (1998); maíz, Stewart (1988); sorgo A. Dancette (1983); sorgo B. Pandey et al (2000); trigo durum, Zhang y Oweis (1999); línea de regresión después por Rockström (2003).



En áreas semi-áridas se pierde hasta el 50% de la lluvia en los campos como evaporación no productiva del suelo (Rockström, 2003). Convertir algo de esta agua en transpiración productiva a través del manejo de la evaporación incrementará la productividad del agua en las regiones áridas, semi-árida y sub- húmeda seca. Las opciones para reducir la evaporación involucran siembra de secano, agricultura de conservación y uso de cobertura. Una mayor productividad del agua también se logra mejorando el rendimiento de los cultivos. Cuando los rendimientos son bajos (entre 1 y 2 t ha<sup>-1</sup>), aún aumentos pequeños en el rendimiento generarán grandes ganancias en la productividad del agua (Fig. 6). Esta relación no lineal entre productividad de agua y rendimiento se debe a la sombra del suelo cuando el follaje del cultivo se vuelve más denso al alcanzar más altos rendimientos, cambiando así la relación entre transpiración productiva y evaporación no productiva (Rockström, 2003). De ahí que los esfuerzos por mejorar el rendimiento de los cultivos sean beneficiosos tanto para el ahorro en agua como para las perspectivas de mejorar el ingreso.

## 5. Equilibrio del agua para los seres humanos y la naturaleza

Cada incremento en el uso del agua para la agricultura inevitablemente afectará la disponibilidad de agua para otros usos, tales como el suministro de agua potable y el mejoramiento del ecosistema. Promover la agricultura de secano puede generar consecuencias favorables y desfavorables de usuarios y ecosistemas aguas abajo (Calder, 1999), particularmente en cuencas cerradas y que se están cerrando, donde se usa más agua de la que se dispone y se

renueva durante algunas épocas del año (Molden et al., 2001; Molle, 2003). En otros casos, se limitan los efectos en el flujo de arroyos aguas abajo, causados por sistemas de almacenamiento de agua de pequeña escala, aunque sean implementados ampliamente (Evenari et al., 1971; Schreider et al., 2002; Sreedevi et al., 2006).

Debido a que el manejo de la evaporación (p. ej. cambiar la evaporación del suelo no benéfica por transpiración benéfica) no impacta directamente la escorrentía local, esta estrategia crea una gran oportunidad para mejorar rendimientos en la agricultura de secano sin afectar a los usuarios de agua y ecosistemas aguas abajo. Comparativamente, las estrategias de cosecha de agua que disminuyen la escorrentía pueden tener efectos negativos aguas abajo. Sin embargo, capturar escorrentía cerca de la fuente, como es el caso de los sistemas de cosecha de agua, puede generar menores pérdidas de agua de consumo al reducir la transmisión de pérdidas generadas en el flujo de escorrentía superficial a los ríos aguas abajo. Sin embargo, esta teoría no ha sido verificada. La captura de escorrentía puede también reducir la degradación de la tierra causada por la erosión del agua, mejorar la calidad del agua y retener agua en altitudes elevadas, donde puede ser utilizada para extender riego complementario por gravedad (Bewket y Sterk, 2005). En algunos casos la conversión de ecosistemas naturales en agricultura ha reducido la evapotranspiración (Gerten et al., 2005) y la forestación ha mostrado la reducción de escorrentía en Sudáfrica (Jewitt et al. 2004). Expandir el área de cultivo puede incrementar la escorrentía, dependiendo del uso de la tierra original. Los impactos aguas abajo de esfuerzos de cosecha de agua a gran escala y cambios en el uso de la tierra son muy específicos para cada sitio. Se requiere investigación hidrológica a la escala de cuenca para mejorar el entendimiento de los impactos.

El agua juega un rol crítico en el sostenimiento de los servicios de ecosistemas terrestres y acuáticos (Falkenmark et al., 2007) y en mantener su resiliencia para afrontar estados críticos tales como sequías e inundaciones

extremas (Floke et al., 2002). El mantenimiento de los servicios de los ecosistemas en un paisaje agrícola puede ser útil para el manejo de recursos de agua. Por ejemplo, sostener una configuración espacial con diferentes tipos de usos de la tierra (p. ej. bosque, pastos, humedales, tierra de cultivo) puede conservar los recursos de agua verde y azul, mejorar la tasa de liberación del agua azul e incrementar la fuente de ingresos. Esto es particularmente relevante para sistemas de secano bajo un clima cambiante con situaciones críticas más frecuentes. Las tendencias durante los últimos 50 años indican que la expansión de la tierra agrícola ha sido la mayor causa de la degradación de los servicios ecosistémicos (MA, 2005). Considerando los Objetivos de Desarrollo del Milenio relativos al hambre, se requiere que la tierra agrícola se expanda 0.7% por año (Rockström et al., 2007), ejerciendo aún mayor presión sobre los ecosistemas.

## 6. Hacia un cambio de paradigma en el manejo del agua para la agricultura de secano

A pesar de numerosas oportunidades para promover la agricultura de secano a través de nuevas inversiones en el manejo del agua, para reducir las brechas de rendimiento y mejorar la productividad del agua; los esfuerzos en este área han sido bastante escasos. Ahora se requieren nuevas políticas para el manejo del agua, e inversiones en capacidad humana, investigación, desarrollo institucional y tecnologías específicas.

Las nuevas políticas deben estar basadas en una perspectiva ecohidrológica en la cual la precipitación se considere como un recurso de agua dulce (Falkenmark y Rockström, 2004). Sin embargo, el enfoque para el Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH) continúa siendo la planeación; asignar y manejar recursos de agua azul para riego; la industria y el suministro de

agua. Mientras tanto se reconoce la necesidad de salvaguardar las funciones ambientales de los flujos de agua para el ecosistema acuático en ríos, lagos, humedales y estuarios. Además los servicios ecosistémicos claves, tales como la producción agrícola, dependen del agua verde en ecosistemas terrestres. De aquí que los recursos de agua verde y azul deben ser planeados y manejados en forma conjunta, conformando un nuevo y más amplio enfoque del MIRH.

En este cambio de paradigma, la cosecha de agua a escala local para la producción del cultivo será reconocida como un uso de agua productiva. Así, la gobernanza del recurso agua y el mantenimiento abarcan tanto la escala local de la micro-cuenca (zona de captación), el cual es relevante para muchos sistemas de agricultura de secano, y la más escala mayor de cuenca, con un enfoque en el que uno se considera dentro de otro.

Una implicación de las pruebas y argumentos de este trabajo es que un nuevo enfoque de MIRH debería centrarse más en la reducción de escala de gestión de los recursos hídricos desde la escala de cuenca a una escala menor de subcuenca. (generalmente por debajo de 1000 km<sup>2</sup>). Un análisis integrado de los recursos hídricos a través de las escalas puede ilustrar interesantes oportunidades para lograr beneficios mutuos entre las inversiones de agua verde aguas arriba (tales como La captación de agua) y las implicaciones para los usos del agua río abajo (tales como la reducción en la sedimentación).

En agricultura de secano, debe hacerse énfasis en la seguridad del agua para superar las sequías cortas críticas inesperadas e incrementar la productividad del agua a través de nuevas opciones tecnológicas de manejo de agua, facilitadas a través de intervenciones políticas e institucionales. Esto debe ser hecho, sin debilitar la resiliencia de paisajes agrícolas.

Una consecuencia natural de la re-orientación del manejo del recurso hídrico, desde la precipitación como recurso de agua dulce, es abandonar la actual división (artificial) entre agricultura de riego y de secano. Los sistemas



de agricultura de riego generalmente dependen, en parte, de contribuciones de agua verde. En cambio, la vía más prometedora para promover agricultura de secano en regiones con limitaciones de agua es invertir en opciones de manejo de agua azul, tales como riego complementario. Romper esta dualidad del manejo hídrico será un paso estratégico importante hacia el aumento de la prioridad institucional en relación con las inversiones en agricultura de secano. Esto también proveerá un abanico más amplio de alternativas de manejo, desde sistemas totalmente de secano hasta sistemas completamente de riego.

También se necesitan inversiones en instituciones locales, tales como organizaciones de agricultores, y esquemas de crédito a pequeña escala, particularmente importantes en este contexto considerando que muchas familias rurales no pueden pagar los costos iniciales para la cosecha de agua a pequeña escala (Fox et al., 2005). Las inversiones públicas en infraestructura como carreteras son cruciales para que la producción de la finca pueda ser transportada a los mercados. Además, los inversionistas privados deben ser atraídos a la inversión en agricultura de secano. También se requiere invertir en el desarrollo de capacidades, dado que la falta de conocimiento en el campo y entre el personal que ofrece servicios de extensión sobre la cosecha de agua y la agricultura de conservación puede limitar los rendimientos en áreas de secano (Rockström et al., 2009a). Es necesario generar iniciativas de desarrollo, puesto que las mujeres juegan un papel primordial en la agricultura, particularmente en áreas de secano. Finalmente, son necesarias las inversiones en investigación para aminorar la brecha entre rendimientos alcanzables y rendimientos potenciales.



## 7. Conclusiones

La Evaluación General de Manejo de Agua en Agricultura destaca la urgente necesidad de nuevas inversiones en el manejo de agua para la agricultura que aborde las demandas futuras de alimento, teniendo en cuenta la creciente presión sobre los recursos hídricos y la incertidumbre ocasionada por el cambio climático. La agricultura de secano continuará jugando un rol dominante para proveer alimentos y generar medios de vida, particularmente en países pobres. Las zonas críticas del mundo, en términos de agua, alimento y medios de vida, se localizan en regiones secas: p. ej. regiones de estepa y sabana. Los objetivos políticos en aquellas áreas deben incluir: (1) duplicar la productividad agrícola con los recursos de agua existentes; (2) mejorar el conocimiento e implementar estrategias asequibles para lograr los niveles potenciales de productividad de suelo y agua; (3) llevar a cabo más investigaciones sobre los posibles efectos en cascada en las cuencas y a escala de cuenca, debido a la adopción a gran escala de tecnologías hídricas para la agricultura.

Promover la agricultura de secano en las zonas críticas por agua durante los próximos 50 años requerirá el mismo nivel de concertación en la gobernanza del agua y las prioridades de manejo dadas a la agricultura de riego durante los pasados 50 años. Esto incluirá esfuerzos que implican capacidades institucionales, estrategias políticas, generación de conocimiento y financiamiento. La actual falta de gobernanza, manejo, y priorización de inversión dada a la promoción de la agricultura de secano, en países en desarrollo, a menudo se justifica por el potencial "marginal" en zonas de secano y la escasez de agua como uno de los problemas principales en zonas "secas". Sin embargo, las limitaciones por agua no siempre están relacionadas con la escasez absoluta de agua, sino más bien con la variabilidad en la provisión. El manejo de agua para superar sequías cortas críticas

inesperadas puede reducir los riesgos de manera importante. Los bajos rendimientos y la baja productividad del agua, debido en gran parte a flujos de agua no productiva, ofrecen un conjunto de oportunidades, que pueden lograrse implementando un nuevo enfoque de MIRH que considere conjuntamente los recursos de agua verde y azul desde la escala de microcuenca a la escala de cuenca.

## Bibliografía

Agarwal, A., 2000. Drought? Try capturing the rain. Briefing Paper. Centre for Science and Environment, New Delhi.

Barron, J., Rockstroöm, J., Gichuki, F., Hatibu, N., 2003. Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in East Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 117 (1–2), 23–37.

Bewket, W., Sterk, G., 2005. Dynamics in land cover and its effects on stream flow in the Chemoga watershed, Blue Nile, Ethiopia. *Hydrological Processes* 19, 445–458.

Calder, I.R., 1999. *The Blue Revolution: Land Use and Integrated Water Resources Management*. Earthscan, London.

Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007. En: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute (IWMI). Earthscan, London, UK.

Conway, G., Toenniessen, G., 1999. Feeding the world in the 21st century. *Nature* 402, 55–58.

Dancette, C., 1983. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *L'Agronomie Tropicale* 38 (4), 281–294.

de Fraiture, C., Wichelns, D., Rockstroöm, J., Kemp-Benedict, E., Eriyagama, N., Gordon, L.J., Hanjra, M.A., Hoogeveen, J., Huber-Lee, A., Karlberg, L., 2007. Looking Ahead to 2050: Scenarios of alternative investment approaches. En: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute, London, pp. 91–145.

Derpsch, R., 1998. Historical review of no-tillage cultivation of crops. En: Benites, J., Chuma, E., Fowler, R., Kienzle, J., Molapong, K., Manu, J., Nyagumbo, I., Steiner, K., van Veenhuizen, R. (Eds.), *Conservation Tillage for Sustainable Agriculture*. Proceedings from an International Workshop, Harare, 22–27 June. Part II (Annexes). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany.

Derpsch, R., 2005. The extent of conservation agriculture adoption worldwide: implications and impact. Keynote Paper at the 3rd World Congress on Conservation Agriculture, Regional Land Management Unit, World Agroforestry

Centre, 3–7 October, Nairobi.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1992. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. Food and Agriculture Organization, Rome.

Evenari, M., Shanan, L., Tadmor, N.H., 1971. The Negev: The Challenge of a Desert. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Falkenmark, M., 1986. Fresh water—time for a modified approach. *Ambio* 15 (4), 192–200.

Falkenmark, M., Rockström, J., 2004. Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology. Earthscan, London.

Falkenmark, M., Finlayson, C.M., Gordon, L.J., et al., 2007. Agriculture, water and ecosystems: avoiding the costs of going too far. En: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute (IWMI). Earthscan, London, UK.

Fan, S., Hazell, P., Haque, P., 2000. Targeting public investments by agro-ecological zone to achieve growth and poverty alleviation goals in rural India. *Food Policy* 25 (4), 411–428.

FAOSTAT, 2005. Database. Food and Agriculture Organization, Rome. <http://faostat.fao.org/> (accessed November 2005).

Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., Walker, B., Bengtsson, J., Berkes, F., Colding, J., Danell, K., Falkenmark, M., Gordon, L., Kaspersen, R., Kautsky, N., Kinzig, A., Levin, S., Maeler, K.-G., Moberg, F., Ohlsson, L., Olsson, P., Ostrom, E., Reid, W., Rockström, J., Savenije, H., Svedin, U., 2002. Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. ICSU Series on Science for Sustainable Development No. 3. ICSU, Paris, France, p. 37.

Fox, P., Rockström, J., Barron, J., 2005. Risk analysis and economic viability of water harvesting for supplemental irrigation in semi-arid Burkina Faso and Kenya. *Agricultural Systems* 83 (3), 231–250.

Gerten, D., Hoff, H., Bondeau, A., Lucht, W., Smith, P., Zaehle, S., 2005. Contemporary “green” water flows: simulations with a dynamic global vegetation and water balance model. *Physics and Chemistry of the Earth* 30, 334–338.

Hatibu, N., Lazaro, E.A., Mahoo, H.F., Rwehumbiza, F.B., Bakari, A.M., 1999. Soil and water conservation in semi-arid areas of Tanzania: national policies and local practices. *Tanzania Journal of Agricultural Sciences* 2 (2), 151–170.

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.

Hobbs, P.R., Gupta, R.K., 2002. Rice–wheat cropping systems in the Indo-Gangetic plains: issues of water productivity in relation to new resource conserving technologies. En: Kijne, J.W. (Ed.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Government of India, 2005. *Serving Farmers and Saving Farming – 2006: A Year of*

Agricultural Renewal. Third Report. New Delhi, Ministry of Agriculture, National Commission on Farmers. India.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate Change 2007. Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Irz, X., Roe, T., 2000. Can the world feed itself? Some insights from growth theory. *Agrekon* 39 (3), 513–528.

Jewitt, G.P.W., Garrat, J.A., Calder, I.R., Fuller, L., 2004. Water resources planning and modelling tools for the assessment of land use change in the Luvuvhu Catchment, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 29, 1233–1241.

Klaij, M.C., Vachaud, G., 1992. Seasonal water balance of a sandy soil in Niger cropped with pearl millet, based on profile moisture measurements. *Agricultural Water Management* 21 (4), 313–330.

Landers, J.N., Mattana Saturnio, H., de Freitas, P.L., Trecenti, R., 2001. Experiences with farmer clubs in dissemination of zero tillage in tropical Brazil. En: Garcí'a-Torres, L., Benites, J., Martí'nez-Vilela, A. (Eds.), *Conservation Agriculture, A Worldwide Challenge*. Food and Agriculture Organization, Rome.

MA, 2005. Millennium ecosystem assessment, ecosystems and human well-being: current status and trends. En: Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds.), *Fresh water*, vol. 1. Island Press, Washington/London/Covelo, Chapter 7. En: <http://www.millenniumassessment.org/en/Products.Global.Condition.aspx>.

Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Keller, J., 2001. Hydronomic Zones for Developing Basin Water Conservation Strategies. Research Report 56, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, 30 pp.

Molle, F., 2003. Development Trajectories of River Basins—A Conceptual Framework. Research Report 72, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, 31 pp.

Molle, F., Wester, P., Hirsch, P., Jensen, J.R., Murray-Rust, H., Paranjpye, S., Zaag, P. van der, 2007. River basin development and management. En: Molden, D. (Ed.), *Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London, pp. 585–625.

Oweis, T., 1997. Supplemental Irrigation: A Highly Efficient Water-use Practice. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria.

Oweis, T., Hachum, A., 2001. Reducing peak supplemental irrigation demand by extending sowing dates. *Agricultural Water Management* 50 (2), 109–123.

Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I: Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46 (1), 1–13.

Rockstro'm, J., 2003. Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. *Royal Society Transactions B: Biological Sciences* 358 (1440), 1997–2009.

Rockström, J., Falkenmark, M., 2000. Semiarid crop production from a hydrological perspective: gap between potential and actual yields. *Critical Reviews in Plant Science* 19 (4), 319–346.

Rockström, J., Jansson, P.-E., Barron, J., 1998. Seasonal rainfall partitioning under runoff and runoff conditions on sandy soil in Niger. On-farm measurements and water balance modelling. *Journal of Hydrology* 210 (1–4), 68–92.

Rockström, J., Falkenmark, M., Lannerstad, M., 2007. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (15), 6253–6260.

Rockström, J., Kaumbutho, P., Mwalley, J., Nzabi, A.W., Temesgen, M., Mawenya, L., Barron, J., Damgaard-Larsen, S., 2009a. Conservation farming strategies in East and Southern Africa: a regional synthesis of crop and water productivity from on-farm action research. *Soil and Tillage Research* 103, 23–32.

Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S., Gerten, D., 2009b. Future water availability for global food production: the potential of green water to build resilience to global change. *Water Resources Research* 44, doi:10.1029/2007WR006767.

Rosegrant, M., Ximing, C., Cline, S., Nakagawa, N., 2002. The Role of Rainfed Agriculture in the Future of Global Food Production. EPTD Discussion Paper 90. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Environment and Production Technology Division, Washington, DC. <http://www.ifpri.org/divs/eptd/dp/papers/eptdp90.pdf>.

Schreider, S.Yu., Jakeman, A.J., Letcher, R.A., Nathan, R.J., Neal, B.P., Beavis, S.G., 2002. Detecting changes in streamflow response to changes in non-climatic catchment conditions: farm dam development in the Murray–Darling basin, Australia. *Journal of Hydrology* 262 (1–4), 84–98.

Seckler, D., Amarasinghe, U., 2004. Major problems in the global water–food nexus. En: Scanes, C., Miranowski, J. (Eds.), *Perspectives in World Food and Agriculture 2004*. Iowa State Press, Ames, Iowa.

SEI (Stockholm Environment Institute), 2005. Sustainable Pathways to Attain the Millennium Development Goals—Assessing the Role of Water, Energy and Sanitation. Document prepared for the UN World Summit, 14 September, New York. Stockholm.

Siegert, K., 1994. Introduction to water harvesting: some basic principles for planning, design and monitoring. En: *Water Harvesting for Improved Agricultural Production*. Proceedings of the FAO Expert Consultation, 21–25 November 1993, Cairo. Water Report 3. Food and Agriculture Organization, Rome.

Sreedevi, T.K., Shiferaw, B., Wani, S.P., 2004. Adarsha Watershed in Kothapally: Understanding the Drivers of Higher Impact. Global Theme on Agroecosystems Report 10. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Andhra Pradesh, India.

Sreedevi, T.K., Wani, S.P., Sudi, R., Mahesh, S., Patel, J.T., Singh, S.N., Tushar, S., 2006. On-site and Off-site Impact of Watershed Development: A Case Study of Rajasamadhiyala, Gujarat, India. Global Theme on Agroecosystems, Report no. 20. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, 48 pp.

Stewart, J.I., 1988. Response Farming in Rainfed Agriculture. The WHARF Foundation Press, Davis, Calif.

Stoorvogel, J.J., Smaling, E.M.A., 1990. Assessment of Soil Nutrient Depletion in Sub-Saharan Africa: 1983–2000, vol. 1, Main Report. Report 28. Winand Staring Centre, Wageningen, Netherlands.

Tanzania Ministry of Agriculture, Food Security, 2003. Study on Irrigation Master Plan. Tanzania Ministry of Agriculture and Food Security (MAFS), Dar es Salaam,

UN Millennium Project, 2005. Halving Hunger: It Can Be Done. Summary version of the report of the Task Force on Hunger. The Earth Institute at Columbia University, New York, USA.

UNStat, 2005. United Nations Statistics Division, Statistical databases. <http://unstats.un.org/unsd/default.htm> (accessed December 2005).

Wani, S.P., Pathak, P., Jangawad, L.S., Eswaran, H., Singh, P., 2003a. Improved management of vertisols in the semiarid tropics for increased productivity and soil carbon sequestration. *Soil Use and Management* 19 (3), 217–222.

Wani, S.P., Pathak, P., Sreedevi, T.K., Singh, H.P., Singh, P., 2003b. Efficient management of rainwater for increased crop productivity and groundwater recharge in Asia. En: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing and International Water Management Institute, Wallingford, UK, and Colombo.

World Bank, 2000. Spurring Agricultural and Rural Development. En: *Can Africa Claim the 21st Century?* Washington, DC.

World Bank, 2005. *Agricultural Growth for the Poor: An Agenda for Development*. World Bank, Washington, DC.

Zhang, H., Oweis, T., 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 38 (3), 195–211.

Zhang, X., Zwiers, F.W., Hegerl, G.C., Lambert, F.H., Gillett, N.P., Solomon, S., Stott, P.A., Nozawa, T., 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 448, 461–466.

