

LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS COMUNIDADES CAMPESINAS Y DE AGRICULTORES TRADICIONALES Y SUS RESPUESTAS ADAPTATIVAS

Miguel A Altieri, Clara Nicholls

Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, 137 Mulford Hall-3114, Berkeley, CA 94720-3114. E-mail: agroeco3@nature.berkeley.edu

Resumen

La mayoría de los modelos de cambio climático predicen que los daños serán compartidos de manera desigual por agricultores pequeños del tercer mundo, y particularmente por aquellos que dependen de las lluvias. El incremento en temperatura, sequía, precipitaciones fuertes, etc.; podrían reducir la productividad hasta en un 50% en algunas regiones, especialmente en zonas secas. Algunos investigadores predicen que en la medida que el cambio climático reduzca los rendimientos, los efectos sobre el bienestar de las familias dedicadas a la agricultura de subsistencia pueden ser muy severos, especialmente si el componente de productividad es reducido.

Los modelos existentes proporcionan en el mejor de los casos una aproximación somera a los efectos esperados y ocultan la enorme variabilidad en estrategias internas de adaptación que exhiben muchos agricultores. Muchas de las comunidades rurales dominadas por agricultura tradicional, parecen arreglárselas pese fluctuaciones extremas del clima. De hecho muchos agricultores se adaptan e incluso se preparan para el cambio climático, minimizando las pérdidas en las cosechas mediante el incremento en el uso de variedades locales tolerantes a la sequía, cosecha de agua, policultivos, agroforestería, colecta de plantas silvestres y una serie de otras técnicas. Dado esto, se hace necesario reevaluar la tecnología indígena como fuente clave de información en estrategias adaptativas centradas en las capacidades selectivas, experimentales y resilientes de agricultores al enfrentar el cambio climático. Entender los rasgos agroecológicos y mecanismos de adaptación y resiliencia de los sistemas pequeños de agricultura es esencial para diseñar una estrategia de desarrollo de agroecosistemas sostenibles en esta nueva era de variabilidad climática.

Palabras clave: cambio climático, resiliencia, agroecosistemas tradicionales, capacidad adaptativa

Summary

The impacts of climate change on smallholder and traditional peasant communities and their adaptive responses.

Most models predict that small farmers will disproportionately share the negative effects of climate change, particularly those living in rainfed areas. Increases in temperature, droughts, hurricanes, etc could reduce productivity up to 50% in certain regions. Many researchers assert that while climate change reduces yields, the effects on the livelihoods of subsistence farmers could be severe.

Existing models however provide a mere approximation of the expected effects and in most cases hide the enormous variability in the adaptive responses exhibited by hundreds of rural communities throughout the Third World. Many traditional communities seem to cope and even adapt to extreme weather fluctuations. In fact many farmers even prepare to changing climate conditions minimizing yield reductions through the use of tolerant local varieties, polycultures, agroforestry systems, water harvesting, organic soil fertilization, and a variety of other techniques. Given this, it is imperative to re-evaluate indigenous knowledge and technologies as a key source of information of adaptive strategies centered on the experimental and innovative capacities of small farmers when confronting climate change. Understanding the agroecological adaptive and resilient mechanisms of small farmers is vital to design new agroecosystems in an era of climate change.

Keywords: climate change, traditional agroecosystems, resiliency, adaptive capacity

Introducción

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos ya que variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos (por ejemplo: precipitación, temperatura, etc.) podrían ser severamente afectadas y así impactar la producción agrícola. Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varía ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios anticipados tengan grandes efectos y de gran envergadura principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline 2007). Los peligros incluyen el incremento en las inundaciones en las áreas bajas, mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo en áreas semiáridas, condiciones que en su conjunto pueden limitar el crecimiento de los cultivos y sus rendimientos (Howden 2007).

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) advirtió que el calentamiento para el 2100 será el peor que se haya esperado con un incremento de la temperatura probablemente de 1.8 a 4 °C y un posible aumento de hasta 6.4 °C. A medida que las temperaturas continúan elevándose, el impacto en la agricultura será significativo (Doering *et al* 2002). Estos impactos están siendo ya experimentados por muchas comunidades en los países del sur, donde también se espera un aumento en las precipitaciones, las cuales dañarán aun más los cultivos debido a la erosión y en algunos casos a inundaciones. Un incremento en la intensidad de los ciclones tropicales causará daño en los cultivos en ecosistemas costeros, mientras que al subir el nivel del mar los acuíferos costeros se salinizarán. Las islas del Pacífico y los grandes deltas ya están siendo afectados por estos fenómenos.

La mayoría de los pobres rurales del mundo (cerca de 370 millones) viven en áreas pobres en recursos, altamente heterogéneas y propensas al riesgo. Los sectores más pobres están ubicados con frecuencia en zonas áridas o semiáridas, y en montañas y colinas que son ecológicamente vulnerables (Conway 1997). En muchos países, en especial la gente con bajos niveles de ingresos, son ahora forzados a vivir en áreas expuestas y marginales (por ejemplo: áreas inundables, zonas de laderas expuestas, y tierras áridas o semiáridas), poniéndolos en riesgo a los impactos negativos del cambio climático. Para esta gente, aun los cambios menores en el clima pueden tener un impacto desastroso en sus vidas y fuentes de sustento. Las implicaciones pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos potencialmente afectados (p. ej. maíz, frijoles, papas, arroz, etc.) para su seguridad alimentaria. Muchos investigadores expresan mayor

preocupación por áreas donde la agricultura de subsistencia es la norma, porque la disminución de tan solo una tonelada de productividad podría llevar a grandes desequilibrios en la vida rural (Jones y Thornton 2003).

Muchos estudios y modelos predicen una disminución de la seguridad alimentaria en países en desarrollo asumiendo escenarios de severos cambios en el clima, poco crecimiento económico, incremento en los precios de los alimentos, crecimiento rápido de la población y poca capacidad de adaptación a los cambios a nivel de fincas (Reddy y Hodges 2000). Los modelos existentes en el mejor de los casos proporcionan una aproximación superficial de los efectos esperados y ocultan la enorme variabilidad en cuanto a estrategias internas de adaptación.

Entre las comunidades rurales dominadas por agricultura tradicional, los agricultores parecen afrontar la situación a pesar de las fluctuaciones del clima (Mortimore y Adams 2001). De hecho investigaciones recientes sugieren que muchos agricultores se las adaptan e incluso se preparan para el cambio climático, minimizando las pérdidas en productividad mediante el uso incrementado de variedades locales tolerantes a la sequía, cosecha de agua, policultivos, agroforestería, desyerbe oportuno, colecta de plantas silvestres y una serie de otras técnicas. Dado esto se hace necesario reevaluar la tecnología indígena como fuente clave de información sobre la capacidad adaptativa que exhiben algunos agricultores para enfrentar el cambio climático (Altieri 2002).

En países de África, Asia y Latinoamérica los agricultores tradicionales han desarrollado y/o heredado sistemas agrícolas complejos situados en ambientes hostiles. Estos sistemas han sido manejados de manera ingeniosa permitiendo que las familias de pequeños agricultores resuelvan sus necesidades de subsistencia en condiciones ambientales variables sin depender de las tecnologías agrícolas modernas (Denevan 1995). Aunque muchos de estos sistemas han colapsado o desaparecido en muchas partes del tercer mundo, la persistencia de millones de hectáreas bajo agricultura tradicional es prueba viviente de una estrategia agrícola indígena exitosa que constituye un tributo a la "creatividad" de los pequeños agricultores de los países en desarrollo (Wilken 1987). Aún hoy, en la primera década del siglo XXI hay en el mundo millones de pequeños agricultores tradicionales y/o indígenas practicando tipos de agricultura que proporcionan resiliencia notable a los agroecosistemas ante los continuos cambios económicos y ambientales, además de contribuir substancialmente a la seguridad alimentaria a nivel local, regional y nacional (Netting 1993). Este artículo describe los impactos del cambio climático en comunidades agrícolas de pequeños agricultores tradicionales y las características agroecológicas de los sistemas agrícolas indígenas, que pueden servir de base para el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático.

La agricultura campesina y tradicional: extensión y significancia

En América latina, las unidades de producción campesinas alcanzaron cerca de 16 millones a finales de los años '80 ocupando cerca de 60,5 millones de hectáreas, o 34,5% del total la tierra cultivada; la población campesina incluye a 75 millones de personas que representan casi dos tercios de la población rural total de América latina (Ortega 1986, Browder 1989). El tamaño medio de finca de estas unidades es cercano a tan solo 1,8 hectáreas, sin embargo, la contribución de la agricultura campesina al suministro de alimentos general en la región es significativa. En los años 80, aproximadamente 41% de la producción agrícola destinada para consumo doméstico provino de la agricultura campesina, la cual es responsable de producir a nivel regional el 51% del maíz, el 77% de los frijoles, y el 61% de las papas. Sólo en el Brasil, hay cerca de 4,8 millones de familias de agricultores familiares (alrededor del 85% del total de agricultores) que ocupan el 30% del total de la tierra agrícola del país. Dichas familias de agricultores controlan cerca del 33% del área sembrada en maíz, el 61% en frijoles, y el 64% de aquellas tierras cultivadas en yuca, produciendo así el 84% de la yuca total y el 67% de todas las frijoles para el consumo nacional. En Ecuador, el sector campesino ocupa más del 50% del área dedicada a los cultivos alimenticios tales como maíz, frijoles, cebada y papa. En México, los campesinos ocupan por lo menos el 70% del área destinada al maíz y el 60% del área en frijoles (Toledo *et al.* 1985).

Además del sector campesino y de los agricultores familiares, hay cerca de 50 millones de personas que pertenecen a unos 700 grupos indígenas étnicos quienes viven y utilizan las regiones tropicales húmedas de la región. Cerca de 2 millones de ellos viven en el Amazonas y México meridional. En México, la mitad de las zonas tropicales húmedas son utilizadas por las comunidades indígenas y los "ejidos" en los cuales se desarrollan sistemas integrados de agricultura-silvicultura con la producción dirigida hacia la subsistencia y mercados a nivel local y regional (Toledo *et al.* 1985).

África tiene aproximadamente 33 millones de fincas pequeñas, representando 80% de todas las fincas en la región. La mayoría de agricultores africanos (muchos de ellos son mujeres) son pequeños pero que controlan dos tercios de todas las fincas con área inferior a 2 hectáreas y el 90% de fincas menores a 10 hectáreas. La mayoría de los pequeños agricultores practican una agricultura de "bajos-insumos" basada sobre todo en el uso de recursos locales, y a veces con uso modesto de insumos externos. Esta agricultura de bajos-insumos produce la mayoría del grano; casi todas las raíces, cosechas de tubérculos y plátanos, y la mayoría de legumbres. La mayoría de los cultivos alimenticios básicos son producidos por pequeños agricultores prácticamente

sin utilización o poco uso de los fertilizantes y semillas mejoradas (Richards 1985). Sin embargo, esta situación ha cambiado en las últimas dos décadas en tanto que la producción de alimento per capita ha disminuido en África. Alguna vez autosuficientes en cereales, África ahora tiene que importar millones de toneladas para llenar el vacío. A pesar del incremento en las importaciones, los pequeños agricultores producen la mayor parte del alimento de África (Beets 1990).

En Asia, solamente China, posee casi la mitad de las pequeñas fincas de la región (193 millones de hectáreas), seguidas por la India con 23 por ciento, y seguidas por Indonesia, Bangladesh, y Vietnam. La mayoría de los más de 200 millones de agricultores que viven en Asia poseen fincas con menos de 2 hectáreas de arroz. Tan solo en China hay probablemente 75 millones de agricultores de arroz quienes aun practican métodos similares a los utilizados hace más de mil años. La mayoría del arroz producido por los pequeños agricultores asiáticos se produce en condiciones de pendiente y dependientes de lluvias (Uphoff 2002).

Los impactos del cambio climático en la producción agrícola de comunidades de pequeños agricultores

Los pequeños agricultores (además de los que no poseen tierras y pobres urbanos) están entre los grupos más postergados y más vulnerables del mundo en desarrollo. A nivel global, cerca de 55% de los hogares de pequeños agricultores se encuentran por debajo de la línea de pobreza. La mayoría de los modelos del cambio climático predicen que los daños serán compartidos de forma desproporcionada por los pequeños agricultores del tercer mundo, y particularmente agricultores que dependen de regímenes de lluvia impredecibles. En algunos países africanos, la mayor parte de la producción agrícola depende de la lluvia, la cual podría reducirse en un 50% antes del 2020. Según las proyecciones, la producción agrícola en muchos países africanos se verá afectada seriamente especialmente en zonas semi áridas. Cerca del 70% de los africanos dependen directamente de las tierras secas y semi-húmedas para sus sustentos diarios (Rosenzweig y Hillel 1998).

Jones y Thornton (2003) predicen una reducción total del 10% en la producción del maíz en el año 2055 en África y América Latina, equivalente a pérdidas de \$2 mil millones por año, afectando principalmente a 40 millones de agricultores pobres en diferentes sistemas de América Latina y 130 millones de ellos en África sub-Sahariana. Estas pérdidas de la producción se intensificarán de acuerdo al incremento en las temperaturas y las diferencias en la precipitación lo cual conduce a una menor producción de maíz. Algunos investigadores predicen que como el cambio climático reduce la producción de los cultivos, los efectos sobre el bienestar de las familias de agricultores de subsistencia serán muy

severos, especialmente si el componente de la productividad de subsistencia se reduce. Estos cambios en la calidad y la cantidad de producción pueden afectar la productividad del trabajo de los agricultores e incluso afectar negativamente la salud de sus familias (Rosenzweig y Hillel 1998).

Efectos físicos del cambio climático sobre la agricultura

Se predice que el calentamiento global dará lugar a una variedad de efectos físicos incluyendo el aumento en la temperatura del agua del mar, junto con la pérdida parcial de glaciares, cuyo resultado será un incremento del nivel del mar el cual puede estar en el rango de 0,1 a 0,5 metros hacia mediados de siglo, según las actuales estimaciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Tales incrementos podrían plantear una amenaza a la agricultura en las áreas costeras, donde se ve afectado el drenaje de agua superficial y subterránea, así como también puede ocurrir la intrusión del agua de mar en los estuarios y acuíferos. En partes de Egipto, Bangladesh, Indonesia, China, y de otras áreas costeras que ya presentan drenajes empobrecidos, es probable que la agricultura llegue a ser cada vez más difícil de sostener. Algunas islas del Pacífico ya están particularmente en riesgo (Rosenzweig y Hillel 2008).

Un impacto potencialmente significativo del cambio climático para la producción de las pequeñas fincas es la pérdida de materia orgánica del suelo debido al calentamiento de este. Temperaturas más altas del aire pueden acelerar la descomposición de materia orgánica, e incrementar las tasas en otros procesos del suelo que afecten su fertilidad. Bajo un suelo más seco las condiciones de crecimiento de raíces y la descomposición de materia orgánica se suprimen significativamente, y dado que la cobertura del suelo disminuye, la vulnerabilidad a la erosión por viento incrementa especialmente si los vientos se intensifican. En algunas áreas, se espera un incremento en la precipitación convectiva (causada por gradientes más fuertes de temperatura y presión y más humedad atmosférica) lo cual puede causar erosión severa del suelo, en especial en laderas.

Las condiciones que son generalmente más favorables para la proliferación de los insectos plagas se dan en climas más calientes. Estaciones de crecimiento más largas pueden permitir a varias especies de insectos plagas completar un mayor número de ciclos reproductivos durante primavera, verano, y otoño. Temperaturas más calientes en invierno también pueden permitir a las larvas sobrevivir en áreas donde ahora están limitadas por el frío, causando así una mayor infestación durante la siguiente estación de cosecha. La mayoría de los estudios han concluido que los insectos plagas serán generalmente más abundantes a medida que la temperatura aumenta, con un número de procesos correlacionados, incluyendo las posibilidades de extensión y cambios fenológicos,

así como índices crecientes del desarrollo de población, crecimiento, migración e hibernación. Se espera que las plagas migratorias respondan más rápidamente al cambio climático que las plantas, ya que es posible que puedan colonizar nuevos cultivos y hábitats. Un incremento gradual del CO₂ atmosférico afectará directamente a las especies de plagas por efecto de la fertilización por CO₂ e indirectamente vía interacciones con otras variables ambientales. Sin embargo, respuestas individuales de las especies al CO₂ elevado variarán. Algunos experimentos recientes en condiciones de CO₂ elevado han sugerido que los áfidos pueden llegar a ser plagas más serias, aunque otros estudios no han discernido ningún efecto significativo sobre otras especies de homópteros. En general poco se sabe los efectos de estos cambios sobre la dinámica poblacional de cientos de especies de plagas.

Los modelos sobre efectos en enfermedades de plantas indican que el cambio climático podría alterar etapas y tasas del desarrollo de ciertos patógenos, modificando la resistencia del hospedero, y dando lugar a cambios en la fisiología de las interacciones entre hospedero y patógeno. Las consecuencias más probables son cambios en la distribución geográfica de hospederos y patógenos e incrementos en las pérdidas en cosechas, causados en parte por los cambios en la eficacia de las estrategias de control bajo nuevos escenarios climáticos. Los patrones alterados del viento pueden cambiar la dispersión de bacterias y hongos y por lo tanto la diseminación de enfermedades foliares. La literatura limitada en esta área sugiere que el impacto más probable del cambio climático será sentido como pérdidas debido a enfermedades que cambian su distribución geográfica. En general se esperan incrementos en temperatura y humedad y se predice que muchos patógenos incrementan su severidad.

Los posibles aumentos en infestaciones debidas a plagas y enfermedades pueden llevar al mayor uso de pesticidas químicos para controlarlos, situación que puede incrementar costos de producción y también problemas ambientales asociados al uso de agroquímicos tóxicos. Por supuesto ésta no será la estrategia seguida por los pequeños agricultores quienes utilizan los policultivos, agroforestería u otras formas de sistemas diversificados para prevenir las infestaciones de insectos ya sea porque una cosecha puede ser plantada como hospedero diverso, protegiendo otros cultivos más susceptibles o económicamente más valiosos o porque los cultivos que crecen simultáneamente promueven la abundancia de predadores y parásitos que regulan en forma biológica las densidades de plagas (Altieri y Nicholls 1999).

Estrategias de adaptación utilizadas por pequeños agricultores para aumentar la resiliencia de sus sistemas a la variabilidad climática

Resolver el problema de rendimientos variables es crucial para la supervivencia de los agricultores que viven en

ambientes marginales donde las condiciones agro-climáticas son un desafío. El manejo del riesgo es una preocupación importante de las familias rurales en tales ambientes y el único mecanismo seguro disponible para estos agricultores se deriva del uso de *autogestión inventiva, conocimiento experimental, y uso de recursos locales disponibles*.

En muchas áreas del mundo los campesinos han desarrollado a menudo sistemas agrícolas adaptados a las condiciones locales permitiendo a los agricultores generar la producción continua necesaria para subsistir, a pesar de dotaciones marginales de tierra, variabilidad climática y el bajo uso de insumos externos (Wilken 1987, Denevan 1995). Parte de este desempeño está relacionado con los altos niveles de agrobiodiversidad exhibidos por los agroecosistemas tradicionales, los cuales influyen positivamente la función del agroecosistema (Vandermeer 2002). La diversificación es por lo tanto una estrategia importante para el manejo del riesgo de la producción en sistemas agrícolas pequeños.

En agroecosistemas tradicionales el predominio de sistemas complejos y diversificados es de gran importancia para la estabilidad de los campesinos, permitiendo que los cultivos alcancen niveles aceptables de productividad aun en condiciones de stress ambiental. En general, los agroecosistemas tradicionales son menos vulnerables a la pérdida catastrófica porque en ellos crece una variedad amplia de cultivos y variedades en varios arreglos espaciales y temporales, exhibiendo compensación en caso de pérdida.

1) Sistemas de cultivos múltiples o policultivos

Los policultivos exhiben una mayor estabilidad y menos declinaciones de la productividad durante una sequía que en el caso de monocultivos. Natarajan y Willey (1986) examinaron el efecto de la sequía en producciones con policultivos mediante tratamientos del stress hídrico con cultivos intercalados de sorgo (*Sorghum bicolor*), maní (*Arachis spp.*) y mijo (*Panicum spp.*). Todos los policultivos mostraron sobreproducción constante en cinco niveles de disponibilidad de humedad, en un rango desde 297 a 584 milímetros de agua aplicados en la época de siembra.

Sorprendentemente, la tasa de sobreproducción se vio actualmente incrementada con stress hídrico, tal que las diferencias relativas en productividad entre los monocultivos y policultivos se acentuaron más a medida que el stress incrementaba. Los policultivos exhibieron una mayor estabilidad y menos declinaciones de la productividad durante la sequía. Estos tipos de estudios ecológicos sugieren que comunidades más diversas de plantas son más resistentes al disturbio y más resilientes a las perturbaciones ambientales (Vandermeer 1981).

2) Uso de la diversidad genética local

Además de adoptar una estrategia de *diversidad intraspecifica*, muchos agricultores pobres también explo-

tan la *diversidad intraespecifica* mediante la siembra al mismo tiempo y en el mismo campo, de diversas variedades del mismo cultivo. En un examen mundial de la diversidad varietal de los cultivos en fincas que involucraban 27 cultivos, Jarvis *et al.* (2007) encontraron que aun se mantiene en finca una gran diversidad genética de cultivos en la forma de variedades tradicionales-criollas, especialmente de cultivos alimenticios importantes. En la mayoría de los casos, los agricultores mantienen la diversidad como seguro para enfrentar el cambio ambiental o futuras necesidades sociales y económicas. Muchos investigadores han concluido que la riqueza de variedades incrementa la productividad y reduce variabilidad de la producción, pero como DiFalco *et al.* (2007) encontraron en su estudio de la diversidad genética del trigo en las montañas de Etiopía, la riqueza debe alcanzar cierto umbral, pues al parecer la reducción de variabilidad en producción ocurre solamente con altos niveles de diversidad genética. Estos investigadores también encontraron que el efecto de la diversidad en la variación de producción varió con la degradación del suelo. El incremento en la degradación del suelo tiende a anular los efectos de la diversidad sobre la reducción en los riesgos de producción.

El tipo de diversidad que prevalece en diferentes áreas depende de condiciones climáticas y socioeconómicas y de la respuesta de los agricultores a estos factores. Por ejemplo, en las áreas secas del oeste de Asia y África del norte, la cebada es el único cultivo factible, especialmente las variedades sembradas por siglos y que son genéticamente heterogéneas. En ambientes similares con precipitación escasa en India, variedades localmente adaptadas del guandul (*Cajanus cajan*) combinan de manera única los perfiles nutricionales óptimos, alta tolerancia a stress ambiental, alta productividad de biomasa, nutrientes y aporte de humedad al suelo. Estas variedades que muestran alta variabilidad genética tienen un enorme potencial de siembra sin aprovechar en muchos ambientes marginales de África y otras partes amenazadas por el cambio climático. Generalmente en áreas con poca humedad, los agricultores prefieren cultivos tolerantes a la sequía (como *Cajanus*, papa dulce, yuca, mijo, y sorgo), y las técnicas de manejo enfatizan la cobertura del suelo (mulching) para reducir la evaporación y pérdida de humedad del suelo.

Hay variedades que tienen rasgos morfológicos y fisiológicos específicos que las hacen resistentes a los ambientes secos. Entre las variables medidas que demostraron condicionar una tendencia general de mayor resistencia a la sequía en variedades de sorgo, solamente el ajuste osmótico bajo stress estuvo correlacionado con la precipitación media en cada raza de origen, indicando un mayor ajuste osmótico en variedades criollas de regiones más secas. Aquellas variedades con una mayor capacidad para el ajuste osmótico fueron caracterizadas por ser plantas más pequeñas con altas tasas de

transpiración y bajas tasas de senescencia en hojas bajo stress. En el caso de variedades de mijo, la adaptación comúnmente observada del mijo a los ambientes secos se atribuyó más a la tolerancia a la sequía y/o al calor.

La existencia de la diversidad genética tiene especial significado para el mantenimiento e impulso de la productividad de sistemas de fincas pequeñas, ya que la diversidad también proporciona seguridad a los agricultores contra enfermedades, especialmente patógenos que pueden ser incrementados por el cambio climático. A través de la mezcla de variedades de cultivos los agricultores pueden retrasar el inicio de enfermedades reduciendo la dispersión de esporas, y modificando condiciones ambientales que son menos favorables a la dispersión de ciertos patógenos. Este aspecto fue bien demostrado por investigadores que trabajaban con agricultores en diez municipios en Yunnan, China, cubriendo un área de 5350 hectáreas. La idea era alentar a los agricultores a cambiar de monocultivos de arroz a mezclas de variedades de arroz local con híbridos. La diversidad genética aumentada redujo la incidencia de la enfermedad principal al 94% e incrementó la producción total en un 89%. Antes de dos años de usar las mezclas se concluyó que los fungicidas no se requerían más (Zhu *et al.* 2000, Wolfe 2000).

3) Promoción y colecta de plantas silvestres

En muchos países en desarrollo, el sector campesino todavía obtiene una porción significativa de su subsistencia a través de las plantas silvestres alrededor de los cultivos (Altieri *et al.* 1987). En muchas sociedades africanas agropastoriles, la colección de hojas comestibles, bayas, raíces, tubérculos, frutas, etc. en los matorrales alrededor de las aldeas proporciona una estrategia importante de diversificación del alimento básico. Durante sequías u otras épocas de stress ambiental muchas plantas silvestres son recolectadas y consumidas, y los estudios en el noreste de Tanzania sobre el uso de "michicha" (vegetales silvestres frondosos verdes) demuestran que estas plantas proporcionan cantidades significativas de caroteno, calcio, hierro y proteína a la dieta campesina (Fleuret 1979). La adopción también es practicada en México por los indios Puerpecha que utilizan más de 224 especies de plantas vasculares nativas y cultivadas para propósitos dietéticos, medicinales, domésticos, y combustible. De manera similar en el Huasteca mexicana, los indígenas usan cerca de 125 especies de plantas y en Uxpanapa los agricultores locales utilizan cerca de 445 especies de plantas y animales silvestres, de los cuales 229 son para alimento (Toledo *et al.* 1985). En muchas regiones, los agricultores dejan voluntariamente algunas especies de malezas en los campos relajando así su control. Los indígenas Tarahumara en la Sierra mexicana dependen para alimentarse de las plántulas de malezas (quelites) desde Abril hasta Julio, un período crítico antes del maíz, habas, chiles y cucurbi-

táceas maduran en los campos plantados desde Agosto hasta Octubre, practicando así sistemas de doble cultivo del maíz y de malezas que permite obtener dos cosechas. Los "quelites" también sirven como el único suministro de alimento alternativo cuando las cosechas son destruidas por el granizo o la sequía (Bye 1981).

4) Sistemas de Agroforestería y mulching

Muchos agricultores siembran sus cultivos en arreglos agroforestales utilizando la cobertura de los árboles para proteger los cultivos contra fluctuaciones extremas en microclima y humedad del suelo. Los agricultores ejercen influencia sobre el microclima conservando y plantando árboles, los cuales reducen la temperatura, velocidad del viento, evaporación, y exposición directa a la luz del sol e interceptan granizo y lluvia. Lin (2007) encontró que en agroecosistemas de café en Chiapas, México, la temperatura, humedad y las fluctuaciones de la radiación solar incrementaron significativamente a medida que el sombrero decrecía, así ella concluyó que la sombra estuvo relacionada directamente con la mitigación de la variabilidad en microclima y humedad del suelo para el cultivo del café. Lejos del ambiente húmedo y caliente de las zonas bajas tropicales y en ambientes más secos tales como Brasil nororiental, cultivos de palma babassu (*Orbignya phalerata*) en áreas de pastoreo proporciona sombra para el ganado, mientras que en lugares de orientación agrícola, sirve como sombra para arroz, maíz, yuca e incluso bananos y plátanos, mejorando el microclima y reduciendo pérdida de agua del suelo. En algunos sistemas, los agricultores plantan cashew para proporcionar abrigo a otros cultivos productivos tales como sorgo, cacahuets y ajonjolí (Johnson y Nair 1985). Claramente, la presencia de árboles en diseños de agroforestería constituye una estrategia clave para la mitigación de la variabilidad del microclima en sistemas de agricultura minifundistas.

Muchos agricultores pequeños aplican mulch sobre el suelo, siembran plantas de cobertura o paja para reducir niveles de radiación y calor en superficies recién sembradas, para inhibir pérdidas de humedad, y para absorber la energía cinética de la lluvia y del granizo que cae. Cuando se espera helada nocturna, algunos agricultores queman paja u otros materiales de desecho para generar calor y producir humo, el cual atrapa la radiación. Los camellones elevados que se encuentran a menudo en sistemas tradicionales sirven para controlar la temperatura del suelo y reducir la inundación mejorando el drenaje (Wilken 1987, Stigter 1984).

5) Manejo e incremento de la materia orgánica del suelo

Los suelos absorben 75% del carbono terrestre y tienen un mayor potencial para secuestrar carbono que los árboles. Pero en adición al secuestro de carbono, y de afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas

de los suelos, la materia orgánica incrementa notoriamente la capacidad de absorción de humedad de los suelos vía varios mecanismos:

- a. Los residuos orgánicos que cubren el suelo protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia evitando el agrietamiento, incrementando la infiltración del agua de lluvias y reduciendo la escorrentía. El aumento del contenido de materia orgánica contribuye indirectamente a la porosidad del suelo al condicionar una mayor actividad de la fauna edáfica. Una mayor infiltración combinada con un alto contenido de materia orgánica incrementa la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
- b. La adición de material orgánica también incrementa la cantidad de micro y macro-poros ya sea "pegando" partículas del suelo formando agregados o creando condiciones favorables para organismos edáficos como lombrices de tierra que modifican positivamente la estructura del suelo. La materia orgánica puede almacenar agua hasta 20 veces su peso (Wilken 1985, Denevan 1995).

A través del mundo los pequeños agricultores usan practicas como la rotación de cultivos, abonos verdes, cultivos de cobertura, aplicación de compost etc. que incrementan la producción de biomasa contribuyendo a un aumento de materia orgánica en el suelo. Todas las practicas de manejo de suelos que conllevan al mantenimiento y/o aumento los niveles de materia orgánica son esenciales para una producción sostenida de cultivos en zonas frecuentemente afectadas por sequia.

Sistemas agrícolas heredados de importancia global: Una herencia neolítica

A mediados del siglo XXI y a pesar de la expansión de la agricultura moderna, millones de hectáreas todavía persisten bajo manejo agrícola tradicional. Estos microcosmos de agricultura antigua son el vivo ejemplo de la estrategia agrícola indígena exitosa e incluyen un tributo a la "creatividad" de agricultores tradicionales e indígenas. Muchos de estos sistemas agrícolas se documentan y algunos de ellos se seleccionan como punto focal en la iniciativa para la conservación dinámica de la FAO: "Sistemas Agrícolas Heredados de Importancia Global" (GIAHS). La iniciativa ofrece modelos promisorios de sostenibilidad promoviendo biodiversidad agrícola a la vez que sostiene producciones a lo largo de todo el año sin mayor dependencia de agroquímicos (Altieri 1999). GIAHS no solo constituyen lugares de belleza estética excepcional, que mantienen biodiversidad agrícola global, y que representan ecosistemas resistentes y una herencia cultural valiosa, sino que también prestan una serie de servicios, incluyendo seguridad alimentaria y

sustento, y calidad de vida para millones de personas. Estos sistemas exhiben elementos importantes de sostenibilidad, a saber: se adaptan bien a su ambiente particular, hacen uso de recursos locales, son de pequeña escala y descentralizados, tienden a conservar los recursos naturales básicos y muestran resiliencia al cambio ambiental.

Estos sistemas incluyen una herencia neolítica de importancia considerable, aunque la agricultura moderna amenaza constantemente la sostenibilidad de esta herencia. Debido a su significado, y a la cantidad de conocimiento y experiencia acumulados en el manejo y uso de los recursos que los GIAHS representan, es imprescindible que sean considerados como recurso de importancia global y por lo que deben ser protegidos y ser preservados, permitiendo eso si su evolución dinámica. Tal recurso ecológico y cultural es de valor fundamental para el futuro de la humanidad, especialmente porque muchos de ellos representan sistemas que se han adaptado al cambio climático y ambiental a través de los siglos.

Algunos ejemplos y características de sistemas agrícolas tradicionales adaptados a condiciones de cambio ambientales a través de los siglos

Agricultura de camellones

1. Chinampas de México

La agricultura en camellones es un sistema de producción de alimento antiguo usado extensivamente por los Aztecas en el valle de México pero también encontrado en China, Tailandia, y otras áreas para explotar áreas permanentemente inundadas o pantanos que bordean lagos. Llamadas *chinampas* en la región Azteca, consisten en "islas" o plataformas elevadas (desde 2,5 a 10 metros de ancho y hasta 100 metros de largo) que fueron construidas con fango raspado de los pantanos circundantes o lagos bajos. Los Aztecas construyeron sus plataformas a una altura de 0,5 a 0,7 metros sobre el nivel del agua y reforzaron los lados con los postes entretrejidos con ramas y árboles plantados a lo largo de los bordes (Armillas 1971).

El suelo de las plataformas se enriquece constantemente con la materia orgánica producida por plantas acuáticas abundantes, así como con sedimentos y depósitos de materia del fondo de los reservorios. Una fuente importante de materia orgánica hoy es el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), capaz de producir hasta 900 kilogramos por hectárea de materia seca diariamente. Complementado con cantidades relativamente pequeñas de abono animal, los chinampas son en esencia autosuficientes. Los animales, tales como cerdos, pollos, y patos, se mantienen en corrales pequeños y se alimentan de los excedentes o residuos producidos por los cultivos de las chinampas. Su abono se incorpora nuevamente en las plataformas (Gliessman *et al.* 1981). En los chinampas,

los agricultores privilegian la producción de cultivos alimenticios básicos así como también la producción de vegetales. Esto incluye el policultivo tradicional de maíz/ haba/calabaza, yuca/maíz/haba/pimientos/amaranto, los árboles frutales asociados con varios cultivos de cobertura, arbustos, o vides. Los agricultores también estimulan el crecimiento de peces en los cursos del agua.

Los altos niveles de productividad que caracterizan las chinampas son el resultado de varios factores. Primero, la cosecha es casi continua, en general se producen 3 a 4 cosechas cada año. Uno de los mecanismos principales por los cuales esta intensidad se mantiene son los semilleros, en los cuales germinan plantas jóvenes antes de que se cosechen los cultivos más viejos. En segundo lugar, el chinampero mantiene un alto nivel de fertilidad del suelo a pesar de la cosecha continua de cultivos, al proveer a las chinampas con altas cantidades de fertilizantes orgánicos. Los lagos en sí mismos sirven como un reservorio gigantes para captura de nutrientes. Las plantas acuáticas funcionan como concentradores de nutrientes, absorbiendo nutrientes que se encuentran en baja concentración en el agua y que almacenan en sus tejidos. El uso de estas plantas junto con los canales de fango y agua fangosa (para el riego) asegura una fuente adecuada de nutrientes siempre disponible para los cultivos en crecimiento. Tercero, el agua abunda para el crecimiento de los cultivos. La estrechez de las chinampas es una característica del diseño que asegura de que el agua de los canales infiltra la chinampa, dando lugar a una zona de humedad al alcance de las raíces de los cultivos. Aunque durante la estación seca los niveles del lago caen por debajo de la zona de las raíces, la estrechez de la chinampa permite que el chinampero irrigue desde una canoa. Cuarto, hay especial cuidado a cada planta en la chinampa. Tal agricultura cuidadosa facilita altos rendimientos (Gliessman *et al.* 1981).

2. Waru-Warus de Titicaca

Los investigadores han descubierto remanentes de más de 170.000 has de "campos surcados" en Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, y Bolivia (Denevan 1995). Muchos de estos sistemas al parecer consistían en campos elevados construidos sobre tierras de inundación estacional en sabanas y laderas de montaña. En Perú, muchos investigadores han estudiado tales tecnologías pre-colombinas en busca de soluciones a los problemas contemporáneos, tal como las heladas tan frecuentes en agricultura de altitudes elevadas. Un ejemplo fascinante es el renacimiento de un sistema ingenioso de campos elevados que evolucionaron en altiplanicies de los Andes peruanos hace aproximadamente 3.000 años. Según evidencia arqueológica aquellas plataformas o Waru-Warus, rodeadas de zanjas llenas de agua, podían producir cosechas abundantes, a pesar de inundaciones, sequías, y heladas comunes en altitudes de casi 4000 m (Erickson y Chandler 1989).

La combinación de camas elevadas y canales ha demostrado tener efectos importantes en la regulación de la temperatura, prolongando la estación de crecimiento y llevando a una productividad más alta en el Waru-Warus comparado con suelos normales químicamente fertilizados de la pampa. En el distrito de Huatta, campos elevados reconstruidos produjeron cosechas impresionantes, exhibiendo una producción sostenida de papa de 8-14 toneladas/ha/año, contrastando favorablemente con las producciones medias de papa de la puna de 1-4 toneladas/ha/año. En Camjata los campos de papa alcanzaron 13 toneladas/ha/año en Waru-Warus. Se estima que la construcción inicial, reconstruyendo cada 10 años, mas el manejo anual de siembra, desyerbe, cosecha y mantenimiento de los campos elevados requiere 270 personas-día/ha/año.

3. Agricultura de montaña en los Andes

El impacto del ambiente complejo en la economía Andina ha dado lugar a arreglos verticales de establecimientos humanos y sistemas agrícolas. El patrón de verticalidad deriva de diferencias climáticas y bióticas relacionadas con la localización geográfica y altitudinal. La adaptación cultural más importante a estos contrastes ambientales ha sido el sistema de subsistencia: cultivos, animales, y tecnologías agropastoriles diseñadas para proveer una dieta adecuada con recursos locales mientras que evitaban la erosión del suelo (Gade 1999).

La evolución de la tecnología agraria en los Andes centrales ha producido un conocimiento muy sofisticado sobre el uso del ambiente andino. La aplicación de este conocimiento resulto en la división del ambiente andino en franjas agroclimáticas dispuestos de acuerdo a la altitud, cada una caracterizada por prácticas específicas de rotación del campo y cultivos, terrazas y sistemas de irrigación, y la selección de animales, cultivos, y variedades (Brush *et al.* 1981). Cerca de 34 cultivos diferentes (maíz, quinoa, *Amaranthus caudatus*, legumbres, habas, lupino, habas, lima), tubérculos (especies de papa, yuca, arracacha, etc.), frutas, condimentos, y vegetales son cultivados. Los cultivos principales son chenopodios (*Chenopodium quinoa* y *C. pallidicaule*), maíz y papas. Los agricultores individuales pueden cultivar tanto como 50 variedades de papas en sus campos, y hasta 100 variedades locales se pueden encontrar en una sola aldea. El mantenimiento de esta amplia base genética es adaptativa puesto que reduce la amenaza de la pérdida de cultivos debido a plagas y patógenos específicos a variedades particulares de los cultivos (Brush 1982). Los agricultores también manejan una serie de parcelas situadas en diferentes franjas altitudinales para reducir la frecuencia de pérdida, porque si la helada o la sequía golpea una franja, los agricultores siempre pueden cosechar los cultivos en franjas altitudinales no afectadas.

Los cultivos también se ubican en la montaña dependiendo de su adaptación a la altitud, humedad, tem-

peratura, vegetación, tenencia de la tierra, arreglos de cultivo, y tecnología agrícola. Hay una variación regional considerable en los patrones de cultivo de cada franja. Por ejemplo, en las comunidades de Amaru y de Paru-Paru en Cuzco, Perú, pueden distinguirse tres franjas principales (Gade 1975). Los sitios en la franja de maíz tienen pendientes suaves, situadas entre 3.400 y 3.600 metros, y los agricultores practican tres rotaciones alternadas cada cuatro años. Las franjas de papa/haba/cereales se encuentran en sitios con cuevas escarpadas, localizados entre los 3.600 a 3.800 metros. Las papas son intercaladas con cebada, trigo, habas y guisantes. En áreas que dependen de las precipitaciones, las habas y *Lupinus mutabilis* son los componentes claves de rotación. La franja papa amarga-pastura es una franja fría situada sobre los 3.800 metros. Las rotaciones de cultivos que dependen de la precipitación en esta franja generalmente incluyen la papa/ *Oxyalis tuberosa/Ullucus tuberosus* y *Trapaolum tuberosum*/cebada.

Cosecha de agua en ambientes secos

Las regiones semiáridas son caracterizadas por precipitación errática y baja, suelos pobres en nutrientes y altas temperaturas, planteando limitaciones serias a la productividad de los cultivos especialmente cuando el abastecimiento de agua es inadecuado. Las áreas semiáridas tienen por lo menos un mes completamente seco al año y la cantidad de precipitación se encuentra entre 500-1000mm/año en la mayoría de áreas. Esto significa que las condiciones de déficit de agua, stress por agua o sequía son comunes en estas áreas y en muchas regiones la situación es más dramática debido al cambio climático. El stress por sequía extrema conduce a cosechas pobres y también contribuye a la degradación y desertificación en suelos secos (Barrow 1999). Este proceso ha llegado a ser evidente en la región de Sahel (África del oeste) donde los niveles de precipitación han disminuido en 20-40% en décadas recientes acompañadas por degradación severa del suelo.

En África Sub-Sahariana, el 40% de la tierra agrícola está ubicada en sabanas semiáridas, secas y sub-húmedas. A pesar de la frecuente ocurrencia de escasez de agua, en la mayoría de los años hay agua más que suficiente para la producción potencial de los cultivos. El problema es que grandes volúmenes de agua se están perdiendo por escorrentía del agua superficial, evaporación y percolación profunda. El desafío es cómo capturar esa agua y ponerla a disposición de los cultivos en épocas de escasez (Reij *et al.* 1996). Aunque la cantidad de precipitación que puede utilizarse efectivamente para el crecimiento de los cultivos en estas tierras es baja, muchos agricultores han creado innovadores sistemas de cosecha de agua que capturan y aprovechan la precipitación limitada. Algunos ejemplos de sistemas tradicionales de cosecha de agua se describen a continuación.

1. Sistemas de cosecha de Agua de lluvia Túnez meridional

En Túnez meridional como en la mayoría de los ecosistemas semiáridos, los cultivos han estado históricamente en riesgo de sequía fisiológica, así que el agua de lluvia se debe recoger, concentrar y transferir rápidamente a las áreas cultivadas, reduciendo al mínimo pérdidas por evaporación y percolación. Tal sistema de cosecha de agua lluvia tiene una historia larga en la meseta de Matmata (Hill y Woodland 2003). La mayoría de las lluvias son de alta intensidad, por lo que un flujo por escorrentía se genera rápidamente y escurre sobre cuevas escarpadas, arrastrando agua y suelo hacia el fondo del valle. Las represas (tabias- consolidadas por muros de contención de piedra seca) están localizadas progresivamente en la ladera para detener el material erodado de los lados del valle y este sedimento se nivela para formar unos campos agrícolas llamados "jessour". El agua atrapada detrás de estas represas después de la infiltración de lluvia en el suelo abastece el nivel freático local, aunque temporalmente. El efecto multiplicador de la cosecha de agua lluvia depende principalmente de la relación entre área de captación y área cultivada. Esta proporción está típicamente entre 2:1 y 10:1 en el sureste Tunisiano. Al oeste de Matmata, una relación de 6:1 se traduce en tamaños de terreno de aproximadamente 0,6 hectáreas y tamaños de captación de alrededor 4 has, variando levemente de acuerdo al sitio, la topografía y la capacidad de los constructores. Si se previenen las pérdidas de infiltración y evaporación, 10 milímetros de lluvia en un área de captación de 1 ha puede rendir alrededor 100.000 litros de agua.

Usando estos métodos, la mayoría de los agricultores en Matmata practican hoy agroforestería en el jessour. En campos de 3 has pueden crecer árboles relativamente exigentes tales como aceitunas, higos, almendras, granadas y palmas datileras. Los cultivos anuales incluyen cebada, guisantes, lentejas, habas, y forrajes verdes tales como alfalfa. Estas parcelas se dispersan a menudo después de la ocurrencia natural del agua en el paisaje, así que la fragmentación de tierras es un rasgo común.

La captación de agua lluvia en la región permanece ampliamente descentralizada por naturaleza. Los sitios se manejan sobre una base colectiva y comunitaria de acuerdo a las costumbres locales y respaldadas por la ley islámica. Bajo tales sistemas, el agua se considera como propiedad común, suficiente para ser consumida y compartida por la comunidad sin despilfarro. La experiencia local se arraiga en un conocimiento de la relación recíproca entre agua superficial y subterránea. Casi todos los agricultores están enterados de la necesidad de llenar lo que llamaron libremente como los abastecimientos de agua subterráneos para asegurar agua para uso de la comunidad en estaciones futuras. La captación de agua lluvia en laderas ayuda a aumentar la infiltración y a recargar el agua subterránea, la cual

se utiliza localmente o en siembras más abajo. Las unidades de tierra se integran efectivamente con respecto a la hidrología, permitiendo el uso equitativo del agua y, sobretodo, rellenando depósitos para el largo plazo (Hill y Woodland 2003).

Se ha utilizado el conocimiento vernáculo y la artesanía, derivados a partir de siglos de interacción con el ambiente local, para equipar tabias con diversos tipos de diseños de drenaje y/o desagüe, los cuales promueven la distribución eficaz del agua y permiten cierta flexibilidad ante cambios climáticos extremos. Estos desagües laterales se utilizan en el 60% de tabias en las colinas de Matmata. Éstas son aberturas hechas a propósito en los camellones de tierra en los lados del valle. Los desbordamientos laterales simples se escavan del suelo, y sus pisos de tierra se inclinan a la misma altura que la terraza cuesta arriba. Esto permite que el exceso de agua fluya por gravedad desde la terraza de arriba, asegurando que el agua de riego fluya a la próxima terraza con capacidad erosiva mínima. La erosión en estos diseños es reducida reforzando pisos y costados con piedras. Estos sistemas se han observado en 38% de las tabias existentes en las colinas de (Reij *et al.* 1996).

La altura de los desbordamientos del tabia aseguran que el cultivo cosechado pendiente abajo no sea privado del agua por campos más arriba. Igualmente, la altura del desbordamiento previene la acumulación de demasiada agua después de tormentas, de tal manera que la zona de las raíces no permanezca inundada por períodos largos. Esto realza el potencial agrícola aumentando la aireación de las raíces, y reduciendo la salinización del suelo pues el agua se infiltra eficientemente y es utilizada rápidamente por los cultivos. La capa freática reside en profundidad, asegurando que las sales no son traídas a la superficie por incrementos en el nivel de agua. La construcción apropiada del tabia reduce la posibilidad de que el suelo sea lavado pendiente arriba por procesos de erosión (Figura 1).

2. Los Papago y otros indígenas de Norteamérica semiárida

En las zonas semiáridas de Norteamérica, en las cuales el agua es el principal factor limitante, las experiencias de los indígenas Seri, Pima, Papago y otros grupos ofrecen opciones locales para agricultura que solo depende de las lluvias. Estas culturas han usado como recurso múltiples especies vegetales del desierto con alto contenido nutritivo que puede ser la base para una agricultura apropiada en estas zonas. Algunas de ellas han desarrollado técnicas agrícolas que utilizan canales hechos a mano, terrazas, bermas y otros tipos de diversion de escorrentía para retención y utilización de aguas lluvia (Nabhan 1979).

La práctica agrícola más usual es el manejo de lluvias torrenciales esporádicas para la producción de cultivos. Es una técnica antigua en las regiones al sudoeste de Norteamérica que está siendo reevaluada actualmente. Condiciones agrónomicamente productivas han sido desarrolladas por alteraciones geomorfológicas del suelo inundado, incluyendo canales, terrazas, rejillas, aspersores, y vertederos. Estas modificaciones ambientales sirven para concentrar la escorrentía del agua de una cuenca en un campo localizado estratégicamente, rompiendo la fuerza erosiva del agua entrante. Además, los estos agricultores nativos manipulan la flora silvestre de los campos inundados eliminando o protegiendo y cosechando especies seleccionadas (Nabhan 1979).

En el Arizona, los Papago y otras culturas nativas del desierto de Sonora históricamente escogieron los valles aluviales (valles bajos donde se concentra el agua y la materia orgánica se concentran) para establecer campos productivos los cultivos adaptados a las condiciones semiáridas tales como calabaza del coyote, amaranthus del desierto, habas frijoles tepary, garra del diablo y una variedad de suculentas, cactus y de herbáceas perennes.

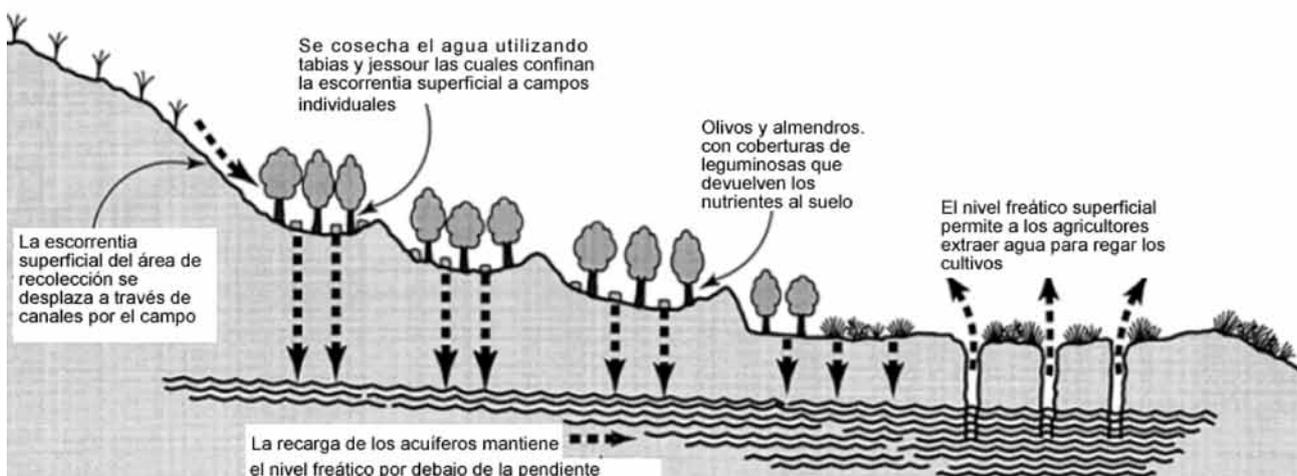


Figura 1. Sistema tradicional de cosecha de agua en agroecosistemas de Tunisia (Hill & Woodland, 2003)

Viviendo en un área del desierto de Sonora que recibe solo 150-350 milímetros de precipitación anual, los Papago regaron tradicionalmente sus campos valles con el agua de arroyos intermitentes creados por tormentas, (Nabhan 1982). En el desierto, generalmente no hay más de 3-15 eventos importantes de tormenta durante el año; de éstos, típicamente no más de 5-6 son suficientemente grandes para estimular la germinación o crecimiento de plantas.

En una comunidad de Papago, 100 familias mantuvieron 355 hectáreas de cultivos en fincas que recibían precipitación de tormentas, materia orgánica y nutrientes de una cuenca de 240 kilómetros. Con una sola tormenta intensa, suficiente hojarasca de leguminosas ricas en nitrógeno, heces de roedores y otros detritus descompuestos de las tierras altas, son vertidos sobre los valles aluviales para agregar aproximadamente 30 metros cúbicos de material orgánico por hectárea (Nabhan 1984). En adición al maíz de 50 días, los frijoles tepary (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*) son los cultivos nutricionalmente más importante de los indios Papago. Los frijoles tepary están adaptados al calor y sequía, e históricamente son la fuente más importante de proteína y minerales de los Papago. El contenido proteico y la producción de semillas por planta tienden a ser más altos en campos manejados por los Papago que en sus contrapartes modernas irrigadas. Desafortunadamente, este cultivo tradicional es un ecosistema agrícola amenazado.

El sistema agrícola tradicional de los Papago representa una estrategia de producción de alimentos distinta a la mayoría de los sistemas introducidos en tierras áridas, y que dependen de agua de riego. Respondiendo a la escasa e irregular disponibilidad de agua en el desierto, los cultivos que producen los Papago (principalmente frijoles tepary, maíz, calabazas y otros) crecen lo bastante rápido como para evitar la mortalidad debido a la sequía prolongada. Dada la distribución espacial desigual de las tormentas, los Papago se concentran en campos pequeños; y utilizan varios de ellos, cada uno separado de los otros. Dentro de cada campo, existen mezclas de plantas con espacios amplios entre ellas, como una táctica de reducción del riesgo. En general, las familias agricultoras Papago raramente "fuerzan" a un campo a producir más intensificando la manipulación o concentrando sus esfuerzos en un solo recurso vegetal. La estrategia del Papago busca una producción de semilla más confiable en relación al agua disponible, pero no necesariamente por unidad de tierra. Ya que el agua, no la tierra, es el factor limitante en los desiertos, esta estrategia tiene valor adaptativo (Nabhan 1982).

3. Los Otomí del valle de Mezquital, México

El valle de Mezquital forma parte de las montañas mexicanas centrales, ha sido habitado por el grupo étnico Otomí o Hñähñü desde el período pre-Colombino

durante el cual se establecieron asentamientos permanentes basados en agricultura dependiente de las lluvias e incluso a veces construyeron estructuras para captura de agua (Toledo *et al.* 1985).

El área, que es una de las regiones más pobres y marginadas de México, muestra cómo la gente puede sobrevivir con fuentes inusuales de alimento. El valle de Mezquital presenta varias condiciones ecológicas limitantes, especialmente sus suelos calcáreos estériles y escasez de agua. Este ambiente condicionó las relaciones entre los Otomí y sus paisajes circundantes, especialmente en la percepción y uso de hábitats, y el manejo de recursos de agua, suelos y especies de plantas.

Según los estudios de Johnson (1977), el manejo de recursos naturales que practicaron los Otomí reflejan un nivel de producción diversificada adaptada a los diversos paisajes del valle de Mezquital así como un énfasis en agricultura de secano y uso intensivo del maguey (*Agave spp*). Las especies de Maguey se utilizan para producir la fibra para hacer cuerdas y ropa, y especialmente pulque, una bebida alcohólica suave resultado de la fermentación natural de la savia azucarada que estas plantas producen (Parsons y Parsons 1990). Además, las especies del maguey también se utilizan como plantas clave en el manejo de suelos durante la construcción de terrazas para evitar la erosión.

Los Otomí distinguen tres clases de unidades del paisaje: el cerro, la tierra baja y la colina. El cerro, que es normalmente una tierra comunal, se cubre con vegetación arbustiva silvestre usada para alimentar animales, para la caza y recolecta. También usan las porciones más bajas del cerro para construir casas. La mayor parte de los campos agrícolas están en las colinas y las tierras bajas. Los agricultores Otomí reconocen tres tipos de colinas para cultivar: cárcavas (barrancas), cuevas (laderas) y tierras planas (planos). Durante la estación húmeda, el agua lava el suelo desde las cuevas y cárcavas de las colinas hasta las tierras bajas, de manera que las tierras bajas son las áreas que acumulan el agua y los sedimentos (Johnson 1982).

Con un conocimiento detallado de suelos, relieve, vegetación y los movimientos del agua, los Otomí construyen *bordos* para atrapar el agua lluvia y concentrar los sedimentos en el suelo. El mejor lugar para un bordo es justo en la trayectoria del agua, o sea la misma cárcava. Esta clase de bordo se llama *atajadizo*. Los agricultores también construyen bordos en la ladera. Toma seis o siete tormentas de lluvia para conseguir una cosecha de maíz y frijoles en bordos de ladera y atajadizos. Los bordos se colocan normalmente a lo largo de los contornos para tomar la mejor ventaja de la corriente. La colocación de piedras y de plantas del maguey son cruciales durante la construcción de bordos, y los campos recurrentemente se fertilizan con estiércol para mejorar el suelo. Los fertilizantes orgánicos consisten en mezclas de estiércol de cabra, ovejas y vaca, residuos de las casas,

cenizas, plantas secas y suelos de otro terreno (Johnson 1977).

Innovaciones de los agricultores para mejorar la adaptación de la producción en ambientes climáticamente marginales

Mucho del conocimiento tradicional sobre cosecha del agua y para el manejo de sistemas agrícolas dependientes de las lluvias descritos arriba, ha demostrado ser invaluable para muchas organizaciones locales dedicadas a asistir a agricultores pobres en varias regiones en la restauración de la integridad ecológica de microcuencas y de las capacidades productivas de predios campesinos-indígenas. Muchas iniciativas lideradas por organizaciones de agricultores y ONGs que enfatizan la reforestación, la conservación de suelos y sistemas eficientes de cosecha de agua constituyen ejemplos exitosos de estrategias clave para mejorar el sustento rural en ambientes marginales. Abajo se citan algunos ejemplos de innovación campesina, incluyendo ejemplos del trabajo de ONGs dirigidos a mejorar la seguridad alimentaria local en ambientes climáticamente marginales.

Agricultores en Zimbabwe

En Zimbabwe centenares de agricultores de tierras secas se han beneficiado de los sistemas de cosecha de agua desarrollados por un agricultor, Sr. Phiri Maseko. La parcela de tres hectáreas de Phiri está situada en la cuesta de una colina, inmediatamente debajo de la cual está la finca. Uno de los recursos más importantes es una roca grande de granito (o ruware), sobre la parcela. En una situación incontrolada esta roca podría causar erosión severa por la formación de una gran cantidad de canales de agua que desaguaran en la finca. Sin embargo, la roca proporciona la fuente principal de agua para los árboles, cultivos y las casas. La roca tiene terrazas de piedra que atrapan y dirigen el flujo del agua de modo que pueda infiltrarse en el suelo y así llenar los depósitos subterráneos. Las terrazas atrapan semillas crean refugios de vegetación que actúan como barreras protectoras. La mayor parte del agua entonces se acanalada en un depósito estacional sin sellar, para promover la infiltración eficiente del agua en el suelo más bien que almacenarla en la superficie. Cuando sea necesario agua se puede sacar con un sifón en un tanque de almacenaje hecho de ladrillos y yeso (Reij *et al.* 1996).

Agricultores en Burkina Faso y Malí

En muchas partes de Burkina Faso y de Malí ha habido un renacimiento de los viejos sistemas de cosecha de agua conocidos como "zai". Los zai son hoyos que los agricultores cavan en tierra de roca dura estéril, en la cual el agua no podría penetrar de otra manera. Los hoyos tienen cerca de 20-30 centímetros de profundidad y se llenan con materia orgánica. Esto atrae ter-

mitas que cavan canales, y mejorando así la estructura del suelo de modo que más agua pueda infiltrarse y mantenerse en el suelo. Digiriendo la materia orgánica, las termitas ponen los nutrientes a disposición más fácilmente para las plantas. En la mayoría de los casos los agricultores producen el mijo o sorgo o ambas en el zai. A tiempo ellos siembran árboles directamente junto con los cereales en el mismo zai. En la cosecha, los agricultores cortan los tallos a una altura aproximada de 50-75cm, los cuales protegen a los árboles jóvenes contra el pastoreo de animales. Los agricultores cavan entre 9.000 a 18.000 hoyos por hectárea, con aplicaciones de compost que van desde 5,6 a 11 t/ha (Reij y Waters-Bayer 2001).

A través de los años, millares de agricultores en la región de Yatenga de Burkina Faso han utilizado esta técnica localmente mejorada para reclamar centenares de hectáreas de tierras degradadas. Muchos agricultores han sido expuestos a las técnicas mejoradas del zai particularmente después del establecimiento de un zai modelo en la escuela de Zai en la aldea de Somyanga.

Los agricultores cada vez se han interesado más en el zai en tanto que observan que los hoyos recogen y concentran el agua eficientemente y funcionan con pequeñas cantidades de compost y estiércol. El uso del zai permite a que los agricultores amplíen su base de recursos y aumenten la seguridad alimentaria de sus hogares. Los rendimientos obtenidos en los campos manejados con zai son consistentemente más altos (entre 870 a 1.590 kg/ha) que aquellas obtenidas en campos sin zai (promedio 500-800 kg/ha). Muchos agricultores en la meseta de Dogon de Malí, una región con períodos extremos de sequía con temperaturas arriba de los 40 °C y tasas de evaporación de 250 mm por mes, han reportado ventajas similares desde la adopción del zai.

Iniciativas lideradas por ONGs

Agricultores en México

En la región de Mixteca, un área montañosa de precipitación limitada y suelos muy erosionados, el Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca (CEDICAM) tiene desde 1989 un proyecto que ha motivado y capacitado a centenares de agricultores en 9 comunidades rurales para reforestar áreas grandes y construir zanjas de contorno en las laderas sobre los manantiales amenazados y pozos para recargar los acuíferos que alimentan estas fuentes de agua potable.

Varios grupos organizados han construido kilómetros de zanjas para la conservación del suelo y han reforestado centenares de hectáreas con pinos (*Pinus oaxacana*) y ciertas especies nativas. En EL Progreso, cerca de 80% de la comunidad total participa y han restaurado 100 hectáreas de tierra degradada. En Buenavista Tilantongo la comunidad reforestó 10 hectáreas. En El Carmen

los agricultores comenzaron reforestando hace 11 años plantando 40.000 árboles en 2003 y 70.000 en 2004. Se estima que un metro lineal de zanja, de 60cm x 60 cm, puede capturar hasta 360 litros de agua en un evento de precipitación. Una zanja larga de 100 m puede capturar potencialmente 36.000 litros, que idealmente se infiltrarían profundamente en el suelo y recargando así los acuíferos (Altieri *et al.* 2006).

Bajo el liderazgo de CEDICAM los agricultores locales han:

- Usado eficientemente el agua lluvia e incrementado el abastecimiento de agua y flujos crecientes de manantiales con las nuevas zanjas del contorno que ahora recogen alrededor del 80% de la lluvia. En varias casas se han construido cisternas que atrapan la lluvia y cada una puede coleccionar hasta 15.000 litros de agua, proporcionando cada casa hasta seis veces el agua que generalmente consumen en los períodos secos.
- Plantado cerca de un millón de árboles nativos en los últimos 5 años.
- Rescatado y mejorado variedades nativas de maíz y, aprendido a producir fertilizantes orgánicos (incluyendo vermicompost) usando desechos y biomasa local.
- Diversificado los sistemas de producción de plantas por re-adopción del policultivo tradicional del maíz, frijoles y calabaza. Los agricultores locales están produciendo más alimento por hectárea en total que cuando mono-cultivaron maíz, con consiguientes mejoras en la nutrición familiar, la fertilidad de suelo y la renta familiar que ya son notables en algunas comunidades.

África: Programa piloto de conservación de suelos y agroforestería

En el Noroeste de Tanzania el Programa piloto de conservación de suelos y agroforestería estableció un proyecto para desarrollar sistemas de labranza de conservación para pequeños agricultores. En estos sistemas los agricultores minimizan la disturbancia del suelo al utilizar arados y subsoladores tirados por animales, abriendo pequeños canales de apertura en el suelo para la infiltración del agua, usando también azadones para construir pequeñas depresiones tipo zai (Mwally y Rocktrom 2003).

En muchos casos los agricultores usan la leguminosa *Dolichos lablab* como un cultivo de cobertura que en adición de fijar nitrógeno se puede vender en el mercado. Este sistema de labranza de conservación es el sistema preferido por los agricultores porque permite la preparación del suelo antes de las lluvias, una oportunidad crítica en las zonas semiáridas donde el 25 % de las lluvias pueden caer en las primeras tormentas. De esta manera en el sistema de conservación se siembra en seco aplicándose el estiércol y las roca fosfórica en los canales de apertura del suelo. En general en estos

sistemas el maíz rinde 3,5 t/ha, lo que representan hasta un 240 % incremento de rendimientos.

El efecto de la cosecha de agua de estas prácticas son obvios al calcularse la producción por unidad de agua. En un sistema convencional se produce 2,6 kg de grano por mm de lluvia, comparado con 7,4 Kg, mm de precipitación en el sistema de conservación (Mwally y Rocktrom 2003).

México : Programa Agua para siempre de la región de la Mixteca.

El Programa "Agua para Siempre" se creó en 1988 por la ONG y Procesos de Participación Social, A. C. para enfrentar los problemas climáticos y de degradación de suelos prevalentes en la zona norte de la Mixteca, en el borde de los estados de Puebla y Oaxaca incluyendo una parte extensa del valle de Tehuacán, alcanzando aproximadamente a 200.000 habitantes en unas 100 comunidades rurales (Toledo y Solis 2001).

Este proyecto considera que la escasez del agua está influenciada por el incremento en la población, el uso inapropiado de los recursos natural y un acceso inequitativo al agua, injustamente concentrada en las manos de unos pocos individuos pertenecientes a los grupos poderosos. Es así, como el proyecto reconoce que la raíz del problema no solo es obtener agua para satisfacer las necesidades, sino también asegurar que la extracción de agua no agotara completamente los suministros subterráneos y que el acceso a esta será justo para todos los grupos de la sociedad.

Con este enfoque, el proyecto se ha desarrollado desde 2001, con 508 trabajos hidráulicos en las comunidades de la región, beneficiando entre 77.000 y 134.000 habitantes. La cosecha de agua es utilizada a nivel familiar para uso doméstico, la subsistencia animal y agricultura de subsistencia principalmente, la cual produce maíz, frijol y amaranto. La estrategia está dirigida a la restauración ecológica de cuencas con varias técnicas que cosechan el agua efectivamente y conservan los suelos para una producción sostenible (Figura 2).

Si el problema del agua en la Mixteca fuese examinado como un fenómeno aislado, el resultado final se reduciría simplemente a construir unos pocos pozos o reservorios de agua, un asunto que solo concierne a los geólogos e ingenieros. El enfoque de este proyecto, sin embargo, considera el problema hídrico como parte de una biorregión (la cuenca) y tiene en cuenta la experiencia hidrogeológica acumulada por siglos de las culturas locales, así demanda la integración de diferentes disciplinas y la creación de equipos multidisciplinarios de profesionales.

La solución tecnológica adoptada incluye tecnologías, pre-hispánicas, coloniales y modernas, o una mezcla de las tres, creando una "tecnología híbrida". Más de dos décadas de implementación de aproximaciones innovativas-participativas con meta de desarrollar fuen-



Para regenerar las cuencas de la región de la Mixteca, fueron aplicados tratamientos específicos a las colinas, los valles y las quebradas usando distintas tecnologías. El trabajo comienza en las colinas con estructuras para retener el agua como diques y trincheras (1), anillos de agua (2), reforestación (3) y líneas de contorno con vegetación (4). En el pie de monte donde la inclinación es menor que en las laderas, bordes y terrazas (5), diques enterrados (17) y lagunas artificiales (6) pueden ser construidos con el fin de dar de beber al ganado o regar los cultivos. Los cañones donde el agua tiene mayor facilidad para erosionar el suelo, pueden ser regenerados construyendo compuertas o gabiones que disminuyan la velocidad del agua (8). Estos trabajos disminuyen la velocidad y fuerza inicial del flujo con un estancamiento provisional del agua y retención del pueblo, logrando así control sobre estos dos recursos naturales. El agua obtenida por la construcción de estas compuertas puede ser utilizada para construir charcos (16), galerías de pozas y compuertas de redireccionamiento del agua (9) que encauzan parte del flujo del agua hacia las tierras cultivadas. Además, el agua en las partes altas de la cuenca llena de nuevo los nacimientos ya existentes (10). Una vez, el agua ha sido encauzada a los sistemas de riego, se diseñan también sistemas de almacenamiento de agua que previenen su filtración y evaporación, y aseguran su disponibilidad para la distribución a las comunidades. El agua puede ser transportada a donde será usada por tubos fabricados de barro (12), unidos con cemento o piedra; a pesar de que el transporte por tuberías (14) es el camino más eficiente para evitar la filtración y evaporación. Antes de colocar las tuberías, es necesario construir un tanque (15) donde se precipita el material particulado presente en el agua para evitar taponamiento. Para este trabajo, los costos de operación pueden ser disminuidos por uso de energías alternativas como el viento (13) o bombas manuales que finalmente distribuyen el agua a la población. (Toledo y Solís, 2001)

Figura 2. Cosecha de agua a través de regeneración de cuencas en la región de Mixteca. México

tes de agua para mejorar el nivel de vida de los pobres han logrado lentamente su objetivo. Ligado al desarrollo ecológico, se ha logrado también un importante desarrollo comercial, llevando a los mercados modernos, productos con amaranto producido con agua cosechada, por 1.100 pequeños agricultores organizados en 60 cooperativas de movimientos de base (Toledo y Solís 2001).

Brasil

En la región de Sertao en el noreste de Brasil se ha experimentado un proceso de desertificación a causa de la expansión masiva de monocultivos de soya los cuales junto con el aumento de la variabilidad climática, provocan inestabilidad social y económica, forzando millones de habitantes de estas tierras a migrar a los centros urbanos.

El Instituto de Permacultura Cerrado, implementó un proyecto de policultivos en tierras secas, el cual promueve la evaluación y adopción de la combinación de los siguientes cultivos: forrajes resistente a la sequía, que garantice producción incluso en los años cuando se presente el fenómeno del Niño por ejemplo el cactus *Opuntia*, arboles de leguminosas como *Gliciridia*, *Leucaena* y *Canavalia* para fijar nitrógeno y producir biomasa, y *Cajanus cajan* el cual además produce frijoles para

la alimentación humana; cultivos de ciclo corto como rabano y ajonjolí e higuierilla (*Ricinus communis* el principal cultivo comercial, resistente a la sequía); con unas cuantas eras de maíz, y frijol caupí el cual llena el resto del espacio. El monitoreo de la producción de estos policultivos muestra que en años de pocas lluvias, los agricultores lograron cosechar algunos vegetales, maíz, frijoles, caupí, ajonjolí, guandul; y de los árboles maduros, frutas, madera y forraje. La higuierilla produjo forraje para los animales y su excedente se vendió. (<http://www.tortuga.com/permacultura/English/polycultures.htm>).

Resultados similares han sido obtenidos por el Instituto de Permacultura de Bahía a través de su proyecto "Policultura No SemiArido" el cual promueve policultivos en tierras secas del oeste de Bahía, combinando plantas de producción de biomasa con cultivos de alimentos, impactando 748 familias en varias municipalidades, asegurandoles alimentos aún en condiciones de extrema aridez. (<http://www.permacultura-bahia.org.br/aconteces.asp?cod=64>)

Enfrentando la incertidumbre climática: evidencia reciente

Observaciones durante las dos últimas décadas del desempeño agrícola después de eventos climáticos extremos han revelado que la resiliencia a los desastres climáticos está íntimamente relacionada con los niveles de biodiversidad de las fincas. Las mediciones realizadas en laderas después del huracán Mitch en América Central demostraron que los agricultores que usaban prácticas de diversificación tales como cultivos de cobertura, cultivos intercalados y agroforestería sufrieron menos daños que sus vecinos convencionales que usaban monocultivos. El análisis, encabezado por el movimiento Campesino a Campesino que movilizó 100 equipos de agricultores-técnicos y 1.743 agricultores para realizar observaciones pareadas de indicadores agroecológicos específicos en 1.804 fincas diversificadas y convencionales. El estudio involucró 360 comunidades y 24 departamentos en Nicaragua, Honduras y Guatemala. Después del huracán las parcelas diversificadas tenían entre 20% a 40% más capa superior de suelo, mayor humedad en el suelo, menos erosión y sufrieron menores pérdidas económicas que las experimentadas por sus vecinos convencionales (Holt-Gimenez 2001).

De las muchas sequías que han afectado a Zimbabwe, la sequía de 1991/92 tuvo un efecto especial en la sub-región donde muchos países exhibieron un déficit estacional de hasta 80% de precipitación normal, por lo que hubo pérdidas de cosecha sin precedentes. El subcontinente, usualmente un exportador de alimentos, tuvo que importar 11,6 millones de toneladas de alimento valoradas en US\$4 billones. La producción regional de granos bajó un 60% con respecto a los ni-

veles esperados. Las sequías incrementaron el hambre y la desnutrición con la pérdida de ganado y cosechas. Respuestas de los agricultores a los efectos de la sequía han sido variados. Los agricultores, especialmente mujeres en los distritos Nyanga, Chipinge, Mudzi, Chivi y Gwanda emprendieron muchas acciones para atenuar los efectos de la sequía, logrando así al menos un nivel mínimo de seguridad alimentaria:

- **Permacultura:** Los agricultores se preparan para la sequía mediante diseños de uso del suelo que promueven la diversidad de cultivos y conservación del agua.
- **Cosecha de agua:** Los agricultores cosechan el agua de tejados y desviándola de fuentes naturales hacia tanques. Esto asegura que tengan una cantidad substancial de agua para almacenar. En caso de una sequía el agua almacenada podrá sostenerlos por cerca de cinco meses dependiendo del volumen del tanque y el tamaño de la familia. El agua también se utiliza para la irrigación complementaria de vegetales y cultivos.
- **Zanjas de infiltración:** Algunos agricultores están cavando zanjas de infiltración a largo del contorno de la ladera. El agua es colectada en las zanjas durante el período lluvioso. En tiempo seco, como en el caso de la ausencia temprana de lluvias, el agua se infiltra hacia el subsuelo y es utilizada por las plantas. Los cultivos pueden crecer hasta madurez usando esta humedad conservada. La experiencia de los agricultores muestra que aunque hay solamente 5 días con lluvia en la estación de lluvias, los cultivos alcanzarán la madurez usando el agua conservada y cosechada en las zanjas.
- **Graneros:** La mayoría de los agricultores tienen un granero específico en el cual almacenan el grano (sorgo, mijos, y maíz por períodos de tiempo muy cortos), utilizados especialmente en épocas de sequía.
- **Cultivos tolerantes a la sequía:** Muchos agricultores prefieren variedades de grano tradicionales tales como mijo y sorgo que son más resistentes a la sequía que el maíz y por lo tanto dan una buena producción incluso con muy poca lluvia. Los agricultores también prefieren variedades de cultivo específicas para la estaciones de sequía como aquellas variedades indígenas de mijo chiraufe), una cucurbitácea (*Nyamunhororo*), y una variedad de frijol que exhiben maduración temprana (*Vigna unguiculata*).

Estos ejemplos son de gran importancia en tanto que señalan la manera en la cual los agricultores de escasos recursos viven en ambientes marginales, proporcionando la base para estrategias de manejo adaptativo de los recursos naturales que privilegia la diversificación de

los sistemas de cultivo los cuales conducen a una mayor estabilidad y resiliencia ecológica bajo condiciones climáticas extremas.

10. Resumen y conclusiones

No hay duda que el sustento de miles de comunidades de agricultores familiares, de agricultores/tradicionales y pueblos indígenas en países en desarrollo serán afectados seriamente por los cambios climáticos (Morton 2007). También es cierto que miles de agricultores tradicionales en muchas áreas rurales se han adaptado a los ambientes cambiantes, desarrollando sistemas diversos y resilientes en respuesta a las diversas restricciones que han enfrentado a través del tiempo. Muchos de estos sistemas agrícolas alrededor del mundo sirven como modelos de sostenibilidad que ofrecen ejemplos de medidas de adaptación que pueden ayudar a millones de pobladores rurales a reducir su vulnerabilidad al impacto del cambio climático.

Algunas de estas estrategias de adaptación incluyen:

- Uso de variedades/especies adaptadas localmente mostrando adaptaciones más apropiadas al clima y a los requerimientos de hibernación y/o resistencia incrementada al calor y sequía.
- Realzando el contenido de materia orgánica de suelos a través de la aplicación de estiércol, abonos verdes, cultivos de cobertura, etc. incrementando así la capacidad de retención de humedad.
- Un uso más amplio de tecnologías de "cosecha" de agua, conservación de la humedad del suelo mediante mulching), y un uso más eficiente del agua de riego.
- Manejo del agua para prevenir inundación, erosión, y lixiviación de nutrientes cuando la precipitación aumenta.
- Uso de estrategias de diversificación como cultivos intercalados, agroforestería, etc.) e integración animal.
- Prevención de plagas, enfermedades, e infestaciones de malezas mediante prácticas de manejo que promueven mecanismos de regulación biológica y otros (antagonismos, alelopatía, etc.) y desarrollo y uso de variedades y especies resistente a plagas y enfermedades.
- Uso de indicadores naturales para el pronóstico del clima para reducir riesgos en la producción.

El desafío ahora es cómo movilizar rápidamente este conocimiento de modo que pueda ser aplicado en la restauración de áreas ya afectadas o para preparar áreas rurales que se predice serán golpeadas por el cambio climático. Para que esta transferencia horizontal ocurra rápidamente, el énfasis debe ser en involucrar a agricultores directamente en la extensión de innovaciones a

través de redes agricultor a agricultor bien organizadas. El foco debe estar en la consolidación de la investigación local y el desarrollo de capacidades para resolver problemas. Organizar a la gente alrededor de proyectos para promover la resiliencia agrícola al cambio climático debe hacer un uso eficaz de las habilidades y conocimientos tradicionales, ya que esto proporciona una plataforma para un mayor aprendizaje y niveles de organización local, mejorando así las posibilidades de empoderamiento de la comunidad y estrategias de desarrollo autosuficientes frente a la variabilidad climática

Referencias

- Altieri MA., Anderso Kd Merric L. 1987. Peasant agriculture and the conservation of crop and wild plant resources. *Conservation Biology* 1: 49-58.
- Altieri MA. 1999. Applying agroecology to enhance productivity of peasant farming systems in Latin América. *Environment, Development and Sustainability* 1: 197-217.
- Altieri MA., Nicholls CI. 1999. Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agroecosystems. In: *Biodiversity in Agroecosystems* (Collins WW, Qualset CO, eds.). CRC Press, Boca Raton, pp. 69-84.
- Altieri MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 1-24. Altieri MA., Anta S, Caballero J, Hernandez, J. 2006. Manejo del agua y restauración productiva en la región indígena Mixteca de Puebla y Oaxaca. Banco Intrenacional de Reconstrucción y Fomento. BNWPP, Mexico D.F.
- Armillas P. 1971. Gardens on Swamps. *Science* 174:653-661.
- Barrow CJ. 1999. *Alternative irrigation: the promise of runoff agriculture*. Earthscan Publications, Ltd. London.
- Bazzaz F y Sombroek W. 1996 *Global change and agricultural production*. FAO, Rome and J.Wiley and Sons, Chichester.
- Beets WC. 1990. Raising and sustaining productivity of smallholders farming systems in the tropics. AgBe Publishing, Holland
- Browder JO. 1989. *Fragile lands in Latin América: strategies for sustainable development*. Westview Press, Boulder.
- Brush SB. 1981. Diversity and change in Andean Agriculture. En *Lands at risk in the Third World* (Little et al, eds.). P.D., Westview Press, Boulder, pp: 271-289.
- Brush SB. 1982. The natural and human environment of the Central Andes, *238 Mountain Research and Development* 2: 14-38.
- Bye RA. 1981. Quelites: ethnoecology of edible plants-past, present and future. *Journal of Ethnobiology* 1: 109-123
- Cline WR. 2007. *Global warming and agriculture: impact estimates by country*. Center for Global development, Washington DC.
- Conway GR. 1997. *The doubly green revolution*, Penguin, London.
- Denevan WM. 1995. Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Adv. Plant Pathology* 11: 21-43.
- DiFalco S, Chavas JP, Smale M. 2007. Farmer management of production risk on degraded lands: the role of wheat variety diversity in the Tigray región, Ethiopia. *Agricultural Economics* 36: 147-156.
- Doering OC, Randolph JC, Southworth S, Pfeifer RA. 2002. *Effects of climate change and variability on agricultural production systems*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands
- Fleuret A. 1979. The role of wild foliage plants in the diet. *Ecology of Food and Nutrition* 8: 87-93.
- Gade DW. 1999. *Nature and Culture in the Andes*. University of Winsconsin Press, Madison.
- Gliessman SR. 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems, *Agro-Ecosystems* 7: 173-185.
- Hill J, Woodland W. 2003. Contrasting water management techniques in Tunisia: Towards sustainable agricultural use. *The Geographical Journal* 169: 342-348.
- Holt-Gimenez E. 2001. Measuring farms agroecological resistance to Hurricane Mitch. *LEISA* 17: 18-20.
- Howden SM, Soussana JF, Tubiello FN Meinke H. 2007. Adapting agriculture to climate change *PNAS* 104: 19691-19696
- Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. 2007. *Managing biodiversity in agricultural ecosystems*. Columbia University Press, New York.
- Jarvis DI, Brown AHD, Cuong PH, Collado-Panduro L, Hodgkin T. 2008. A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities. *PNAS* 105: 5326-5331
- Jones PG, Thornton PK. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin América in 2055. *Gobal Environmental Change* 13: 51-59.
- Johnson DV, Nair PKR. 1985. Perennial crop-based agroforestry systems in Northeast Brazil. *Agroforestry Systems* 2: 282-292.
- Johnson K. 1977. *Do as the land bids: A study of Otomi resource use on the eve of irrigation*. PhD dissertation. Clarke University.
- Johnson K. 1982. *Resource-use knowledge among the Otomi Indians of the Mezquital Valley, Mexico*.

- National Geographic Society Research Reports 14:315-324.
- Lin BB. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 85-94
- Mortimore MJ, Adams WM. 2001. Farmer adaptation, change and crisis in the Sahel. *Global Environmental Change* 11:49-57.
- Mortimore MJ. 1989. *Adapting to drought: farmers, famines and desertification in West Africa*. Cambridge University Press, Cambridge
- Morton JF. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *PNAS* 104: 19697-19704.
- Mwalley J, Rockstrom J. 2003. Soil management in semi-arid savannas. *LEISA* 19: 8-10.
- Nabhan GP. 1979. *The ecology of floodwater farming in arid southwestern North America*. *Agroecosystems* 5: 245-255.
- Nabhan GP. 1982. *The desert smells like rain: A naturalist in Papago Indian country*. North Point Press, Berkeley, California
- Nabhan GP. 1982. *Papago Indian Fields: arid lands ethnobotany and agricultural ecology*. Unpubl. Ph.D. diss., University of Arizona, Tucson.
- Natarajan M, Willey RW. 1986. The effects of water stress on yield advantages of intercropping systems. *Field crops research* 13: 117-131.
- Netting RM. 1993. *Smallholders, Householders*. Stanford University Press, Stanford, CA.
- Ortega E. 1986. *Peasant Agriculture in Latin America and the Caribbean*, Joint ECLAC/ FAO, Agriculture Division. Santiago, Chile.
- Parsons JR, Parsons MH. 1990. *Maguay Utilization in highland Central Mexico*. Anthropological papers, No 82. Museum of Anthropology, University of Michigan, Ann Arbor.
- Reij C, Scoones I, Toulmin C. 1996. *Sustaining the soil: indigenous soil and water conservation in Africa*. Earthscan, London
- Reddy KR, Hodges HF. 2000. *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford.
- Richards P. 1985. *Indigenous agricultural revolution: ecology and food production in West Africa*. Longman, London
- Rosenzweig C, Hillel D. 1998. *Climate change and the global harvest: potential impacts of the greenhouse effect on agriculture*. Oxford University Press, New York.
- Rosenzweig C, Hillel D. 2008. *Climate change and the global harvest: impacts of El Niño and other oscillations on agroecosystems*. Oxford University Press, New York.
- Reij C, Scoones I, Toulmin C. 1996. *Sustaining the soil: indigenous soil and water conservation in Africa*. Earthscan, London.
- Stingler CJ. 1984. Mulching as a traditional method of microclimate management. *Meteorology and atmospheric physics* 35: 1-2.
- Toledo VM, Carabias J, Mapes C, Toledo C. 1985. *Ecología y autosuficiencia alimentaria*. Siglo XXI Editores, Mexico City.
- Toledo VM, Solís L. 2001. *Ciencia para los pobres: el programa Agua para Siempre de la región Mixteca*. *Ciencias* 64: 33-39.
- Uphoff N. 2002. *Agroecological innovations: increasing food production with participatory development*. Earthscan, London.
- Vandermeer J (ed). 2002. *Tropical agroecosystems*. CRC press, Boca Raton.
- Wilken GC. 1987. *Good Farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Guatemala*. University of California Press, Berkeley.
- Zhu Y, Fen H, Wang Y, Li Y, Chen J, Hu L, Mundt CC. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718-772.