

# AGROECOLOGIA Y RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMATICO: PRINCIPIOS Y CONSIDERACIONES METODOLOGICAS

**Miguel A Altieri<sup>1</sup>, Clara Inés Nicholls<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, 215 Mulford Hall-3114, Berkeley, CA 94720-3114; <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad de Antioquia, Ciudadela Robledo, Medellín, Colombia. E-mail: agroeco3@berkeley.edu

## Resumen

La mayoría de las estadísticas disponibles que predicen impactos climáticos sobre la agricultura campesina son aproximaciones muy burdas que no toman en cuenta la heterogeneidad de la agricultura campesina-indígena, ni la diversidad de estrategias que los campesinos han utilizado y aun utilizan para enfrentar las sequías, inundaciones, huracanes, etc. Alrededor del mundo muchos campesinos y agricultores tradicionales han respondido a las condiciones climáticas cambiantes demostrando innovación y resiliencia frente al cambio climático. Un gran número de agricultores tradicionales poseen lecciones importantes de resiliencia para los agricultores modernos y diversos expertos han sugerido que el rescate de los sistemas tradicionales de manejo, en combinación con el uso de estrategias agroecológicas, puede representar la única ruta viable y sólida para incrementar la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia de la producción agrícola. En este trabajo se define un marco conceptual y metodológico para poder descifrar los principios y mecanismos claves que explican la resiliencia de los sistemas diversificados, de manera de que estos puedan ser transmitidos a otros agricultores en cada región y así mejoren la capacidad de resistencia y de recuperación de sus fincas. Por esto la urgencia de la necesidad de desarrollar una metodología que permita evaluar la capacidad de los agroecosistemas a resistir y recuperarse de los eventos climáticos severos, con especial énfasis en entender los procesos que explican la resiliencia socio-ecológica observada.

**Palabras claves:** Agroecología, agricultura campesina y tradicional, resiliencia socio-ecológica.

## Summary

### **Agroecology and resilience to climate change: principles and methodological considerations**

Most of the current statistics on the impact of climate change on peasant agriculture are broad approximations that do not take into account the heterogeneity of peasant agriculture, nor the range of strategies that peasant have used and still use to confront droughts, hurricanes, flooding, etc. Around the world there are thousands of small farmers that have responded to changing climatic conditions in innovative forms that provide resilience. These farmers possess key lessons of resilience for modern farmers and thus many experts have suggested the rescuing of traditional agroecological management systems as the only viable path to enhance the resilience of modern agroecosystems. This work provides a conceptual and methodological framework to elucidate the principles and mechanisms that underlie the resilience of diversified farming systems, so that these may be transferred to other farmers to improve the resistance and recovery of their farms affected by climate change. It is urgent to develop a methodology that allows assessment of the capacity of agroecosystems to withstand and recover from extreme climatic events with special emphasis on understanding the processes that explain the observed socio-ecological resilience.

**Key words:** Agroecology, traditional agriculture, socio-ecological resiliency

## Introducción

La amenaza del cambio climático global ha causado consternación entre científicos ya que la producción de cultivos se podría ver seriamente afectada al cambiar radicalmente los regímenes de temperaturas y lluvias, comprometiendo así la seguridad alimentaria tanto a nivel local como mundial. Aunque los efectos del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas variaran de región a región, los efectos más dramáticos se esperan en países en vías de desarrollo con climas desde áridos a húmedos (Easterling *et al.* 2007). Las amenazas incluyen inundaciones de zonas bajas, mayor frecuencia y severidad de sequías en áreas semiáridas, y temperaturas calurosas extremas en zonas templadas y mediterráneas, que pueden limitar el crecimiento y producción vegetal y animal.

Las estadísticas oficiales predicen que los agricultores más pobres en los países en vías de desarrollo son especialmente vulnerables a los impactos del cambio climático debido a su exposición geográfica, bajos ingresos, mayor dependencia en la agricultura para su sobrevivencia y su limitada capacidad de buscar otras alternativas de vida. Para estos grupos vulnerables, pequeños cambios en el clima pueden tener impactos desastrosos ya que solo la reducción de media a una tonelada de producción puede significar la diferencia entre vida y muerte (Rosenzweig y Hillel 2008). Jones y Thornton (2003) predicen una reducción general de 10% en la producción de maíz para el año 2055 en África y Latino América, equivalente a pérdidas de \$2 billones de dólares al año, afectando a no menos de 40 millones de personas en América Latina y en el África sub-Sahariana. Los autores argumentan que estas pérdidas se intensificarán con aumentos de temperatura y reducciones de precipitación.

Si bien es cierto que muchas poblaciones indígenas y campesinas están particularmente expuestas a los impactos del cambio climático y son más vulnerables dados sus estilos de vida ligado a recursos naturales en ecosistemas marginales, muchas de estas mismas poblaciones están activamente respondiendo a las condiciones climáticas cambiantes y han demostrado innovación y resiliencia frente al cambio climático. En realidad la mayoría de las estadísticas disponibles que predicen impactos climáticos sobre la agricultura campesina son aproximaciones muy burdas que no toman en cuenta la heterogeneidad de la agricultura campesina-indígena, ni la diversidad de estrategias que los campesinos han utilizado y aun utilizan para enfrentar las sequías, inundaciones, huracanes, etc.

La atención sobre los impactos en los sistemas campesinos está desviando la atención del problema real que enfrenta la humanidad: el hecho que los agroecosistemas industriales dominados por monocultivos de larga escala sembrados con una o dos va-

riedades no tienen la diversidad necesaria para evitar desastres. Las consecuencias de la homogenización agrícola han sido evidentes en USA desde las pérdidas masivas de producción en maíz (más de 15 millones de toneladas) por la epidemia del hongo *Bipolaris maydis* (southern corn leaf blight) que equivalió a una pérdida de 18,5 trillones de calorías (1 ton de maíz = 888.889 kcal) (Heinemann *et al.* 2013). Las recientes sequías y temperaturas altas han causado una disminución de rendimientos desde 2009 (NRC 1972). La sequía del 2012 que afectó al medio oeste de USA terminó en lluvias torrenciales en la primavera del 2013 causando aún más pérdidas para los agricultores de maíz y soya cuyos ingresos disminuyeron en 3%, cifra disfrazada ya que los granjeros se acogieron a seguros agrícolas por una cantidad superior a 12 mil millones de dólares. Poco se ha hecho para incrementar la adaptabilidad de la agricultura industrial a los eventos climáticos cambiantes y extremos (Rosenzweig y Hillel 2008). La búsqueda de posibles adaptaciones agrícolas al cambio climático se ha centrado en enfoques reduccionistas o "balas mágicas" como la modificación genética para crear "genes climáticamente inteligentes" con la que se espera que los cultivos puedan producir bajo condiciones estresantes ayudados por modelos de predicción del clima.

Dado de que el mundo es cada vez más dependiente de agroecosistemas industriales concentrados para la producción de granos, y a su vez altamente vulnerables, la revelación de que muchos campesinos y agricultores familiares no solo lidian con la variación climática sino que de hecho se preparan para el cambio, minimizando la pérdida de rendimientos, es de gran relevancia para el futuro de la seguridad alimentaria global (Altieri y Koohafkan 2008). Muchas investigaciones plantean que el conocimiento tradicional y las prácticas indígenas de manejo de recursos son la base de la resiliencia de los agroecosistemas campesinos. Estrategias como mantener diversidad genética, usar policultivos y agroforestería, cosechar agua, conservar suelos, etc. son estrategias campesinas de minimización de riesgo frente a climas inciertos. El uso diversificado del paisaje y el acceso a recursos múltiples incrementa la capacidad de los campesinos de responder a la variabilidad y cambio ambiental. Estas estrategias están ligadas a sistemas tradicionales de gobernanza y redes sociales que contribuyen a la habilidad colectiva para responder a la variabilidad climática incrementando así la resiliencia socio-ecológica de las comunidades.

Es claro que los agricultores tradicionales poseen lecciones importantes de resiliencia para los agricultores modernos y diversos expertos han sugerido que el rescate de los sistemas tradicionales de manejo, en combinación con el uso de estrategias agroecológicas, puede representar la única ruta viable y sólida para incrementar la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia de

la producción agrícola (Altieri 2002, De Schutter 2010). En este artículo se explora una serie de maneras en que pueden implementarse estrategias agroecológicas para el diseño y el manejo de agroecosistemas, permitiendo a los agricultores adoptar una estrategia que aumenta la resiliencia y además proporciona beneficios económicos.

Un desafío clave para los científicos es definir un marco conceptual y metodológico para poder descifrar los principios y mecanismos claves que explican la resiliencia de los sistemas diversificados, de manera de que estos puedan ser transmitidos a otros agricultores en cada región para que estos mejoren la capacidad de resistencia y de recuperación de sus fincas. Por esto la urgencia de la necesidad de desarrollar una metodología que permita evaluar la capacidad de los agroecosistemas a resistir y recuperarse de los eventos climáticos severos, con especial énfasis en entender los procesos que explican la resiliencia socio-ecológica observada.

### Que es la resiliencia socio-ecológica?

Resiliencia se define como la propensidad de un sistema de retener su estructura organizacional y su productividad tras una perturbación. La resiliencia tiene dos dimensiones: resistencia a los shocks (eventos extremos) y la capacidad de recuperación del sistema (Lin 2011). Un agroecosistema es "resiliente" si es capaz de seguir produciendo alimentos, a pesar del gran desafío de una severa sequía o una tormenta. En los agroecosistemas la agrobiodiversidad provee un enlace entre stress y resiliencia, porque una diversidad de organismos es clave para que los ecosistemas funcionen y provean servicios. Si un grupo funcional de especies, o un nivel trófico es removido puede causar que un ecosistema cambie a un estado "menos deseado" afectando su capacidad de funcionar y prestar servicios. Las principales conexiones entre la diversidad en agroecosistemas y la resiliencia se pueden resumir de la siguiente manera (Vandermeer *et al.* 1998):

- a. La biodiversidad incrementa la función del ecosistema pues diferentes especies juegan roles diferentes y ocupan dichos diversos
- b. En general hay mas especies que funciones por lo que existe redundancia en los ecosistemas.
- c. Son precisamente aquellos componentes que aparecen redundantes en un tiempo determinado, los que se tornan importantes cuando ocurre un cambio ambiental.

Cuando se producen cambios ambientales, la redundancia construida por varias especies, permiten al ecosistema continuar funcionando y proporcionando los servicios ecosistémicos. Así, la biodiversidad proporcio-

na un "seguro" o sirve como un "amortiguador" frente a fluctuaciones ambientales, debido a que la diversidad de cultivos, árboles y animales responden de manera diferente a las fluctuaciones, alcanzando una comunidad más predecible o fomentando las propiedades del ecosistema. Lo clave aquí es entender que cuando ocurre cambio ambiental, son las redundancias del sistema las que permiten un funcionamiento continuo del sistema. De ahí la importancia de las estrategias de diversificación en los agroecosistemas ya que la diversidad se traduce en heterogeneidad ecológica lo que incrementa las opciones.

Debido a que estos sistemas no ocurren en un vacío social, sino que mas bien han sido el producto de un proceso co-evolutivo entre grupos étnicos interactuando con la naturaleza, la resiliencia ecológica observada esta íntimamente ligada a la resiliencia social que es la habilidad de las comunidades de construir su infraestructura social como soporte a shocks externos. Hay una clara relación entre resiliencia social y ecológica, particularmente en grupos o comunidades que dependen directamente de recursos ambientales para su sobrevivencia. Lo que falta por comprobar es si acaso ecosistemas resilientes son conducentes a comunidades resilientes y viceversa (Walker *et al.* 2002).

Una dificultad fundamental para definir o manejar la resiliencia socio-ecológica es su gran complejidad y la dificultad e incertidumbre de realizar cualquier tipo de pronostico sobre cambios inmediatos o futuros. Esto se debe a que el cambio climático es impredecible y cambia en forma no lineal. Incluso el sistema puede cambiar mas rápido de lo predicho, especialmente en periodos de transición. Dados estos limites en nuestro entendimiento, la Agroecología se enfoca mas en la necesidad de aprender a vivir en o con sistemas cambiantes, mas que en "controlarlos". Es por eso que en tiempos de crisis, rompimiento o reorganización, el manejo debe enfocarse hacia la construcción de la resiliencia tomando en cuenta diez principios de diseño agroecológico (Altieri 2002, Martin *et al.* 2010):

1. Los procesos ecológicos en los agroecosistemas exhiben dimensiones espaciales y temporales de tiempo y espacio, las cuales se deben tomar en cuenta para los planes de manejo ambiental
2. La estructura y la función del agroecosistema están determinadas por los componentes de biodiversidad y sus interacciones.
3. La estabilidad no esta solo relacionada al numero de especies presentes, sino mas bien con las conexiones funcionales entre estas.
4. En general, mientras mas diversos los agroecosistemas, estos tienden a ser mas estables y mas resilientes. La biodiversidad se debe mantener o promover para mantener la capacidad de autorregulación de los agroecosistemas.

5. Los agroecosistemas diversos exhiben capacidades homeostáticas que "suavizan" los efectos de variables externas cambiantes.
6. Todos los componentes bióticos y abióticos del agroecosistema están conectados y forman una red. Dado que los procesos físicos y biológicos son interactivos, es importante determinar las interacciones en el agroecosistema y saber interpretarlas para su optimización.
7. La energía solar es el motor del ecosistema a través del proceso fotosintético de las plantas. Todos los niveles tróficos del agroecosistema (herbívoros, depredadores y descomponedores) se organizan y dependen del nivel trófico primario y mientras más compleja la vegetación, más complejos son los niveles tróficos asociados.
8. Los ecosistemas tienden hacia la complejidad y la entropía, por lo que los diseños agroecológicos debieran acompañar a la naturaleza en su tendencia hacia la complejidad.
9. Todo agroecosistema tiene una historia de desarrollo ecológico que influencia su estado actual. Mientras más degradado y artificializado este el sistema, más difícil y largo será el proceso de transición agroecológica.
10. Los agroecosistemas son parte de un paisaje más amplio. Agroecosistemas insertos en una matriz ambiental más compleja son más resilientes. Los ecotonos son zonas tampón y de transición, y son tan importantes para los ecosistemas como lo son las membranas para las células.

Dado que los agroecosistemas son el producto de una co-evolución social-ecológica, estos principios agroecológicos se complementan con otros tres principios sociales claves (Adger 2000):

1. La capacidad de construir resiliencia en un agroecosistema depende del contexto socio-cultural (nivel de organización, gobernanza, conocimiento tradicional, etc.) que lo nutre y de la capacidad de reaccionar, movilizarse y de adaptarse a los cambios de los grupos humanos que los manejan.
2. Un sistema socio-ecológico vulnerable ha perdido su resiliencia, lo que a su vez implica una pérdida de la capacidad de responder y adaptarse. Los agroecosistemas son más vulnerables en sus límites geográficos y cuando los grupos humanos carecen de armonía social y su identidad cultural se ha erosionado.
3. La "adaptabilidad" es la capacidad de las comunidades de construir resiliencia a través de acciones colectivas. "Transformabilidad" es la capacidad de las comunidades de crear nuevos sistemas socio-ecológicos cuando las condiciones ambientales,

socio-económicas o políticas son críticas. De aquí el énfasis de la Agroecología de crear nuevos sistemas agrícolas y alimentarios con una nueva base productiva y social.

### **Desempeño de los agroecosistemas biodiversos bajo eventos climáticos extremos**

Mucho se ha escrito sobre la importancia de la diversificación de agroecosistemas para reducir la incidencia de plagas y patógenos (Altieri y Nicholls 2004) y esta relación entre biodiversidad y la protección de cultivos se ha extendido para lidiar con la variabilidad climática (Altieri y Koothafkan 2008). Un gran número de estudios que analizan el comportamiento de la agricultura después de fuertes eventos climáticos, han puesto de manifiesto que la resistencia a los desastres climáticos está estrechamente relacionada con la biodiversidad presente en los sistemas productivos (Holt-Gimenez 2002, Philpott *et al.* 2009, Rosset *et al.* 2011)

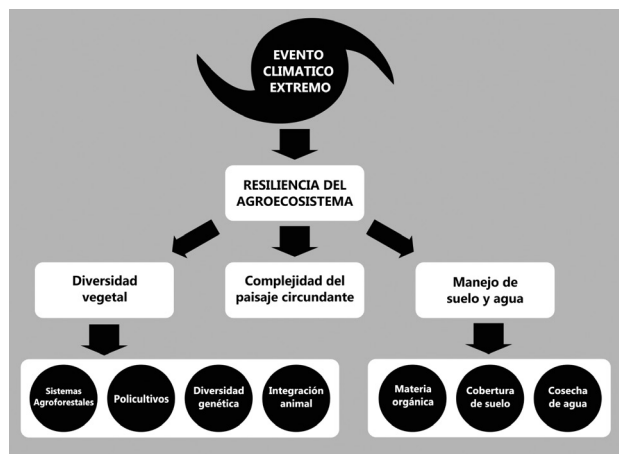
Uno de los estudios pioneros realizado en laderas de América Central después del huracán Mitch en 1998, reveló que los agricultores que utilizaban prácticas de diversificación como cultivos de cobertura, sistemas intercalados y sistemas agroforestales, sufrieron menos daño que sus vecinos con monocultivos convencionales. Este estudio liderado por el Movimiento Campesino a Campesino, movilizó 100 equipos de agricultor-técnico para llevar a cabo observaciones paralelas de indicadores agroecológicos específicos en 1.804 fincas "sostenibles" y "convencionales". El estudio abarcó 360 comunidades y 24 departamentos en Nicaragua, Honduras y Guatemala. El estudio reveló que después del huracán, las parcelas diversificadas ("sostenibles") tenían un 20-40% más de capa arable de suelo, mayor humedad en el suelo, menos erosión y experimentaron menores pérdidas económicas que sus vecinos "convencionales" (Holt-Giménez 2002).

Asimismo, en Sotonusco, Chiapas, sistemas de café con altos niveles de complejidad y diversidad vegetal sufrieron menos daños por el huracán *Stan* que los sistemas de café más simplificados (Philpott *et al.* 2009). En el caso del café, los sistemas con más sombra mostraron mayor protección a los cultivos, cuando se presentaba menor precipitación y había una menor disponibilidad de agua en el suelo, ya que la cubierta forestal arbórea, era capaz de reducir la evaporación del suelo y aumentar la infiltración del agua (Lin 2007). Cuarenta días después de que el huracán *Ike* azotó a Cuba en 2008, varios investigadores realizaron una encuesta en las fincas en las provincias de Holguín y Las Tunas y encontraron que las fincas diversificadas exhibieron pérdidas de 50% comparadas con el 90 o el 100% en las fincas vecinas con monocultivos. Igualmente, explotaciones manejadas agroecológicamente, mostraron una recuperación más rápida de producción (80-90%)

40 días después del huracán, que las fincas bajo monocultivos (Rosset *et al.* 2011).

### Estrategias para incrementar la resiliencia de agroecosistemas

Para poder proteger los sistemas de vida de los agricultores de una zona determinada es necesario identificar los factores que incrementan el riesgo, pero más importante es incrementar la resiliencia de sus sistemas productivos. Dada la interconexión entre el ambiente, los recursos naturales, las amenazas naturales y la seguridad alimentaria, se hace necesario reducir la vulnerabilidad mediante la adopción de estrategias de manejo sustentable de recursos naturales como suelo, agua y bosques, mejorando así la matriz ambiental circundante. Cuencas saludables y revegetadas son más resilientes, y protegen contra derrumbes, erosión, inundaciones, etc. Simultáneamente, será necesario la implementación de prácticas agroecológicas para estabilizar los agroecosistemas incluyendo diversificación de cultivos, conservación y manejo orgánico de suelos, cosecha de aguas lluvia y restauración de tierras degradadas. La idea es lograr diseñar agroecosistemas rodeados de un paisaje más complejo, con sistemas productivos diversificados y suelos cubiertos y ricos en materia orgánica, pues estos serán más resilientes (Figura 1).



**Figura 1.** Factores ecológicos a nivel de paisaje, diversidad vegetal y calidad del suelo que condicionan la resiliencia de un agroecosistema.

De hecho, muchos estudios revelan que los pequeños agricultores que utilizan prácticas agroecológicas han podido afrontar e incluso prepararse para el cambio climático, minimizando las pérdidas de sus cosechas, a través de una serie de prácticas tales como el uso de variedades tolerantes a sequía, cosecha de agua, diversidad de cultivos, agroforestería, prácticas de conservación de suelo y una serie de otras técnicas tradicionales (Altieri y Koohafkan 2008). Los resultados de diversas investigaciones sugieren que muchas prácticas agroeco-

lógicas (Tabla 1) producen una mayor resistencia a los eventos climáticos al traducirse en menor vulnerabilidad y mayor sostenibilidad a largo plazo.

### Sistemas agrícolas diversificados y resiliencia

Los sistemas agrícolas diversificados como sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y policultivos, constituyen ejemplos de cómo los agroecosistemas complejos son capaces de adaptarse y resistir los efectos del cambio climático. Los sistemas agroforestales tienen una alta complejidad estructural, que han demostrado servir como amortiguador frente a grandes fluctuaciones de temperatura, manteniendo así el cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas (Morais *et al.* 2006, Lin 2007). Los cultivos intercalados permiten a los agricultores producir simultáneamente varios cultivos y minimizar el riesgo (Francis 1986). Además, los policultivos exhiben una mayor estabilidad en los rendimientos y menor disminución de productividad en condiciones de sequía, a diferencia de los monocultivos. Un estudio de los efectos de las sequías sobre los policultivos demostró que los cultivos intercalados son muy exitosos. Natarajan y Willey (1986) evaluaron el efecto de los policultivos de sorgo y maní, mijo y maní y sorgo y mijo al manipular el estrés hídrico, y encontraron que los rendimientos fueron mayores en los policultivos que en los monocultivos. Todos los policultivos rindieron más sistemáticamente en cinco niveles de disponibilidad de humedad, que van desde 297 a 584 mm de agua aplicada durante la temporada de cultivo. Lo más resaltante es que la tasa de mayor rendimiento aumentó con el estrés hídrico, por lo que las diferencias relativas en productividad entre monocultivos y policultivos, fueron más acentuadas cuando el estrés se incrementó.

Otro ejemplo lo brindan los sistemas silvopastorales intensivos (SSI) que combinan arbustos forrajeros sembrados en grandes densidades, árboles, palmeras y pastizales mejorados. La alta carga animal y la buena producción de leche y carne en estos sistemas se logran a través del pastoreo rotativo con cercas eléctricas y un suministro permanente de agua para el ganado. En la finca "El Hatico" en el Valle del Cauca, Colombia, un SSI de cinco estratos, compuesto de un estrato bajo de pastos y arbustos de *leucaena*, un estrato mediano con árboles tamaño medio y un dosel de árboles de gran tamaño, hizo posible que se incrementara a lo largo de los últimos 18 años el nivel de carga animal para la producción de leche a 4.3 vacas/ha y un incremento de la producción de leche de 130%, además de eliminar completamente el uso de fertilizantes químicos. Si bien, el 2009 fue el año más seco registrado en los últimos 40 años en El Hatico, alcanzando una reducción de 44% en comparación con el promedio histórico de precipitaciones, y los agricultores vieron una reducción del 25% en la biomasa de pastos, la producción de forrajes del SSI se mantuvo constante durante todo el año y permitió



**Tabla 1.** Ejemplos de practicas agroecológicas (diversificación y manejo del suelo) conocidas por su efecto en la dinámica del suelo y el agua pero que a su vez mejora la resiliencia del agroecosistema.

	Incremento de la material orgánica del suelo	Ciclaje de Nutrientes	> cobertura de suelo	Reducción ET	Reducción de escorrentía	> retención de humedad	> infiltración	Regulación Microclimática	Reducción de la compactación de suelos	Reducción de la erosión de suelos	> Regulación hidrológica	> uso eficiente del agua	> redes tróficas de micorrizas
<b>Diversificación</b>													
• Cultivos intercalados	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	
• Agroforestería	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
• Sistema silvopastoral Intensivo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• Rotación de cultivos	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓	
• Mezcla de variedades locales			✓									✓	
<b>Manejo del Suelo</b>													
• Cultivos de cobertura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
• Abonos verdes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓
• Mulching													
• Aplicaciones de Compost	✓					✓							✓
• Agricultura de labranza cero (orgánica)			✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	
<b>Conservación de suelos</b>													
• Curvas a nivel					✓		✓		✓	✓	✓		
• Barreras vivas			✓		✓		✓		✓	✓	✓		
• Terrazas					✓		✓		✓	✓	✓		
• Pequeñas represas entre las cárcavas					✓		✓		✓	✓	✓		

neutralizar los efectos negativos de la sequía en todo el sistema. Como respuesta a las condiciones climáticas extremas, la finca tuvo que ajustar sus niveles de carga animal y aumentar la suplementación con energía. A pesar de ello, la producción de leche de la finca para el año 2009, fue la más alta registrada, con un sorpresivo incremento de 10% en comparación a los cuatro años anteriores. Mientras tanto, los ganaderos en otras partes del país reportaron una pérdida de peso severa en los animales y altas tasas de mortalidad debido al hambre y sed. El desempeño productivo de la finca “El Hatico” durante el período excepcionalmente seco y caliente del Niño, ilustra el enorme potencial de SSI como una estrategia de intensificación sostenible para la adaptación al cambio climático y mitigación (Murgueitio *et al.* 2011).

Los beneficios combinados de la regulación del agua, las condiciones micro climáticas favorables, la biodiversidad y las reservas de carbono de los sistemas agrícolas diversificados descritos anteriormente, no solo proporcionan bienes y servicios ambientales para los productores, sino también una mayor resiliencia al cambio climático.

### Manejo de suelos y resiliencia

#### *Incremento de la materia orgánica en los suelos*

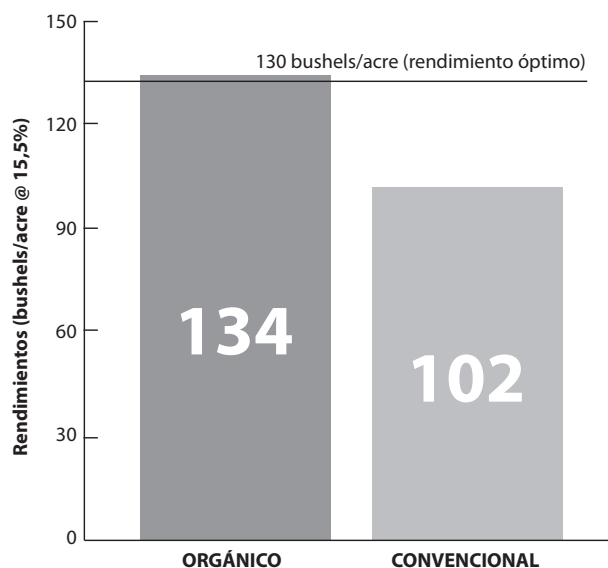
La adición de grandes cantidades de materia orgánica de forma regular basada en estiércol animal, compost, hojarasca, cultivos de cobertura, rotación de cultivos que aportan grandes cantidades de residuos, etc., es una estrategia clave utilizada por muchos agricultores para mejorar la calidad del suelo. El manejo de la materia orgánica esta en el centro de todos los esfuerzos por crear tierras saludables con buena actividad biológica y buenas características físicas y químicas. Para garantizar la resiliencia de los sistemas agrícolas, la materia orgánica juega un papel supremamente importante, ya que mejora la capacidad de retención de agua del suelo, haciéndolo más resistente a las sequías, mejorando su capacidad de infiltración y evitando que sus partículas sean transportadas con el agua durante lluvias intensas. La materia orgánica también mejora la agregación de suelo superficial, sujetando firmemente las partículas durante lluvias o tormentas o vientos fuertes. Los agregados del suelo estables, resisten el movimiento por viento o agua (Magdoff y Weil 2004).

Simultáneamente, los suelos ricos en materia orgánica generalmente contienen por lo general micorrizas arbusculares (MA) que son un componente clave de las poblaciones microbianas que influyen sobre el crecimiento de las plantas y la productividad del suelo. Los hongos micorríticos son importantes porque mejoran las interacciones planta-agua, aumentando así la resistencia a la sequía (Garg y Chandel 2010). La capacidad de asociaciones específicas de estos hongos y las plantas para tolerar la sequía son de gran interés en áreas afectadas por deficiencias de agua. Se ha reportado que estas asociaciones con micorrizas, pueden aumentar la absorción de nutrientes por las plantas y además

permitir un uso más eficiente del agua, al aumentar la conductividad hidráulica de la raíz.

La productividad de cultivos bajo condiciones de sequía en gran medida está limitada por la disponibilidad de agua del suelo. El contenido de materia orgánica (% MO) es un índice confiable de productividad de los cultivos en las regiones semiáridas, ya que la materia orgánica potencia el crecimiento de los cultivos al mejorar la estructura del suelo y su capacidad para almacenar y transmitir aire y agua, estrategia clave para la resistencia a la sequía. En un estudio realizado en la región semiárida de la Pampa Argentina, se encontró que los rendimientos de trigo estaban relacionados con retención de agua del suelo y el contenido de carbono orgánico total en la capa superficial (0-20cm) durante años de baja disponibilidad de humedad. Los rendimientos de trigo obtenidos bajo condiciones de suelos con baja retención de agua y un contenido de carbono total bajo, en condiciones de déficit hídrico, se explican por el efecto positivo de estos componentes del suelo sobre el agua disponible de la planta. Pérdidas de 1 mg materia orgánica/ha estaban asociadas con una disminución en el rendimiento de trigo de aproximadamente 40 kg/ha. Estos resultados demuestran la importancia de utilizar prácticas culturales que mejoren el contenido de materia orgánica del suelo y minimicen así las pérdidas de carbono orgánico en ambientes semiáridos (Díaz Zorita *et al.* 1999).

Investigadores en Estados Unidos han encontrado en estudios comparativos de agricultura orgánica y convencional desde 1981 en Pensilvania, que los rendimientos de sistemas orgánicos de maíz eran 31% superiores que los encontrados en sistemas convencionales en años de sequía (Figura 2). Estos rendimientos durante épocas secas eran notables, cuando se compararon con variedades genéticamente modificadas como “toleran-



**Figura 2.** Rendimiento de maíz en sistemas orgánico vs. convencional en años durante sequía en Pensilvania, USA (Rodale Institute 2012).

tes a sequía" en las que se observaron aumentos de sólo el 6,7% a 13,3% sobre las variedades convencionales (Rodale Institute 2012).

#### *Manejo de la cobertura del suelo*

La protección del suelo contra la erosión también es una estrategia fundamental para aumentar la resiliencia de los agroecosistemas. Los mantillos o mulching con cultivos de cobertura y/o abonos verdes ofrecen muchas ventajas. Los mantillos de rastrojo disminuyen la evaporación del agua del suelo hasta un 99% al cubrir la superficie con residuos. Además, los cultivos de cobertura y los residuos de malezas pueden mejorar la penetración de agua y reducir las pérdidas por escorrentía de dos a seis veces.

En Centroamérica, CIDDICO, Vecinos Mundiales y otras organizaciones no gubernamentales (ONGs) han promovido el uso de leguminosas como abonos verdes, una fuente barata de fertilizante orgánico y una manera de acumular materia orgánica. Cientos de agricultores de la costa norte de Honduras están usando el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) con excelentes resultados, incluyendo rendimientos de maíz de alrededor de 3.000 kg/ha, más del doble del promedio nacional. Los frijoles producen más de 30 toneladas/ha de biomasa anualmente o cerca de 90 a 100 Kg de nitrógeno/ha por año. El sistema disminuye el estrés por falta de agua, porque una capa de mantillo dejada por la *Mucuna* contribuye a conservar agua en el perfil del suelo, logrando que los nutrientes estén fácilmente disponibles en aquellos periodos en los cultivos más lo absorben (Flores 1989, Buckles *et al.* 1998).

Tomando ventaja del "Movimiento Campesino a Campesino" en Nicaragua y otros lugares de Centroamérica, esta tecnología se ha propagado rápidamente. En sólo un año, más de 1000 campesinos han recuperado tierras degradadas en la cuenca del Río San Juan en Nicaragua (Holt-Giménez 1996). En Cantarranas, Honduras, hubo una adopción masiva de *Mucuna pruriens* y los rendimientos de maíz se triplicaron alcanzando 2500 kg/ha mientras que los requerimientos de mano de obra para deshierbe se redujeron en un 75% (Bunch 1990). Se estima que en Centroamérica y México, unos 200.000 agricultores utilizan unas 14 especies diferentes de abono verde y cultivos de cobertura.

En la actualidad, se estima que más de 125.000 agricultores están usando abonos verdes y cultivos de cobertura en Santa Catarina, Brasil. Los agricultores familiares de las laderas modificaron el sistema convencional de labranza cero, dejando inicialmente residuos de plantas sobre la superficie del suelo, notando una disminución en los niveles de erosión y también experimentando menores fluctuaciones en la temperatura y humedad del suelo. Las reiteradas aplicaciones de biomasa fresca mejoraron la calidad del suelo, minimizaron la erosión y el crecimiento de malezas y mejoraron el rendimiento de los cultivos. Estos novedosos sistemas

dependen de mezclas de cultivos de cobertura tanto de verano como de invierno que dejan una capa gruesa de residuos que se descompone lentamente y sobre la que se siembra o planta directamente maíz, trigo, cebollas o tomates, sufriendo muy poca interferencia de malezas durante la temporada de crecimiento de los cultivos (Altieri *et al.* 2011). Durante el ciclo agrícola 2008-2009, que se experimentó una severa sequía, los productores de maíz convencionales sufrieron pérdidas de rendimiento promedio de 50%, llegando a niveles de productividad de 4.500 kilos por hectárea. Sin embargo, los agricultores que habían adoptado las prácticas de cero labranza agroecológica experimentaron una pérdida de sólo 20%, confirmando la mayor resiliencia de estos sistemas en comparación con aquellos que utilizan agroquímicos (Almeida *et al.* 2009).

#### **Identificando sistemas agrícolas resilientes para el Siglo XXI.**

La Red Iberoamericana de Agroecología para el desarrollo de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático (REDAGRES-[www.redagres.org](http://www.redagres.org)) es una red de científicos e investigadores ubicados en 8 países de Iberoamérica vinculados a la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) y financiado por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED de España y CSFund de California. Los objetivos de REDAGRES son promover el intercambio de conocimiento científico y la formación de recursos humanos en temas relacionados con la agricultura y el cambio climático. Además de analizar el impacto del cambio climático sobre la producción agrícola, REDAGRES pone especial énfasis en la exploración de estrategias de adaptación agrícola a eventos climáticos extremos y la aplicación de principios agroecológicos para el diseño y difusión de agroecosistemas resistente al cambio climático

REDAGRES inició en el año 2012, un proyecto de tres años que consiste en un estudio de los sistemas agrícolas de pequeña escala en regiones seleccionadas de siete países de América Latina, con el propósito de identificar los sistemas que hayan resistido eventos climáticos recientemente o en el pasado reciente y entender las características agroecológicas de esos sistemas que les permitieron resistir o recuperarse de las sequías, tormentas, inundaciones o huracanes.

En cada zona seleccionada los investigadores junto a agricultores participantes, se han embarcado en un proceso de investigación participativa que inicialmente trata a de responder las siguientes preguntas :

1. ¿Cuáles son las principales características geomorfológicas, de suelo, agua, clima y vegetación del paisaje y las fincas incluidas en particular la configuración espacial y temporal de cultivos y los manejos de las fincas seleccionadas en cada zona que



las tornan vulnerables o resistentes a extremos climáticos? Que tipos de fincas dominan y sus niveles de sensibilidad a perturbaciones externas? Hay sistemas que se destacan por ser muy vulnerables, y otros mas resilientes?

2. ¿Qué eventos climáticos extremos se han presentado (magnitud, frecuencia, duración) o se presentan en la zona de estudio? Cuales son las percepciones de los agricultores de estos riesgos climáticos?
3. ¿Cuáles son las prácticas agropecuarias dirigidas a resistir, contrarrestar y/o reponerse de los posibles cambios climáticos en la zona que se implementan en las fincas seleccionadas? Que estrategias de adaptación usan los agricultores (al corto y largo plazo), porque las adoptan y cual es su efectividad? Que factores influyen en el nivel de adopción de estrategias de adaptación?
4. ¿Qué variables socio-culturales (capital humano y social de la familia, niveles de organización, redes de solidaridad, etc.) potencian, limitan o explican la capacidad de respuesta de los agricultores frente a los cambios experimentados?

Para abordar estas preguntas los grupos precisaron seguir una serie de etapas:

1. Identificación de shocks climáticos dentro de un periodo de tiempo de nos menos de 10 años, incluyendo una descripción de condiciones socio-económicas relevantes.
2. Determinación de las respuestas (exitosas o no) de agricultores al cambio climático. Que indican la variedad de respuestas? Que factores (económicos, demográficos, especialización productiva, etc.) reducen la diversidad de respuestas? Existen presiones económicas acopladas a incentivos errados que estimulan respuestas que incrementan la exposición a la variabilidad climática? Esto ha implicado realizar estudios socio-ecológicos en los sistemas seleccionados en cada región, de manera de elucidar las características agroecológicas de estos sistemas y las estrategias sociales y ecológicas utilizadas por los agricultores, que les permitieron resistir y/o recuperarse de los estragos de sequías, inundaciones o tormentas.
3. Determinar las lecciones que se derivan de estas respuestas que llevan a incrementar la resiliencia. Que principios gobiernan los sistemas menos vulnerables?
4. Identificar los tipos de capitales (humanos, sociales, naturales y financieros) invertidos en la construcción de resiliencia. Explorar si existen ventajas económicas de largo plazo de las estrategias constructoras de resiliencia asociadas con los beneficios eco sistémicos derivados de las practicas agroecológicas adaptativas.

5. Determinar los prerequisites para construir resiliencia, actitudes y valores de los actores, estímulos institucionales y de mercado, niveles de organización social incluyendo redes de apoyo mutuo, etc.

Los principios de resiliencia que emerjan de las investigaciones se difundirán a los agricultores familiares en comunidades vecinas y otros en la región a través de días de campo, visitas cruzadas, seminarios breves, cursos y también por la elaboración de un manual descriptivo para los agricultores, explicando cómo evaluar el nivel de resiliencia de cada finca y qué hacer para mejorar la resistencia a la sequía y fuertes tormentas.

La esperanza de este proyecto es que articulando investigadores y agricultores pertenecientes a organizaciones de agricultores bien establecidas, un proyecto de investigación entre países, utilizando la misma metodología, puede producir en un corto periodo, información clave para establecer las bases para el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático, que pueden difundirse entre miles de agricultores, creando así la capacidad humana en cientos de comunidades rurales de la región para diseñar estrategias de adaptación para el cambio climático.

### Hacia un modelo conceptual de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se puede definir como la posibilidad o inminencia de pérdida de biodiversidad, recursos (suelo, agua) o productividad de un agroecosistema o de sus características socio-culturales claves frente a un proceso amenazante recurrente o inminente. Smith y Olsen (2010) describen tres dimensiones de la vulnerabilidad:

- a. Exposición (o riesgo): es la probabilidad de un proceso amenazante de afectar un área por un periodo específico de tiempo. La predisposición o sensibilidad de un área a la amenaza es un componente de la exposición.
- b. Intensidad: incluye la magnitud, intensidad y frecuencia del proceso amenazante (evento climático extremo)
- c. Impacto: se refiere a los efectos del proceso amenazante sobre características particulares como efectos sobre abundancia o persistencia de ciertas especies, calidad del suelo, rendimientos, etc. En general el impacto de un proceso amenazante sobre características del sistema están determinados por la intensidad del evento y la sensibilidad del sistema a este.

El riesgo resultante será un producto de la relación entre amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta como lo describe la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Amenaza} + \text{vulnerabilidad}}{\text{Capacidad de respuesta}}$$



**Figura 3.** Características socio-ecológicas que determinan la vulnerabilidad de agroecosistemas contrarestanda por la capacidad reactiva de los agricultores para mejorar la resiliencia de sus sistemas y sus comunidades.

Donde, el **"Riesgo"** se entiende como cualquier fenómeno de origen natural (huracán, sequía, inundación, entre otros) que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada de productores expuesto a ese fenómeno.

La **"vulnerabilidad"** denota la incapacidad de una comunidad de productores para "absorber", mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su "inflexibilidad" o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad de productores constituye un riesgo. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del riesgo sobre la comunidad.

La **"Amenaza"** (para una comunidad de productores) se considera como la probabilidad de que ocurra un riesgo (intensidad, frecuencia) frente al cual esa comunidad particular y sus fincas es vulnerable.

En resumen, el que un evento o fenómeno se considere o no riesgo, dependerá de que el lugar en donde se manifieste esté ocupado o no por una comunidad vulnerable al mismo. El que se considere o no amenaza, dependerá del grado de probabilidad de su ocurrencia en esa comunidad. Y el que se convierta o no en desastre, dependerá de la magnitud real con que efectivamente se manifieste el fenómeno, y del nivel de vulnerabilidad de la comunidad. La vulnerabilidad sin embargo puede ser reducida por la **"capacidad de respuesta"** definida como los atributos de las fincas y las estrategias y ma-

nejos que usan los productores para reducir los riesgos de eventos climáticos y para resistir y recuperarse de los daños causados por dichos eventos. Adaptación se define como los ajustes que hacen los agricultores para reducir los riesgos. La capacidad de los agricultores de adaptarse se basa en sus reservas individuales o colectivas de capital natural y humano que incluye atributos como conocimiento tradicional, destrezas y habilidades generales, y niveles de organización social.

No siempre los agricultores toman decisiones adaptativas solo en respuesta a amenazas climáticas; estas decisiones se hacen generalmente en respuesta a una multiplicidad de factores, ya que los riesgos climáticos ocurren dentro de un marco más amplio de condiciones e influencias:

- Influencias socio-culturales: dinámica y demografía de la comunidad, niveles de educación, salud, oportunidades e historia.
- Influencias político-económicas: precios de productos e insumos, apoyo institucional (investigación, extensión, crédito, mercados, etc.), políticas agrícolas, etc.
- Influencias ambientales: degradación de suelos o presión de plagas y enfermedades, cuyas dinámicas cambian producto del cambio climático, y otras.
- Influencias tecnológicas: disponibilidad de biomasa, materia orgánica, acceso a semillas tolerantes, etc.

Dependiendo de la confluencia y magnitud de estas influencias, la percepción del riesgo y las capacidades de respuesta de los agricultores, se podrán detectar diferentes niveles de resiliencia entre los varios productores de una región. Como muestra la Figura 3, el nivel de vulnerabilidad de una finca esta determinado por el tipo de infraestructura agroecológica (nivel de diversificación y manejo de suelo, etc.) de la finca y rasgos sociales de la familia o comunidad (nivel de organización, autosuficiencia, redes, etc.), y esta vulnerabilidad puede ser reducida de acuerdo a la capacidad de respuesta que tienen los agricultores o sus sistemas que determinan la tasa de resistencia y de recuperación frente a los eventos.

### **Una metodología amigable a los agricultores para estimar la vulnerabilidad de fincas**

La metodología que aquí se presenta se desarrolló junto a agricultores pertenecientes a la Red Centroamericana de Productores de Cacao articulada por la Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria de Centroamérica (ACICAFOC), en un taller realizado en el 2010 en Matiguas, Nicaragua.

La metodología consiste en la observación de varias características de la finca tanto a nivel del paisaje en que se encuentra la finca insertada, como a nivel de los sistemas agroforestales (SAF) de cacao desplegados en la finca examinada. Estos atributos o características son según la literatura (Holt-Gimenez 2002, Philpott *et al.* 2009) y la experiencia de los productores, los más relevantes a tener en cuenta cuando se considera el nivel de daño que una finca exhibe al paso de un evento como tormenta tropical o huracán. Por esta razón los agricultores consideraron relevante observar 5 indicadores a nivel de paisaje y 9 a nivel de finca:

#### *Indicadores a nivel de paisaje:*

Diversidad paisajística: se refiere a la cantidad de laderas, zonas bajas, variedad de sistemas de producción que tenga la finca. Mientras más diversidad paisajística, menor son las chances de un desastre total ya que los varios sistemas desplazados sobre diversas pendientes con diferentes exposiciones sufrirán diversos niveles de daño.

Pendiente: mientras mayor pendiente se debiera esperar mayor daño. Pendientes mayores a un 20% se consideran riesgosas.

Orientación de la pendiente: obviamente las fincas sobre laderas expuestas a los vientos y lluvias dominantes sufrirán más daño, ya que estas se asume son más susceptibles a derrumbes

Cercanía a bosques o cerros protectores: fincas aledañas a bosques o cerros que intercepten los vientos dominantes estarían menos expuestas a los daños directos del huracán.

Cortinas rompe vientos o cercas vivas: dependiendo de la composición vegetal, la altura, densidad del dosel, número de estratos, ubicación, etc., estas estructuras pueden interceptar los vientos dominantes y tener un efecto protector sobre la finca en cuestión.

Cercanía a ríos: fincas con zonas bajas cercanas a ríos pueden sufrir inundaciones que duren unos cuantos días con efectos negativos

#### *Indicadores a nivel de los sistemas de producción*

Diversidad vegetacional: mientras mayor sea la diversidad y complejidad vegetacional (estratificación) de los sistemas SAF más resistentes son al daño.

Profundidad de raíces: mientras más profundas y arraigadas sean las raíces de los cultivos/arboles principales más sujetan el suelo (importante en el caso de derrumbes) y menos probabilidades que el árbol sea arrancado por un viento fuerte.

DAP (diámetro a la altura del pecho): mientras mayor sea el DAP y más vigorosas sean las ramas de los árboles, probablemente se experimentará menor daño por arranque o caída de árboles y quiebre de ramas.

Estructura de suelo: mientras mejor sea la agregación del suelo, mejor la infiltración del agua, evitando sobresaturación del suelo

Cobertura de suelo: A mayor y más gruesa la cobertura viva o muerta del suelo, se aminora el nivel de erosión del suelo

Prácticas de conservación: la presencia de prácticas como barreras vivas o muertas, terrazas, etc. protegen el suelo del potencial erosivo de la escorrentía.

Drenajes: la presencia de zanjas de infiltración, canales de drenaje y otras obras, son claves para desviar el exceso de agua y disminuir la erosión y derrumbes.

Autoconsumo (% de alimentos producidos en la finca): mientras mayor sea la producción de alimentos que consume la familia en la finca, menor la dependencia de canales externos de provisión de alimentos, muchas veces interrumpidos por eventos violentos como tormentas y huracanes.

Nivel de conocimiento del agricultor sobre prácticas de recuperación post-evento: mientras más conocimiento tenga el agricultor de prácticas de cómo recuperar su sistema después de un evento, menor será el tiempo que el SAF recupere su capacidad productiva.

Para probar la metodología el grupo de 27 agricultores participantes en el taller se dividió en 4 subgrupos y cada uno condujo un análisis de resiliencia de dos sistemas de cacao, uno diversificado multiestrata y otro simplificado de cacao con sombra de banano, aplicando 10 indicadores de los 14 propuestos (Tabla 2). Usando un sistema de semáforos los agricultores clasificaron cada indicador como rojo (alto riesgo, valores 1-2), amarillo (riesgo medio, valores 3-4) o verde (riesgo bajo, valor de 5) de acuerdo a la situación particular observada. Por ejemplo a una pendiente que recibe una valoración

**Tabla 2.** Indicadores tipo semáforo para estimar la resiliencia en dos sistemas agroforestales de cacao (A=diversificado, multiestrato: B=cacao con banano)

Indicador	ROJO Alto riesgo (1-2) Sistema agroforestal		AMARILLO Riesgo medio (3-4) Sistema agroforestal		VERDE Bajo riesgo (5) Sistema agroforestal	
	A	B	A	B	A	B
	Pendiente	X 2	X 2			
Exposición	X 2					
Diversidad paisajista		X 2		X 4	X 5	
Proximidad a bosques		X 2			X 5	
Cortinas rompe vientos		X 2				
Practicas de conservación de suelos		X 2	X 4			
Diversidad de plantas		X 2	X 4		X 5	
Cobertura de suelos				X 3	X 5	
Profundidad de raíces				X 3	X 5	
Infiltración				X 3	X 5	

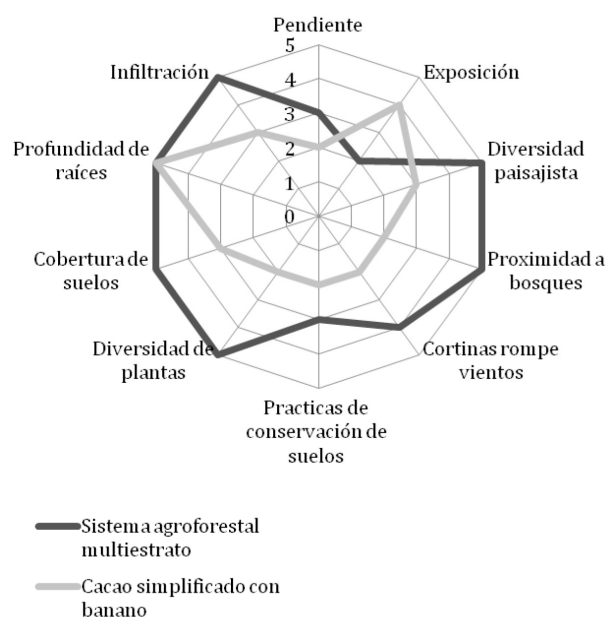
**Tabla 3.** Descripción del estado del indicador en un sistema de semáforo y la acción recomendada.

Color	Situación	Acción
VERDE	Baja vulnerabilidad o alta resiliencia	Mantener el nivel de conservación (vigilancia)
AMARILLO	Vulnerabilidad Media	Completar el diseño agroecológico (Precaución)
ROJO	Alta vulnerabilidad	Implementar practicas agroecológicas básicas (Riesgo)

roja, es porque es muy inclinada (> 30%) se la da un valor 1, a una de 25-30% se la un valor de 2 y una de 20-25% se le da un valor de 3. Para lograr consenso el grupo discute cada indicador y establece los criterios para dar la valoración de acuerdo a los rangos establecidos para cada color.

En la Tabla 2, se observa al lado de cada X colocado sobre el casillero del color de cada indicador un numero que representa la valoración del indicador. Este valor se asigno después que el grupo discutiera cada indicador siempre en referencia a las observaciones hechas en el campo. Como se ve claramente el cacao simplificado es más vulnerable al exhibir 6 indicadores en rojo y 4 indicadores en amarillo, mientras que el cacao diversificado se muestra mas resiliente exhibiendo solo 2 indicadores en rojo, 2 en amarillo y 6 en verde. Los puntos más vulnerables del cacaotal simplificado son alta pendiente, una matriz paisajística pobre, baja diversidad de plantas, ausencia de prácticas de conservación de suelos y ausencia de cortinas rompe vientos. Mientras que los puntos débiles del cacao diversificado son la alta pendiente y el nivel de exposición características que el agricultor no puede modificar. Pero si contrarrestar con prácticas de conservación de suelo y cobertura de suelo, indicadores valorados con color verde. Estos valores se representan en una araña en la que se puede apreciar las diferencias claras entre los dos sistemas y los puntos débiles (rojo y amarillo) de cada sistema (Figura 4). Lo más relevante del sistema de semáforo es que permite reconocer en que estado (color) se encuentra cada

indicador y que acciones tomar para transitar del color rojo al amarillo y del amarillo al verde (Tabla 3). Es así que el grupo de agricultores recomendó las siguientes medidas para incrementar la resiliencia del sistema agroforestal de cacao simplificado para incrementar su resiliencia contra posibles eventos climáticos extremos como tormentas o huracanes:



**Figura 4.** Indicadores de resiliencia en dos sistemas agroforestales de cacao en Nicaragua.

- Incrementar la diversidad de árboles de sombra y el número de estratos verticales
- Incrementar la cobertura del suelo
- Mejorar estructura del suelo con adiciones de materia orgánica para mayor infiltración
- Introducir prácticas de conservación de suelo como barreras muertas con troncos o barreras de piedras en áreas susceptibles.
- Establecer cercas vivas y/o cortinas rompe vientos en los lados de donde vienen los vientos dominantes.

## Conclusiones

Todos los estudios presentados aquí sugieren que las comunidades de plantas más diversas resisten mejor los disturbios y son más resilientes al enfrentar perturbaciones ambientales derivadas de eventos climáticos extremos (Vandermeer 2002). Sin lugar a dudas, la diversificación de cultivos representa una estrategia a largo plazo para los agricultores que están experimentando un clima errático. El uso de la diversificación al interior de los sistemas agrícolas puede reducir en gran medida la vulnerabilidad de los sistemas de producción al mismo tiempo que protege a los agricultores rurales y a la producción agrícola. Los agricultores que utilizan la diversidad como estrategia para el manejo de cultivos, por lo general añaden copiosas cantidades de materia orgánica a sus suelos, incrementando aún más su capacidad para retener agua. El manejo de los cultivos de cobertura y los abonos verdes mejoran la cobertura del suelo protegiéndolo de la erosión, pero lo más importante, adicionan biomasa, la que a su vez contribuye a un mayor nivel de materia orgánica en el suelo.

Las estrategias agroecológicas que aumentan la resiliencia ecológica de los sistemas agrícolas son esenciales pero no suficientes para alcanzar la sostenibilidad. La resiliencia social, definida como la capacidad de grupos o comunidades a adaptarse frente a elementos extremos causa de estrés, sean sociales, políticos o ambientales, debe ir de la mano con la resiliencia ecológica. Para ser resilientes, las sociedades rurales generalmente deben demostrar la capacidad de amortiguar las perturbaciones con métodos agroecológicos adoptados y diseminados a través de la autoorganización y la acción colectiva (Tompkins y Adger 2004). Reducir la vulnerabilidad social a través de la extensión y consolidación de redes sociales, a nivel tanto local como regional, puede contribuir a aumentar la resiliencia en los agroecosistemas. La vulnerabilidad de las comunidades agrícolas depende de que tan bien este desarrollado el capital natural y social que hace que los agricultores y sus sistemas más o menos vulnerables a los shocks climáticos. La capacidad de adaptación se refiere al conjunto de precondiciones sociales y agroecológicas que permiten a los individuos o grupos y sus fincas responder al cambio

climático de manera resiliente. La capacidad de responder a cambios en las condiciones ambientales existe en las comunidades en diferentes grados, pero esas respuestas no siempre son sostenibles. El desafío es identificar aquellas que sirven para intensificarlas, de manera que la vulnerabilidad pueda ser reducida, aumentando la capacidad de reacción de las comunidades para desplegar mecanismos agroecológicos que permitan a los agricultores resistir y recuperarse de los eventos climáticos. Las estrategias de organización social (redes de solidaridad, intercambio de alimentos, etc.) utilizadas por los agricultores para manejar circunstancias difíciles impuestas por tales eventos son un componente clave de resiliencia.

## Referencias

- Adger WM. 2000. Social and ecological resilience: are they related? *Prog Hum Geogr* September 24: 347-364.
- Almeida E, Petersen P, Pereira FJ. 2009. Lidando com extremos climáticos; análise comparativa entre lavouras convencionais e em transição agroecológica no Planalto Norte de Santa Catarina. *Agriculturas: experiências em agroecologia*. Rio de Janeiro AS-PTA 6(1): 28-32.
- 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, Koohafkan P. 2008. Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities. *Environment and Development Series 6*. Malaysia: Third World Network.
- Altieri MA, Lana MA, Bittencourt HV, Kieling AS, Comin JJ, Lovato PE. 2011. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Sustainable Agriculture* 35:855-869.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2004. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. New York: Haworth Press.
- Buckles D, Triomphe B, Sain G. 1998. Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with *Mucuna*. International Development Research Center, Ottawa, Canada.
- Bunch R. 1990. Low-input soil restoration in Honduras: the Cantarranas farmer-to-farmer extension project. *Sustainable Agriculture Gatekeeper Series SA23*, London, IIED.
- De Schutter O. 2010. Report submitted by the Special Rapporteur on the right to food. UN General Assembly. Human Rights Council Sixteenth Session, Agenda item 3 A/HRC/16/49.
- Diaz-Zorita M, Buschiazzi DE, Peineman N. 1999. Soil Organic Matter and Wheat Productivity in the



- Semiarid Argentine Pampas. *Agronomy Journal* 91: 276-279.
- Easterling WE, Aggarwal PK, Batima P, Brander KM, Erda L, Howden SM, Kirilenko A, Morton J, Soussana JF, Schmidhuber J, Tubiello FN. 2007. Food, fibre and forest products. En *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Parry ML *et al*, eds). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 273-313 pp.
- Flores M. 1989. Velvetbeans: an alternative to improve small farmers' agricultura. *ILEIA Newsletter* 5: 8-9.
- Francis CA. 1986. *Multiple Cropping Systems*. New York: MacMillan.
- Garg N, Chandel S. 2010. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 581-599.
- Heinemann JA, Massano M, Coray DC, Agapito-Tenfen ZS, Wen J. 2013. Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest. *International Journal of Agricultural Sustainability* DOI:10.1080/14735903.2013.806408.
- Holt-Gimenez, E. 1996. The campesino a campesino movement: farmer-led, sustainable agriculture in Central America and Mexico, in: *Food First Development Report No. 10*, Oakland, Institute of Food and Development Policy.
- Holt-Giménez E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93: 87-105.
- Jones PG, Thornton PK. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13: 51-59.
- Lin BB. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience* 61: 183-193.
- Lin BB. 2007. Agroforestry management as adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 85-94.
- Magdoff F, Weil R. 2004. Soil organic matter management strategies. En *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* (Magdoff F, Weil R, eds). Boca Raton, FL: CRC Press, 44-65 pp.
- Martin JF, Roy ER, Stewart AW, Ferguson B. 2010. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. *Ecological Engineering* 36: 839-849.
- Morais H, Caramori PH, Ribeiro AMDA, Gomes JC, Kogushi MS. 2006. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 763-770.
- Murgueitio E, Calle Z., Uribea, F. Calle, A, Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261: 1654-1663.
- Natarajan M, Willey RW. 1986. The effects of water stress on yields advantages of intercropping systems. *Field Crops Research* 13: 117-131.
- NRC (National Research Council, Committee on Genetic Vulnerability of Major Crops). 1972. *Genetic vulnerability of major crops*. Washington, DC: National Academies of Science.
- Philpott SM, Lin BB, Jha S, Brines SJ. 2009. A multiscale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128(1-2): 12-20.
- Rodale Institute. 2012. *The farming systems trial: celebrating 30 years*. Pennsylvania: Rodale Press.
- Rosenzweig C, Hillel D. 2008. *Climate change and the global harvest: impacts of El Niño and other oscillations on agroecosystems*. New York: Oxford University Press.
- Rosset PM, Machín-Sosa B, Roque-Jaime AM, Avila-Lozano DR. 2011. The Campesino-to-Campesino Agroecology movement of ANAP in Cuba. *Journal of Peasant Studies* 38(1): 161-91.
- Smith P, Olesen JE. 2010. Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *Journal of Agricultural Science* 148: 543-552.
- Tompkins EL, Adger WN. 2004. Does Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change? *Ecology and Society* 9(2): 10. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art10>.
- Vandermeer J, van Noordwijk M, Anderson J, Ong C, Perfecto I. 1998. *Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 67: 1-22.
- Vandermeer J. 2002. *Tropical agroecosystems*. CRC press, Boca Raton.
- Walker B, Carpenter S, Anderies J, Abel N, Cumming G, Janssen M, Lebel L, Norberg J, Peterson GD, Pritchard R. 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6(1): 14. <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>.