

Capítulo 2

Integrando la adaptabilidad al cambio climático a través de la biodiversidad

Fabrice DeClerck, Marcos Decker

Resumen

Los efectos del cambio climático en Mesoamérica comenzarán a repercutir en muchos aspectos de la vida. La biodiversidad sufrirá las consecuencias del cambio y jugará un papel importante en respuesta al cambio climático: 1) adaptación, 2) migración y 3) extinción. En vista de la rapidez con la que se está llevando a cabo el cambio, la mayoría de los organismos migrarán o se extinguirán. Evidencia pasada sugiere que los procesos de migración son a nivel poblacional y no así a nivel de comunidades, ocasionando cambios importantes en los ecosistemas. En ese sentido, la biodiversidad contribuye en gran medida al funcionamiento de los ecosistemas. Al alterar las comunidades biológicas se afecta la capacidad de estos para proveer servicios ecosistémicos. Por lo tanto, es importante considerar seriamente mecanismos de adaptación de la biodiversidad al cambio climático y los efectos que tendrá en las especies de carácter agrícola. Una de las formas más simples de adaptación está fuertemente relacionada con las metas de conservación: proteger la biodiversidad y asegurar el intercambio de especies a través de una matriz agrícola. Por otro lado, la forma más compleja de adaptación es la selección de un conjunto de especies capaces de enfrentar las consecuencias del cambio climático y que además tengan la capacidad de proveer servicios ecosistémicos. Por lo cual, se debe involucrar un alto nivel de conocimiento sobre el rol de las especies en los agroecosistemas y sobre la forma como éstas comunidades responden a los efectos del cambio climático.

Palabras claves: especies, vegetación, servicios ecosistémicos, ambientes naturales, perturbación

Abstract

Climate change has begun to affect many aspects of life in Mesoamerica. Biodiversity will suffer the consequences and will play an important role in responses to climate change: 1) adaptation, 2) migration, or 3) extinction. In light of the rapid rate of this change, most organisms will either migrate or become extinct. Past evidence of migration in response to global change indicates that migration is a population-level rather than community-level phenomenon, causing dramatic ecosystem changes. In terms of increasing the response function of biodiversity to climate change, regional efforts must be made to ensure connectivity. Biodiversity also contributes to the functioning of ecosystems. Altering biological communities alters their capacity to provide critical ecosystem services. Adaptation to climate change must urgently take into consideration the ecological dimensions of climate change and the effects that this change may have on those species that are critical in agricultural systems. One of the simplest forms of adaptation is strongly tied to conservation goals: protect biodiversity and ensure species movement within an agricultural matrix. More complex forms of adaptation involving biodiversity include selecting and forming species assemblages capable of providing services in the face of climate change. This latter option, however, is risky and requires both intimate knowledge of species roles in agroecosystems and the ability to forecast regional effects of climate change.

Key words: species, vegetation, ecosystems services, natural environments, disturbance



Foto: Fabrice DeClerck

Polinizadores de la flor de café (*Coffea arabica* L.)

2.1 Introducción

Cada día se hace más evidente las implicaciones del cambio climático en América Latina y el Caribe. Durante las últimas décadas la percepción del cambio climático se ha venido reforzando a partir de nuevas y crecientes evidencias. El último reporte del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma que el calentamiento global es inminente dado el incremento del promedio de la temperatura media atmosférica, y de los océanos, el derretimiento de los témpanos de hielo (glaciares) y el incremento del nivel del mar (IPCC 2007a).

En América Latina y el Caribe se han observado cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura (Magrin et al. 2007). Bajo este contexto, el alto nivel de vulnerabilidad de la mayoría de los países de la región frente a eventos climáticos extremos puede comprometer su proceso de desarrollo (IPCC 2007b).

Este cambio climático está afectando en gran medida a la conservación de la biodiversidad, principalmente debido a la rapidez con la que se está dando. La flora y la fauna están presentando problemas de adaptación, lo que da como resultado cambios en la distribución de las especies, incremento de la tasa de extinción, cambios en los tiempos de reproducción, cambios en los patrones de migración de aves y cambios en los patrones de crecimiento de las plantas, entre otros (Reid y Huq 2005).

En ese sentido los escenarios más optimistas pronostican un incremento de la temperatura entre 0,5°C y 1°C para el año 2050 y entre 1°C y 2°C para el 2080. Sin embargo predicen que la precipitación sufrirá una disminución de hasta un 20% (IPCC 2007a), particularmente en la vertiente del Pacífico de Centroamérica. Por el contrario, en la vertiente caribeña podría observarse un aumento de la precipitación, especialmente tormentas tropicales fuertes y huracanes de alta intensidad.

Según Dudley (1998) los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad se pueden caracterizar en función a una serie de criterios como la capacidad de adaptación al cambio, la migración o desplazamiento de especies dentro de un rango de tolerancia y la desaparición o extinción de las especies. Sin embargo, es importante constatar que el cambio climático no necesariamente representa un aumento de temperatura, sino que representa un cambio en patrones de perturbación (de mayor frecuencia y mayor intensidad) que inciden directamente sobre los patrones de la vegetación (distribución y composición) y por ende sobre las comunidades biológicas asociadas. Dichos patrones de vegetación están directamente asociados a eventos climáticos extremos como tormentas tropicales, huracanes de gran intensidad o fenómenos como El Niño y La Niña más frecuentes, intensos y prolongados. En ese sentido, Condit (1998) predice que para Centroamérica y el Caribe el incremento en intensidad y frecuencia de huracanes y tormentas tropicales modificarán significativamente la estructura y composición de la vegetación y por lo tanto impactarán en el funcionamiento de los ecosistemas. Estos cambios tienen implicaciones importantes para la conservación de la biodiversidad.

Por lo general, cuanto más rápidos son los cambios en el clima, mayor es el impacto en los ecosistemas. El ambiente natural se ha vuelto especialmente vulnerable a los impactos del cambio climático. En efecto, las actividades que degradan el medio ambiente, como la deforestación y el pastoreo excesivo,

contribuyen en gran medida a intensificar los efectos del cambio climático. Sin embargo, al referirnos a la biodiversidad, incluimos también a la variedad de especies que conforman la base para la alimentación de la humanidad y a los sistemas agrícolas o pecuarios de producción a gran escala.

La relación entre cambio climático y agricultura es compleja. Por un lado, las manifestaciones del cambio climático—especialmente en temperatura, precipitación, nivel del agua e incremento de eventos extremos—desatan acciones de adaptación por parte de los productores agropecuarios. Por otro lado, las actividades agropecuarias pueden desempeñar un papel importante en la mitigación del efecto invernadero causante del cambio climático.

A escala global, el cambio climático puede tener un efecto poco significativo en la producción total de alimento. Sin embargo los impactos a escala regional tienden a ser más sustanciales y variables, beneficiando a algunas regiones y perjudicando a otras (Reid y Huq 2005). La alteración de los patrones climáticos afecta la producción y productividad agrícola de diferentes maneras, en función a los tipos de prácticas agrícolas, sistemas y períodos de producción, tipo de cultivo, variedades y ubicación, entre otros. Se estima que los principales efectos derivados de las variaciones en temperaturas y precipitación estarían principalmente ligados a las alteraciones fisiológicas por exposiciones a temperatura por fuera del umbral permitido, deficiencias hídricas y respuestas a variadas concentraciones de CO₂ (Watson 1997, Thomas et al. 2004, Reid y Huq 2005).

Hasta ahora, las investigaciones sobre las zonas agroecológicas se realizan sobre el supuesto que se trata de zonas que no cambian en el tiempo. No obstante, debido a que estas zonas son por definición una función del clima, pueden variar a medida que cambie el mismo. En ese sentido estos cambios tendrían implicaciones sobre la productividad agrícola de manera mucho más compleja si incluimos los factores climáticos, económicos y sociales que incidirán directamente en la conservación de la biodiversidad.

Con todo lo mencionado anteriormente el presente trabajo pretende responder a varias preguntas. 1) ¿Cuáles son las respuestas de la biodiversidad ante el cambio climático? Lo anterior con la intención de comprender los procesos del cambio pasado y corrientes y establecer fundamentos para entender los posibles cambios futuros. Por otro lado, la biodiversidad no es la única

afectada por los cambios en el clima, sino que también se ven afectados todos los procesos ecosistémicos que se llevan a cabo en ambientes tanto naturales como agropecuarios. Finalmente, complementar los procesos de perturbación con conceptos de gran importancia en la ecología para el incremento de la biodiversidad en función a la resistencia y resiliencia de los ecosistemas. 2) ¿Cómo podemos manejar la biodiversidad e integrar a las funciones de adaptabilidad al cambio climático?

2.2 ¿Qué hemos aprendido de los cambios climáticos del pasado?

El cambio climático no es un fenómeno nuevo cuando se toma en cuenta desde una perspectiva a escala geológica. Lo distinto esta vez es que las actividades de los seres humanos actúan como una de las causas principales del cambio climático y son estos al mismo tiempo los más afectados por dichos cambios. Esta perspectiva histórica nos permite entender cómo responderán los sistemas naturales a las variaciones climáticas.

La biodiversidad está compuesta por la variedad de vida que habita en la tierra, desde los genes que conforman a los organismos hasta todos aquellos individuos capaces de moverse a través del paisaje. A su vez estos individuos de la misma especie constituyen poblaciones en un área determinada y estas poblaciones conforman comunidades ecológicas que interactúan entre sí formando ecosistemas. Comprender estos niveles jerárquicos de organización ecológica nos ayudarán en gran medida a comprender las respuestas de la biodiversidad al cambio climático y más aun a entender el rol que desempeña la biodiversidad en la adaptabilidad de los sistemas naturales, manejados o agrícolas.

2.3 Respuestas de la biodiversidad al cambio climático

Las lecciones aprendidas con el estudio de cambios históricos globales nos enseñaron que las poblaciones de especies pueden presentar tres respuestas a los cambios (Dudley 1998, Turner et al. 2001):

1. Adaptación a las nuevas condiciones
2. Migración a nuevas localidades
3. Extinción de especies

2.3.1 Adaptación

Los procesos de adaptación posiblemente solo son factibles para especies de ciclos cortos de vida donde el proceso sigue a la misma velocidad que la tasa de cambio o más rápido. Lo preocupante es que la tasa de cambio está tan elevada que muchas especies, particularmente las especies de ciclos largos de vida, no son capaces de adaptarse a la misma velocidad. Este problema es particularmente grave para especies con poca movilidad.

El segundo factor de importancia cuando hablamos de la adaptación al cambio climático a nivel de poblaciones, es que especies con altas tasas de reproducción tienen mayor capacidad de adaptabilidad a procesos de selección natural, incluyendo la diversidad genética de las poblaciones. En ese sentido las poblaciones con alta tasa de reproducción, pero con poca variabilidad genética tienen una mayor probabilidad de extinción que poblaciones con una alta variabilidad genética. Esta situación favorece a las principales plantas y animales que conforman la base de la agricultura a nivel mundial, debido a su alta tasa de movilidad. Es indudable que a causa del cambio climático las zonas agrícolas sufrirán cambios considerables y que los productores van a tener que buscar especies o variedades capaces de adaptarse al cambio. Sin embargo existe un alto riesgo que estas mismas especies, por una excesiva manipulación, hayan sufrido una reducción de la variabilidad genética o pérdida de genes o caracteres que presentaban una ventaja potencial como es el caso de aquellos genes que confieren resistencia a patógenos o plagas (Hajjar et al. 2008).

2.3.2 Migración

Las evidencias de migraciones previas a la era de hielo nos demuestran que los movimientos ocasionados por el cambio climático dieron como resultado la segregación de las comunidades ecológicas. Dicho en otras palabras, los ecosistemas no migran, pero las poblaciones sí, dando como resultado la formación de nuevas comunidades biológicas, de nuevas interacciones entre especies, nuevas composiciones biológicas y nuevas abundancias de especies, entre otros. El punto clave es que las especies migran individualmente, y no en comunidades. La capacidad y velocidad de movimiento de las especies están determinadas por su capacidad de dispersión y de las interacciones con los nuevos miembros de su comunidad. Los avances de la ciencia han logrado modelar los cambios de distribución de las especies en función a los cambios en temperatura y precipitación. Sin embargo, se carece de información capaz de predecir los cambios en la distribución de las comunidades y mucho menos

su composición, debido a la falta de información de las interacciones entre especies y su respuesta a las perturbaciones naturales (Turner et al. 2001).

Puede que la migración sea la opción más factible para la mayoría de las especies terrestres de alta movilidad. Sin embargo, existen ciertas limitaciones de consideración: primero, la alta tasa de fragmentación mundial de los ambientes naturales y seminaturales a nivel local y regional que, en la mayoría de los casos, han interferido el desplazamiento de las especies.

El proceso de fragmentación es evidente en Mesoamérica debido específicamente a sus características geográficas. Mesoamérica representa un puente intercontinental que actúa como el cuello de botella entre los continentes de Norteamérica y Suramérica. El ancho del continente al nivel del Canal de Panamá tiene solamente 80 km entre el Pacífico y el Atlántico, comparado a los 4.000 km entre océanos en Norte América. Debido a esta estrecha topografía, el desplazamiento de las especies de norte a sur y viceversa se ve especialmente limitada y la probabilidad de establecer nuevas interacciones es igualmente baja.

Cuando existe una interdependencia importante entre especies, la tasa de dispersión de ambas especies debe ser elevada. Lo importante es que la migración en respuesta al cambio climático ocurre a nivel de poblaciones y no a nivel de comunidades (Bartlein et al. 1997, Davis 1983). Es decir, el cambio climático es una fuerza de desensamblaje de comunidades ecológicas. Cada especie se desplaza en función de sus capacidades y tolerancias. En ruta, estas poblaciones encuentran poblaciones de otras especies, donde las interacciones interespecíficas e intraespecíficas pueden cambiar de manera importante, particularmente nuevas interacciones competitivas que en adición a limitaciones de dispersión, tolerancias individuales y corredores de movimiento disponible pueden ser una limitación adicional a la sobrevivencias de cada especie.

A pesar que los seres humanos son una de las causas principales del proceso de cambio climático que actualmente nos aqueja, los cambios en el pasado se dieron de manera natural y contribuyeron de manera importante en los arreglos y la composición de los ecosistemas. La hipótesis de refugio (Petit et al. 2003) sugiere que a través de los cambios del pasado asociados a eventos de enfriamiento global, las comunidades ecológicas se disgregaron y otras se aislaron. Al mismo tiempo, especies de zona templadas migraron hasta el sur,

formando una concentración de especies en los trópicos. Durante este proceso se formaron nuevas especies y con el calentamiento global, nuevas comunidades, aumentando la riqueza de especies a nivel regional y mundial (Davis 1983, Turner et al. 2001).

2.3.3 Extinción

La tercera opción para varias especies es la extinción. Lamentablemente esta opción cada día parece más probable y evidente con la alta tasa de cambio global en combinación con el estado de fragmentación en Centroamérica. Especies particularmente en riesgo de extinción son especies poco móviles, altamente dependientes de otras especies (o dependientes de bosques) y con largos ciclos de vida (Brook et al. 2008, Davies et al. 2008, Wake and Vredenburg 2008).

Además de las preocupaciones con la existencia de rutas de migración, muchas de las perturbaciones asociadas a las variaciones en el clima traerán consecuencias drásticas en las comunidades animales y vegetales, dando como resultado la desaparición de muchas especies.

Un estudio determinó que la causa principal de la desaparición de anfibios en Monteverde (Costa Rica) estaba directamente asociada con las variaciones del clima (Pounds et al. 1999). La extinción de las poblaciones de anfibios puede estar relacionada con la limitada área de hábitat de los anfibios, enfermedades como chytridiomycosis y la contaminación del aire. Otros factores que probablemente contribuyeron a la extinción de las poblaciones de anfibios en la región fue el incremento en la radiación UV-B, hongos o parásitos y bajos niveles de pH en el agua.

2.4 Biodiversidad y adaptabilidad

En la sección anterior se describió la percepción común donde la biodiversidad simplemente se refiere al número de especies en un ecosistema y que éstas especies principalmente son el recipiente de variaciones ambientales, incluyendo el cambio climático. Pero también existe un paradigma alternativo donde los organismos pueden jugar un papel importante en la provisión de servicios y procesos ecosistémicos. Un ejemplo de esta interacción relacionada al cambio climático, es el aumento de la concentración atmosférica de CO₂ durante los últimos 50 años (figura 2.1). En la figura 2.1 se aprecian dos

patrones. Primero el aumento en CO₂ que está atribuido a causas humanas y el mecanismo primario se observa el cambio climático que nos ha llamado tanto la atención. Segundo, se observa que la tasa de CO₂ aumenta y baja de 5 ppm cada año. Este patrón anual es en función de las estaciones templadas donde en cada primavera nortea el crecimiento de la vegetación absorbe el CO₂, reduciendo la densidad de CO₂ atmosférico y cada otoño este CO₂ regresa a la atmósfera con la descomposición de materia orgánica en las zonas templadas. Este ejemplo permite evidenciar que la vegetación tiene un impacto activo influenciando la cantidad de carbono atmosférico en función de las estaciones. De la misma forma, la deforestación que representa la conversión de bosques a sistemas agrícolas simplificados, contribuye un 20% de CO₂ anualmente (FAO 2007).

Por otro lado, el impacto de la biodiversidad sobre fenómenos y procesos ambientales no está exclusivamente limitado a escalas globales, sino que también tiene impactos importantes a escala de fincas y paisajes.

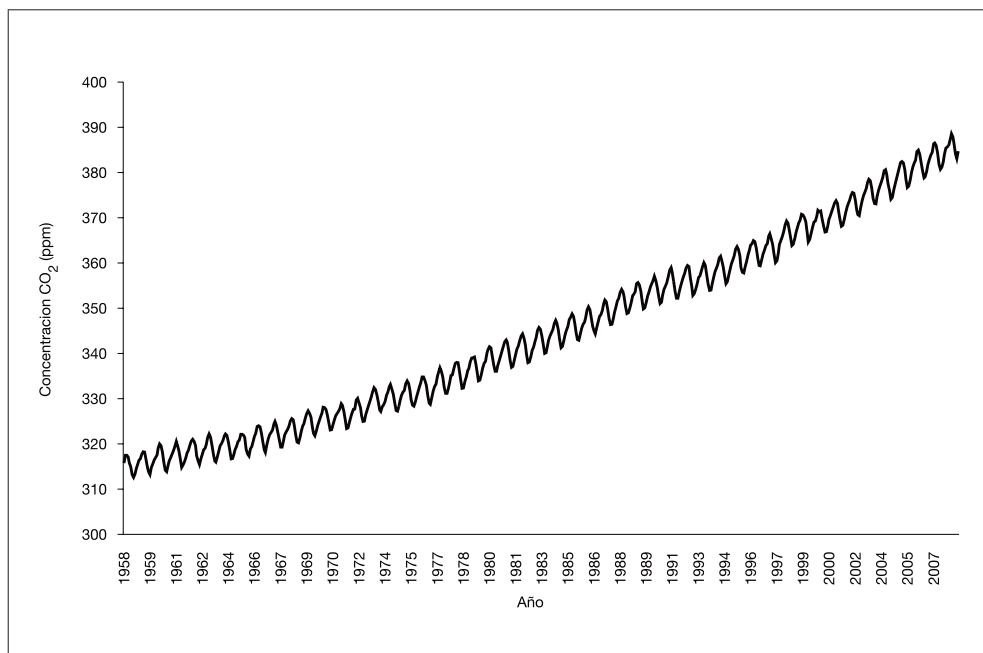


Figura 2.1. La concentración de CO₂ atmosférica desde 1958 hasta 2007, donde se aprecia un incremento considerable y una oscilación debido a los cambios estacionales. Fuente: Datos de Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)

La adaptación al cambio climático es el ajuste en sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos o a sus efectos que moderan el daño causado. Existen dos formas de adaptación: 1) la adaptación autónoma, por ejemplo un productor que responde a los cambios en los patrones de precipitación por medio de cambios en las especies de producción, fecha de siembra y cosecha; 2) la adaptación planificada que consiste en decisiones tomadas para aumentar la adaptabilidad del sistema agrícola, por ejemplo la selección de especies tolerantes a sequías, heladas, enfermedades o plagas generando una ventaja en caso de la aparición de alguno de estos cambios (FAO 2007).

Además de soluciones agrícolas, la ecología nos ofrece varios modelos que pueden servir para la adaptación de agroecosistemas al cambio climático. Por ejemplo, la ecología predice que las comunidades diversas tienen mayor resistencia y resiliencia al cambio climático. En esta sección se incorpora varios ejemplos de los mecanismos a través de los cuales poblaciones de organismos interactúan para aumentar la adaptabilidad de la comunidad biológica al cambio climático. Primero, se discute la importancia de conservar reservas de diversidad genética, las especies de mayor utilidad para las poblaciones humanas. Segundo, se presenta el estudio de caso de las pasturas experimentales de Minnesota donde se evidenció que la riqueza de especies de pastizales aumenta la resistencia a la sequía (Tilman 1997, Tilman et al. 1997, Hector et al. 1999, Tilman et al. 2001, Hector et al. 2002, Tilman et al. 2002). Tercero, el caso en Sierra Nevada de California donde se demuestra que la resiliencia a la sequía y la productividad de bosques coníferos aumenta con la riqueza de especies coníferas (DeClerck et al. 2006). Finalmente, se termina con un estudio de Ricketts et al. (2004) en cafetales de Costa Rica que da un ejemplo clave de la importancia de mantener comunidades naturales de abejas para mantener o aumentar la resistencia del sistema al cambio climático.

2.4.1 Caso 1: Recursos genéticos para la adaptación

Desde el comienzo de la agricultura hace unos 12.000 años, se han cultivado cerca de 7.000 especies de plantas para alimento (CDB 2005). No obstante, hoy día solo unas 15 especies de plantas y ocho especies de animales proveen el 90% de nuestra alimentación (CDB 2005). Numerosas características incorporadas en estas variedades modernas de cultivos provienen de variedades silvestres con mejor productividad, resistencia a plagas, enfermedades y condiciones de crecimiento cada vez más difíciles. Las variedades silvestres de los cultivos agrícolas se consideran pólizas de seguro para el futuro, pues pueden

utilizarse para generar nuevas variedades o clones capaces de hacer frente a las condiciones cambiantes, recordando que el cambio climático en Mesoamérica va a aumentar la interacción entre organismos e inclusive la posibilidad de la llegada de nuevas plagas y patógenos para las cuales los cultivos actuales no estén adaptados. Una adaptación planificada contribuiría a mantener reservas genéticas *in situ* y *ex situ* de las especies de importancia agrícola como fuente de germoplasma resistente a estos nuevos patógenos y plagas.

2.4.2 Caso 2: Pasturas de Minnesota

Centroamérica está dominada por pasturas, la mayoría se encuentran en estado degradado, donde su capacidad de proveer servicios ecosistémicos, incluyendo la productividad, la resistencia y resiliencia al cambio climático han desaparecido. Muchos estudios de zonas templadas han demostrado una interacción fuerte entre la riqueza de especies en un pastizal y la productividad primaria de la pastura (Tilman 1997, Tilman et al. 1997, Hector et al. 1999, Tilman et al. 2001, Hector et al. 2002, Tilman et al. 2002). Este efecto es particularmente fuerte cuando al menos una especie de leguminosa está incluida en la comunidad vegetal. Existe evidencia que la riqueza de especies de plantas en un pastizal tiene un impacto mayor en estabilizar la productividad primaria a través del tiempo. Uno de los mejores ejemplos de esta relación viene de los pastizales de Minnesota, donde un estudio a largo plazo de productividad primaria incluye varios eventos de sequía fuertes igual a los predichos para la vertiente del Pacífico de Mesoamérica.

El efecto de portafolio (Tilman 1999, Lehman and Tilman 2000, Schwartz et al. 2000, Hector et al. 2001) es una teoría ecológica basada en los mercados donde la diversificación reduce el riesgo de un colapso total del sistema. La idea básica es que muy probablemente una especie tendrá una reducción en abundancia o productividad a través del año o con el cambio climático, pero sería poco probable que todas las especies fueran afectadas de la misma manera. En el ejemplo de las pasturas de Minnesota, la riqueza de especies varía entre una y 16 especies. Los resultados de varios años de estudio de estas parcelas demuestran que la estabilidad de las parcelas con alta riqueza de especies estuvo 70% más estable en su productividad primaria que las parcelas con pocas especies. Este estudio también demostró que la reducción de productividad de una especie fue remplazada por el aumento en producción de una segunda especie y que el mecanismo fue realmente este efecto de portafolio (Tilman et al. 2002). Aumentar la riqueza de especies en sistemas agrícolas,

reduce la probabilidad de una pérdida de productividad con un cambio en el clima y aumenta la resistencia del sistema.

2.4.3 Caso 3: Bosques de coníferas de California

En el ejemplo de pasturas de Minnesota, a mayor riqueza de especies, mayor estabilidad de la comunidad biológica. Las interacciones entre especies determinan la productividad, resistencia y resiliencia del sistema. DeClerck et al. (2006) estudiaron la respuesta de comunidades de coníferas en California a la sequía en una secuencia cronológica de 120 años. Usando los anillos de crecimiento de los árboles, se midió la productividad anual de estas coníferas entre 1880 y 2000, incluyendo seis eventos de sequías importantes. Las comunidades de coníferas estuvieron compuestas entre una y cuatro especies que dominan el subalpino de la Sierra Nevada (*Pinus contorta*, *Pinus monticola*, *Abies magnifica*, y *Tsuga heterophylla*). Ellos observaron que las comunidades con mayor riqueza de especies fueron más productivas (mayor biomasa por año) y presentaron mayor resiliencia a la sequía que comunidades compuestas de una o dos especies (figura 2.2). No se evidenció que la resistencia a la sequía fuese mayor con la riqueza de especies arbóreas.

La explicación de estos resultados tiene una base en la teoría ecológica, la cual evidencia la competencia por los recursos limitados en estos bosques y la capacidad de estas especies de capturar recursos limitados. Cada especie presenta una capacidad única de tolerar bajas condiciones de disponibilidad de agua y luz. En general estos dos rasgos son inversos. Las especies que toleran niveles altos de luz presentan mayor capacidad de resistir la sequía, mientras que las especies que no toleran altas concentraciones de luz son las que no requieren altas cantidades de agua. En este estudio las dos especies de pino toleran la sequía, pero no toleran la sombra. En contraste, el *Abies* y *Tusga* toleran condiciones de sombra, pero no toleran la sequía y por lo general se encuentran en el sotobosque y no en áreas abiertas donde existe menos probabilidad de desecación.

¿Qué pasó durante el período de sequía? El agua se convierte en el recurso limitante y solamente las especies capaces de tolerar niveles bajos de agua pudieron seguir creciendo. En este caso no se encontró una relación entre la resistencia y la riqueza de coníferas, es decir, las comunidades de cuatro especies de pino presentaron una reducción en la producción al igual que las comunidades con una o dos especies. A diferencia de lo observado entre la

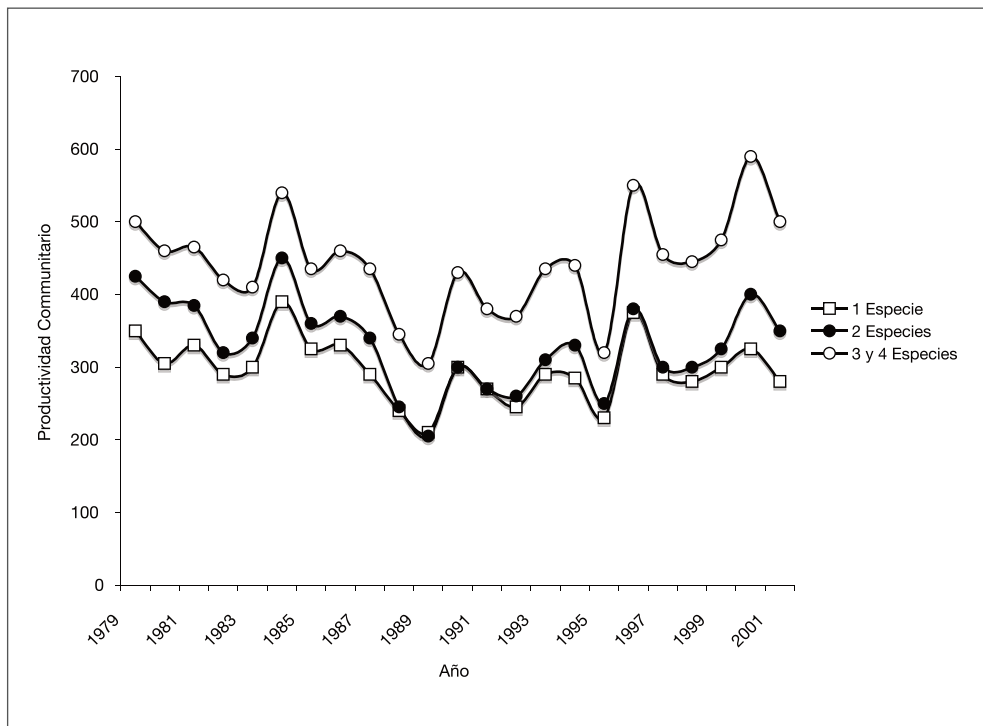


Figura 2.2. La productividad y resiliencia de bosques coníferos de la Sierra Nevada aumentaron con la riqueza de especies largamente en función de la interacción entre especies y una complementariedad entre sus necesidades para recursos.
Fuente: DeClerck (2006)

resiliencia de las especies con el aumento de la riqueza de especies. La gran diferencia radica en que cuando la sequía termina, deja de ser el factor limitante para la producción. Las comunidades de cuatro especies fueron capaces de competir por el recurso con mayor separación entre los nichos de cada especie. En este caso, tener más especies en la comunidad suministró un refugio para las especies poco tolerantes de la sequía y tener especies con distintas tolerancias y requisitos aumentó la rapidez con la cual estas comunidades regresan a una producción alta una vez que la sequía termina. Entre estas especies aumentó la tasa. Este concepto podría ser aplicado en plantaciones forestales de Mesoamérica o en pasturas con la interacción entre árboles en pasturas y gramíneas para aumentar la resiliencia de ambos.

2.5 Cafetales de Costa Rica

La polinización por abejas es considerada como uno de los servicios ecosistémicos más importantes para la agricultura. Pero, ¿qué tan seguro es que las abejas sigan siendo capaces de proveer este servicio? Una hipótesis ecológica llamada Hipótesis de Seguro o *Insurance Hypothesis* (Naeem y Li 1997, Yachi y Loreau 1999, Loreau 2000, Naeem 2002, Perfecto et al. 2004) sugiere que aumentando el número de especies capaces de proveer un servicio, sirve como seguro contra el cambio.

En el estudio de Ricketts (2004) se investigó el papel de los remanentes de bosques tropicales como una fuente potencial de polinizadores en plantaciones de café circundantes en Coto Brus, Costa Rica. Durante el año 2001 y 2002 se observó el comportamiento de las abejas y la tasa de deposición de polen en flores de café a lo largo de gradientes de distancia a los fragmentos.

En este estudio, se analizaron 11 especies de abejas, incluyendo a la especie introducida *Apis mellifera*. La riqueza de abejas, la tasa de visitación y la tasa de deposición de polen fueron significativamente mayores en sitios a distancias menores de 100 m de fragmentos de bosque, que en sitios más lejanos (distancia máxima 1,6 km). Sin embargo, a distancias mayores *A. mellifera* fue observada con mayor frecuencia. Cabe destacar que esta especie fue constante a lo largo de todo el gradiente. En 2002, el segundo año del estudio, las abundancias de *A. mellifera* declinaron drásticamente en toda la zona de estudio, con reducciones de más de 50% en las tasas de visitación en sitios distantes (donde *A. mellifera* casi fue el único polinizador). Sin embargo, las especies nativas presentaron resistencia al cambio que afectó a *A. mellifera* y mantuvieron un nivel de polinización alto en los sitios cercanos donde la tasa de polinización disminuyó solamente 9%, ya que las especies nativas compensaron la declinación de *A. mellifera* casi totalmente. En contraste, por la incapacidad de la mayoría de las especies nativas de viajar más de 100 m del borde, se ve casi un colapso total de la polinización.

La dependencia de la producción del café por un solo polinizador reduce la resistencia del sistema a cambios casi totalmente. En contrario, asegurando hábitat por polinizadoras nativas aumenta de manera dramática la resistencia del servicio de polinización. En caso que unas especies se pierdan por el cambio climático (huracán, sequía, etc.), otras especies están dispuestas a cumplir

con el servicio ecológico. La probabilidad que todas las especies nativas sean afectadas por el cambio climático es baja, pero cuando la riqueza de especies es reducida y cuando se depende de una sola especie para la provisión del servicio, se reduce la adaptabilidad del sistema y se arriesga el colapso del servicio. Por tanto en este caso, los fragmentos de bosque proporcionan a los cafetales cercanos una diversidad de abejas que incrementan tanto la cantidad como la estabilidad de los servicios de polinización al reducir la dependencia en un solo polinizador introducido.

2.6 Conclusiones

Con frecuencia, al hablar de conservación de especies y las rutas de conectividad de la biodiversidad, está relacionado con áreas de conservación, parques nacionales y reservas de la biosfera atribuido al trabajo de los conservacionistas. Sin embargo, en los años recientes hay evidencia que la biodiversidad es algo más que aves y mariposas multicolores. La biodiversidad cumple un papel fundamental en la provisión de servicios ecosistémicos. La gran mayoría de los estudios que relacionan la biodiversidad y su función se enfocan en servicios como la productividad, polinización (por ejemplo, Klein et al. 2003 a y b, Ricketts 2004), secuestro de carbono (Bunker et al. 2005) o control de plagas (Thies y Tschardtke 1999, Schmidt et al. 2003, Thies et al. 2003, Perfecto et al. 2004, Schmidt y Tschardtke 2005, Thies et al. 2003, 2005). Todos estos servicios contribuyen en gran medida a la productividad agrícola regional y son dependientes de la biodiversidad planificada y asociada de nuestros agropaisajes. Lo que ha recibido menos atención ha sido la resistencia y la resiliencia de estos servicios—particularmente en función de los cambios climáticos previstos. El trabajo de Ricketts (2004), hace reflexionar sobre la inmensa vulnerabilidad de los sistemas al cambio climático. La estrategia más sencilla para lograr integrar los procesos de adaptabilidad con las metas para la conservación regional incluyen: 1) a escala de finca mantener espacios seminaturales poco intervenidos para la biodiversidad asociada; 2) mantener una diversidad genética de cultivos como reserva de genotipos adaptados a nuevas condiciones, plagas, y enfermedades; 3) al nivel de paisaje mantener rutas de conectividad entre reservas y parches de bosques, permitiendo el movimiento de especies dependientes de bosque; y 4) incorporar mayor diversidad y densidad de árboles en paisajes agrícolas a través de sistemas agroforestales o silvopastoriles y conservar parches de bosques o reservas de áreas naturales dentro de la matriz agrícola.

Todas estas estrategias constituyen una caja de herramientas y aseguran los mecanismos necesarios para enfrentar el cambio que está sucediendo y así de cierta manera poder garantizar la sustentabilidad de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos que la biodiversidad provee. Así la mejor acción que podemos tomar en preparación es la prevención y la mejor prevención es conservando nuestras opciones de adaptación.

2.7 Referencias bibliográficas

- Bartlein, PJ; Whitlock, C; Shafer, SL. 1997. Future Climate in Yellowstone National Park Region and Its Potential Impact on Vegetation. *Conservation Biology* 11:782–792.
- Brook, BW; Sodhi, NS; Bradshaw, CJA. 2008. Synergies Among Extinction Drivers Under Global Change. *Trends in Ecology & Evolution* 23:453–460.
- Bunker, DEF; DeClerck, JC; Bradford, RK; Colwell, I; Perfecto, OL; Phillips, M. Sankaran; Naeem, S. 2005. Species Loss and Aboveground Carbon Storage in a Tropical Forest. *Science* 310:1029–1031.
- CDB. 2005. Opciones para una iniciativa intersectorial sobre diversidad biológica para la alimentación, la nutrición y la salud. Órgano subsidiario de asesoramiento científico, técnico y tecnológico. Décima reunión, Bangkok. 9 p. En línea visitada el 20 de octubre de 2008. <http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-10/official/sbstta-10-13-es.doc>.
- Condit, R. 1998. Ecological Implications of Changes in Drought Patterns: Shifts in Forest Composition in Panama. *Climatic Change* 39:413–427
- Dudley, N. 1998. Forests and Climate Change. A Report for WWF Internacional, Forest Innovations, IUCN, GTZ, WWF.
- Davis, MB. 1983. Quaternary History of Deciduous Forests of Eastern North America and Europe. *Annals Missouri Botanical Garden* 70:550–563
- Davies, TJ; Fritz, SA; Grenyer, R; Orme, CDL; Bielby, J; Bininda-Emonds, ORP; Cardillo, M; Jones, KE; Gittleman, JL; Mace, GM; Purvis, A. 2008. Phylogenetic Trees and the Future of Mammalian Biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:11556–11563.
- DeClerck, FAJ; Barbour, MG; Sawyer, JO. 2006. Species Richness and Stand Stability in Conifer Forests of the Sierra Nevada. *Ecology* 87:2787–2799.

- Dudley, N. 1998. Forests and Climate change. A Report for WWF Internacional, Forest Innovations IUCN, GTZ, WWF.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2007. Adaptation to Climate Change in Agriculture, Forestry and Fisheries: Perspectives, Framework and Priorities. Interdepartmental Working Group on Climate Change. FAO, Rome.
- Hajjar, RD; Jarvis, I; Gemmill-Herren, B. 2008. The Utility of Crop Genetic Diversity in Maintaining Ecosystem Services. *Agriculture Ecosystems & Environment* 123:261–270.
- Hector, A; Joshi, J; Lawler, SP; Spehn, EM; Wilby, A. 2001. Conservation Implications of the Link Between Biodiversity and Ecosystem Functioning. *Oecologia* 129:624–628.
- Hector, A; Loreau, M; Schmid, B; a.t.B. project. 2002. Biodiversity Manipulation Experiments: Studies Replicated at Multiple Sites. Page 294 *In* M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti, eds. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford University Press, Oxford.
- Hector, A; Schmid, B; Beierkuhnlein, C; Caldeira, MC; Diemer, M; Dimitrakopoulos, PG; Finn, JA; Freitas, H; Giller–Good, J; Harris, R; Hogberg, P; Huss-Danell, K; Joshi, J; Jumpponen, A; Korner, C; Leadley, PW; Loreau, M; Minns, A; Mulder, CPH; O’Donovan, G; Otway, SJ; Pereira, JS; Prinz, A; Read, DJ; Scherer-Lorenzen, M; Schulze, ED; Siamantziouras, ASD; Spehn, EM; Terry, AC; Troumbis, AY; Woodward, FI; Yachi, S; Lawton, JH. 1999. Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands. *Science* 286:1123–1127.
- IPCC. 2007a. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers. Contribución del grupo de trabajo II al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Cuarta evaluación. Ginebra, Suiza, Secretaría del IPCC.
- IPCC. 2007b. Climate Change: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers. Contribución del grupo de trabajo I al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, Cuarta evaluación. Ginebra, Suiza, Secretaría del IPCC.
- Kruess, A; Tschardtke, T. 2000. Species Richness and Parasitism in a Fragmented Landscape: Experiments and Field Studies With Insects on *Vicia sepium*. *Oecologia* 122:129–137.

- Klein, AM; Steffan-Dewenter, I; Tschardtke, T. 2003a. Bee Pollination and Fruit Set of *Coffea arabica* and *C-canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany* 90:153–157.
- Klein, AM; Steffan-Dewenter, I; Tschardtke, T. 2003b. Pollination of *Coffea Canephora* in Relation to Local and Regional Agroforestry Management. *Journal of Applied Ecology* 40:837–845.
- Lehman, C; Tilman D. 2000. Biodiversity, Stability, and Productivity in Competitive Communities. *American Naturalist* 156:534–552.
- Loreau, M. 2000. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Recent Theoretical Advances. *Oikos* 91:3–17.
- Magrin, G; Gay, C; Cruz, D; Giménez, JC; Moreno, AR; Nagy, GJ; Nobre, C; Villamizar, A. 2007. Latin America in 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; Canziani, OF; Palutikof, JP; Van Der Linden, PJ; Hanson, CE. eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 581–615
- Naeem, S. 2002. Biodiversity: Biodiversity Equals Instability? *Nature* 416:23–24.
- Naeem, S. Li, SB. 1997. Biodiversity Enhances Ecosystem Reliability. *Nature* 390:507–509.
- Perfecto, I; Vandermeer, JH; Lopez-Bautista, G; Ibarra-Nuez, G; Greenberg, R; Bicher, P; Langridge, S. 2004. Greater Predation in Shaded Coffee Farms: the Role of Resident Neotropical Birds. *Ecology* 85:2677–2681.
- Petit, RJ; Aguinagalde, I; De Beaulieu, JL; Bittkau, C; Brewer, S; Cheddadi, R; Ennos, R; Fineschi, S; Grivet, D; Lascoux, M; Mohanty, A; Muller-Starck, GM; Demesure-Musch, B; Palme, A; Martin, JP; Rendell, S; Vendramin, GG. 2003. Glacial Refugia: Hotspots But Not Melting Pots of Genetic Diversity. *Science* 300:1563–1565.
- Pounds, JA; Fogden, MPL; Campbell, JH. 1999. Biological Response to Climate Change on a Tropical Mountain. *Nature*, 398: 611–615
- Reid, H; Huq, S. 2005. Climate Change, Biodiversity and Livelihood Impacts. *In* Robledo, C; Kanninen, M. y Pedroni, L. eds. *Tropical Forests and Adaptation to Climate Change in Search of Synergies*. p. 57–70.
- Ricketts, TH; Daily, GC; Ehrlich, PR; Michener, CD. 2004. Economic Value of Tropical Forest to Coffee Production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101:12579–12582.

- Schmidt, MH; Lauer, A; Purtauf, T; Thies, C; Schaefer, M; Tscharrntke, T. 2003. Relative Importance of Predators and Parasitoids for Cereal Aphid Control. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 270:1905–1909.
- Schmidt, MH; Tscharrntke, T. 2005. The Role of Perennial Habitats for Central European Farmland Spiders. *Agriculture Ecosystems & Environment* 105:235–242.
- Schwartz, MW; Brigham, CA; Hoeksema, JD; Lyons, KG; Mills, MH; Van Mantgem, PJ. 2000. Linking Biodiversity to Ecosystem Function: Implications for Conservation Ecology. *Oecologia* 122:297–305.
- Thies, C; Roschewitz, I; Tscharrntke, T. 2005. The Landscape Context of Cereal Aphid-Parasitoid Interactions. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 272:203–210.
- Thies, C; Steffan-Dewenter, I; Tscharrntke, T. 2003. Effects of Landscape Context on Herbivory and Parasitism at Different Spatial Scales. *Oikos* 101:18–25.
- Thies, C; Tscharrntke, T. 1999. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science* 285:893–895.
- Tilman, D. 1997. Distinguishing Between the Effects of Species Diversity and Species Composition. *Oikos* 80:185–185.
- Tilman, D. 1999. The Ecological Consequences of Changes in Biodiversity: A Search for General Principles. *Ecology* 80:1455–1474.
- Tilman, D; Knops, J; Wedin, D; Reich, P. 2001. Experimental and Observation Studies of Diversity, Productivity and Stability. *In* Kinzig, AP; Pacala, SW; and Tilman, D. eds. *The Functional Consequences of Biodiversity: Empirical Progress and Theoretical Extensions*. Princeton University Press, Princeton. p. 365.
- Tilman, D; Knops, J; Wedin, D; Reich, P. 2002. Plant Diversity and Composition: Effects on Productivity and Nutrient Dynamics of Experimental Grasslands. *In* Loreau, M; Naeem, S; and Inchausti, P. eds. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford University Press, Oxford. p.294.
- Tilman, D; Lehman, CL; Thomson, KT. 1997. Plant Diversity and Ecosystem Productivity: Theoretical Considerations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94:1857–1861.
- Thomas, CD; Cameron, A; Green, RE; Bakkenes, M; Beaumont, LJ; Collingham, YC; Erasmus, BFN; Ferreira de Siqueira, M; Grainger, A; Hannah, L; Hughes, L; Huntley, B; Van-Jaarsveld, AS; Midgley, GF;

- Miles, L; Ortega-Huerta, MA; Townsend Peterson, A; Phillips, OL; Williams, SE. 2004. Extinction Risk from Climate Change. *Nature*, 427:145–148.
- Turner, MG; Gardner, RH; O'Neill, RV. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer Publishers, New York.
- Watson, R; Zinyowera, M; Moss, R; Dokken, D. 1997. The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment for Vulnerability. Summary for Policymakers. Report of IPCC Working Group II. 16 p.
- Wake, DB; Vredenburg, VT. 2008. Are We in the Midst of the Sixth Mass Extinction? A View From the World of Amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:11466–11473.
- Yachi, S.; Loreau, M. 1999. Biodiversity and Ecosystem Productivity in a Fluctuating Environment: the Insurance Hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96:1463–1468.