



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ
POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGROECOSISTEMAS DE CAFÉ
EN LA REGIÓN DE TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO

ISMAEL QUIROZ GUERRERO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.

2019



CAMPUS VERACRUZ

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campeche-Córdoba-Montecillo-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz

SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



"Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

43-03-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **ISMAEL QUIROZ GUERRERO**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGROECOSISTEMAS DE CAFÉ EN LA REGIÓN DE TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Tepetates, Veracruz, a 02 de diciembre de 2019.

ISMAEL QUIROZ GUERRERO

Firma

DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Resiliencia al cambio climático en agroecosistemas de café en la región de Tezonapa, Veracruz, México**, realizada por el alumno: **Ismael Quiroz Guerrero**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

ASESOR:


DR. CESÁREC LANDEROS SÁNCHEZ

ASESOR:


DR. FELIPE GALLARDO LÓPEZ

ASESOR:


DR. JOEL VELASCO VELASCO

ASESORA:


DRA. GRISELDA BENITEZ BADILLO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 4 de diciembre de 2019

RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO EN AGROECOSISTEMAS DE CAFÉ EN LA REGIÓN DE TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Ismael Quiroz Guerrero, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2019

Resumen

La vulnerabilidad de los agroecosistemas (AES), ante el inminente impacto del cambio climático, se suma al deterioro de los recursos naturales y a la necesidad de desarrollar AES no solo sustentables sino resilientes en un contexto de sistemas complejos. Por tanto, la presente investigación tuvo como propósito responder ¿Cuál es el estado actual, dominios, evolución y tendencia del conocimiento sobre la resiliencia de los agroecosistemas? ¿Qué factores determinan o contribuyen mayormente a la resiliencia del Agroecosistema café en Tezonapa Veracruz? ¿Qué impacto tendrá en el mediano y largo plazo el cambio climático en la resiliencia del Agroecosistema café en función de los diversos escenarios del IPCC?, para lo cual se identificó el estado del arte respecto al tema. Se consultó la base de datos de Isi-web y se utilizó el programa Citespace. Se encontró 152 publicaciones de estas a finales de la década de los 1990 fueron abordadas desde el enfoque agroecológico y en el periodo 2006 al 2018, fue frecuente el enfoque de sistemas socio-ecológicos. Para determinar la capacidad de resiliencia se realizaron entrevistas estructuradas a los caficultores con indicadores de resiliencia anidados en seis dimensiones. Se encontró que las dimensiones como la económica y la tecnológica presentan el menor aporte a la resiliencia (0.06 y 0.22), y que las dimensiones social y ambiental el mayor aporte (0.78 y 0.74, respectivamente) a la resiliencia. Para conocer el impacto del cambio climático en la caficultura en la región de Tezonapa se utilizó un ensamble de los modelos CCCMA, HADCM3 y CSIRO los cuales fueron procesados mediante Maxent. Resultando que el impacto del cambio climático será negativo debido a la reducción del 75 % del área óptima actual de cultivo, por ello después de 2050, 45 de los 52 agroecosistemas estudiados quedarán fuera de las condiciones óptimas para el cultivo de café y siete tendrían riesgo de transformarse. Se concluye que el enfoque de estudio actual de la resiliencia de los Agroecosistemas es el socio ecológico, los indicadores con mayor aporte a la resiliencia son los relacionados a las dimensiones social y ambiental y el agroecosistema café en la región de Tezonapa disminuirá su superficie óptima de cultivo debido al cambio climático.

Palabras clave: Perturbación, café, sistema, clima, transformación

RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE IN COFFEE AGROECOSYSTEMS OF TEZONAPA'S REGION, VERACRUZ, MEXICO

Ismael Quiroz Guerrero, PhD.

Colegio de Postgraduados, 2019

Abstract

The vulnerability of AES on the face to the imminent impact of climate change adds to the deterioration of natural resources and the need to develop AES not only sustainable but resilient in the context of complex systems. Therefore, the present investigation was intended to respond What is the current state, domains, evolution, and trend of knowledge about the resilience of agroecosystems? What factors determine or contribute mostly to the resilience of the coffee Agroecosystem in Tezonapa Veracruz? What impact will climate change have on the resilience of the coffee Agroecosystem in the medium and long term, depending on the various IPCC scenarios? For which the state of the art regarding the subject was identified. The ISI-web database was consulted and the Citespace program was used. 152 publications of these were found in the late 1990s were approached from the agroecological approach and in the period 2006 to 2018, the socio-ecological systems approach was frequent. To determine resilience capacity, structured interviews were conducted with coffee growers with resilience indicators nested in six dimensions. The indicators were standardized between 0-1. It was found that dimensions such as economic and technological have the least contribution to resilience (0.06 and 0.22) and that social and environmental dimensions have the greatest contribution (0.78 and 0.74, respectively) to resilience. To know the impact of climate change on coffee growing in the Tezonapa region, an assembly of the CCCMA, HADCM3 and CSIRO models was used, which were processed by Maxent and mapped in Q-Gis 3.8. As it turns out, the impact of climate change will be negative due to the 75% reduction in the current optimum cultivation area, so after 2050, 45 of the 52 agroecosystems studied will be out of the optimal conditions for coffee cultivation and seven would be at risk to transform. It is concluded that the current study approach of the resilience of Agroecosystems is the ecological partner, the indicators with the greatest contribution to resilience are those related to social and environmental dimensions and the coffee agroecosystem in the Tezonapa region will decrease its optimal surface area of crop due to climate change.

Key words: Disturbance, coffee, system, climate, transformation

Agradecimientos

Al pueblo de México quien mediante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) me otorgó una beca de manutención para la realización de mis estudios de doctorado y la realización de una estancia de investigación en Estocolmo, Suecia.

Al Colegio de Postgraduados institución noble, por permitirme ser parte del programa doctoral.

Al Centro de Resiliencia de la Universidad de Estocolmo por permitirme realizar una estancia de investigación.

Al Dr. Arturo Pérez Vázquez por todo su apoyo incondicional, por sus enseñanzas y paciencia durante el proceso de formación académica.

Al Consejo Particular, por compartir sus conocimientos, su amistad, confianza y apoyo.

A los productores de café que confiaron y me permitieron trabajar junto a ellos.

A Antonia, Javier y Rolando, por su apoyo incondicional en el trabajo de campo. Mi agradecimiento infinito chic@s! Hicieron de esta etapa algo más ameno y sencillo.

A mis compañeros integrados en “La escuela de Frankfurt”: Vilchis, Mildred, Alicia, Juan, Mario, Ariana y Yolis.

A Gaby, Doris, Rosa y Rafa, por su amistad y apoyo.

A Beatriz y Melisa, que afortunado de haberlas conocido en el universo de posibilidades infinitas. Suecia fue mejor con ustedes, muchas gracias!

“Si yo he sido capaz de ver más allá, es porque me encontraba sentado sobre los hombros de gigantes”.

Isaac Newton.

Dedicatoria

A mi esposa Mari y al pequeño Ismita quienes son mi motivación diaria. Mi fortaleza y esperanza.

A mis padres, quienes siempre han creído en mí, y me han brindado su apoyo incondicional en todas mis decisiones. Gracias a ustedes hemos podido dar este gran salto intergeneracional.

A mis hermanos amorosos: Olivia y Noel.

A mi familia, tan humilde, sincera y con la esperanza siempre de “tiempos mejores”.

Para mis familiares que se nos adelantaron: Roberto, Tomás, y Erick, su legado continua y sigue creciendo! ¡Muchas gracias!

A mis abuelos: Rosa, Ubaldo, Jesus, Rosario y Luisa, admirables, fuertes y valientes.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	4
1.1 Social	4
1.2 Económica	4
1.3 Ambiental	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3. HIPÓTESIS	8
3.1 General.....	8
3.2 Particulares	8
4. OBJETIVOS	9
4.1 General.....	9
4.2 Particulares	9
5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	10
5.1 Teoría general de sistemas.....	10
5.1.1 Sistemas complejos adaptativos.....	11
5.1.2 Los sistemas socio-ecológicos	12
5.1.3 La resiliencia desde la teoría de sistemas	13
5.2 Los Agroecosistemas	14
5.2.1 Agroecosistemas biodiversos.....	16
5.2.2 La sostenibilidad agrícola	18
5.2.3 Agricultura campesina	19
5.2.4 Agricultura empresarial	21
5.3 Biología del cafeto.....	21
5.4 Breve historia del Café	22
5.5 La dimensión socio-económica del agroecosistema café.....	22

5.6 Teorías sobre el Cambio climático: definición y enfoques	24
5.6.1 Teoría sobre el cambio climático originado por rayos cósmicos.....	24
5.6.2 El cambio climático como calentamiento global antrópico.....	25
5.6.3 Escenarios del cambio climático.....	26
5.6.4 Escenarios de emisiones	27
5.6.5 Principales actividades humanas emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) ..	28
5.6.6 Políticas públicas en el tema de cambio climático.....	30
5.6.7 Vulnerabilidad ante el cambio climático	32
5.7 Literatura citada.....	33
CAPITULO I. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO SOBRE RESILIENCIA DE AGROECOSISTEMAS	40
1.1 Introducción	42
1.2 Metodología	44
1.3 Resultados	45
1.3.1 Estudios sobre resiliencia en agroecosistemas	45
1.3.2 Conceptualización de resiliencia en el contexto de los agroecosistemas	49
1.3.3 Componentes de la resiliencia	51
1.3.4 Indicadores de resiliencia	53
1.3.5 La resiliencia como propiedad emergente de los agroecosistemas	55
1.3.6 Estudio de las etapas de la resiliencia en agroecosistemas.....	57
1.3.7 Prospectiva del análisis de resiliencia en agroecosistemas	58
1.4 Conclusiones	60
1.5 Literatura Citada.....	60
CAPITULO II. CAPACIDAD DE RESILIENCIA DEL AGROECOSISTEMA CAFÉ EN TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO	65
2.1 Introducción.....	67
2.2 Metodología.....	68
2.2.1 Área de estudio	68

2.2.2 Tamaño de muestra	69
2.2.3 Medición de indicadores de capacidad de resiliencia	69
2.2.4 Índice de capacidad de resiliencia.....	73
2.2.5 Análisis estadístico.....	74
2.3 Resultados.....	75
2.3.1 Índice de capacidad de resiliencia.....	75
2.3.2 Aporte de los indicadores a la capacidad de resiliencia.....	78
2.3.3 Distribución geo-espacial de la capacidad de resiliencia del agroecosistema cafetalero.....	81
2.4 Conclusiones.....	84
2.5 Literatura citada.....	85
CAPITULO III. RESILIENCIA DEL AGROECOSISTEMA CAFÉ ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	89
3.1. Introducción.....	91
3.2. Materiales y métodos.....	92
3.2.1 Impacto del cambio climático	92
3.2.2 Modelado de la distribución actual de <i>Coffea arabica</i>	93
3.2.3 Modelación del impacto del cambio climático y su impacto en la resiliencia.....	94
3.2.4 Análisis estadístico.....	95
3.3 Resultados.....	95
3.3.1 Distribución actual de <i>Coffea arabica</i>	95
3.3.2 Cambios en la temperatura.....	97
3.3.3 Cambios en la precipitación.....	98
3.3.4 Impacto del cambio climático sobre la resiliencia del agroecosistema café.....	99
3.4. Conclusiones.....	101
3.5 Literatura citada.....	102
CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	105
CONCLUSIONES GENERALES	106

ANEXOS107

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Valor de producción de los principales cultivos del municipio de Tezonapa.....	5
Cuadro 2.	Dimensiones de la diversidad ecológica en un ecosistema.....	17
Cuadro 3.	Principales componentes de la biodiversidad agrícola.....	18
Cuadro 4.	Principales diferencias entre la agricultura empresarial y campesina.....	20
Cuadro 5.	Categorías de productores empresariales según la cantidad de jornales anuales.....	21
Cuadro 6.	Supuestos teóricos de los escenarios publicados por el IPCC en el tercer informe de evaluación 2007.....	27
Cuadro 7.	Aumento de la temperatura media global en superficie al final del siglo XXI (2081-2100).....	28
Cuadro 8.	Principales países con alta contribución a emisiones globales de GEI.....	29
Cuadro 9.	Principales artículos sobre resiliencia citados en el periodo 1993-2018.....	48
Cuadro 10.	Definiciones y enfoques con los que se ha abordado la resiliencia de los agroecosistemas.....	50
Cuadro 11.	Indicadores para evaluar la resiliencia de agroecosistemas desde la perspectiva de sistemas socioecológicos, agroecológica, social, capacidad comunitaria, económica, institucional y de infraestructura.....	53
Cuadro 12.	Indicadores utilizados para medir la capacidad de resiliencia de agroecosistemas cafetaleros.....	70
Cuadro 13.	Criterio utilizado para adjudicar valores a los indicadores y estandarizar su diversidad en una escala entre 0 y 1.....	74
Cuadro 14.	Variables del clima utilizadas como referencia para modelar la distribución actual y futura de <i>C. arabica</i>	93
Cuadro 15.	Clasificación de la distribución futura de <i>C. arabica</i> bajo el impacto del cambio climático.....	94
Cuadro 16.	Prácticas relacionadas con el fomento de la resiliencia en los AES.....	95
Cuadro 17.	Distribución de la temperatura y precipitación media anual según tres categorías de clasificación de la altitud.....	96
Cuadro 18.	Comparación entre la temperatura actual y futura de 52 AES.....	97

Cuadro 19.	Comparación entre la precipitación actual y futura en las 52 fincas.....	98
Cuadro 20.	Impacto del cambio climático sobre la resiliencia de los agroecosistemas después del 2050.....	99

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Conceptualización de un sistema socio-ecológico con su respectivos elementos e interacciones.....	13
Figura 2.	Modelo conceptual de resiliencia de un agroecosistema considerando variables: social, ambiental, económico, político y tecnológico.....	14
Figura 3.	Representación de la dinámica del agroecosistemas y la resiliencia como un sistema socio-ecológico cíclico, conectado a otros sistemas y con cuatro fases (A), que aumenta su dimensión con el paso del tiempo (B) y que presenta resistencia, un nivel de precariedad y límites dentro de los cuales es posible expresar resiliencia (C).....	16
Figura 4.	Proceso de enfriamiento global como causa de la actividad solar y los rayos cosmicos.....	24
Figura 5.	Emisión anual total de gases de efecto invernadero en el periodo 1970-2010.....	28
Figura 6.	Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en México.....	30
Figura 7.	Elementos de análisis para determinar vulnerabilidad según el IPCC.....	33
Figura 8.	Aumento de la complejidad del agroecosistema como resultado de la suma de elementos en dirección horizontal y vertical.....	44
Figura 9.	Publicaciones sobre resiliencia de agroecosistemas registradas en Web of Science de 1993 al 2018.....	45
Figura 10.	Principales disciplinas que abordan la resiliencia en agroecosistemas de acuerdo con la herramienta CiteSpace.....	46
Figura 11.	Principales países de origen de co-autores relacionados a los artículos de resiliencia de agroecosistemas. Se incluye el valor de centralidad intermedia de acuerdo la herramienta CiteSpace en el periodo 1993-2018.....	47
Figura 12.	Red que muestra a los principales autores citados en los 152 artículos analizados.....	48
Figura 13.	Componentes de la resiliencia de sistemas socio-ecológicos donde se muestra la longitud (L), resistencia (R) y precariedad (Pr).....	52

Figura 14.	Representación del proceso interno de interacción de los elementos que propician la resiliencia como propiedad emergente de un agroecosistema.....	56
Figura 15.	Fases y elementos que integran el proceso de resiliencia en los Agroecosistemas. <i>Yn</i> Nivel de funcionamiento histórico de un Agroecosistema en el periodo anterior histórico; <i>Yd</i> nivel de funcionamiento inmediatamente después del impacto; <i>Y0</i> nivel de ruptura de un Agroecosistema.....	57
Figura 16.	Asociación de propiedades emergentes de un agroecosistema que preceden a la recuperación del sistema (resiliencia).....	58
Figura 17.	La naturaleza de las variables del agroecosistema influye en el tiempo de recuperación.....	59
Figura 18.	Distribución geo-espacial de los agroecosistemas bajo estudio en el municipio de Tezonapa, Ver.....	69
Figura 19.	Trazado de cuatro transeptos orientados hacia cada punto cardinal utilizado para muestrear características ambientales en el interior de la parcela.....	73
Figura 20.	Interacciones internas de los agroecosistemas cafetaleros entre el caficultor-indicadores y cafetos-indicadores.....	75
Figura 21.	Estado actual de la estructura del agroecosistema cafetalero y los indicadores con mayor y menor aporte a la (CRAC).....	76
Figura 22.	Frecuencia de indicadores ordinales positivos para la capacidad de resiliencia de 52 agroecosistemas cafetaleros.....	79
Figura 23.	Frecuencia de indicadores ordinales negativos para la capacidad de resiliencia de 52 agroecosistemas cafetaleros.....	79
Figura 24.	Frecuencia de indicadores con respuesta dicotómica positiva y negativa para la capacidad de resiliencia de 52 agroecosistemas cafetaleros.....	80
Figura 25.	Comparación entre los factores integradores de la capacidad de resiliencia del agroecosistema café.....	81
Figura 26.	Efecto de la altitud sobre el tipo de relieve y la distribución de la CR de los agroecosistemas.....	82
Figura 27.	Comparación entre la (CRAC) de agroecosistemas localizados en tres categorías de altitud para el cultivo de café.....	82

Figura 28.	Interacción de escalas cruzadas en diferentes dimensiones y relacionadas a la CRAC.....	83
Figura 29.	Distribución geoespacial de la CRAC en donde la frecuencia de baja capacidad se da en áreas con menos recursos y servicios.....	84
Figura 30.	Influencia de la altitud sobre la disminución de la temperatura y el aumento de la precipitación.....	97
Figura 31.	Modelación geo-espacial de las condiciones ambientales actuales (a) y condiciones futuras bajo la influencia del cambio climático(b).....	100

INTRODUCCIÓN GENERAL

La agricultura permitió al ser humano convertir los hábitos nómadas a sedentarios. En el contexto mesoamericano, la actividad fundamental de sobrevivencia de las comunidades indias fue la producción agrícola en sistemas diversificados como medio para el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales (Bonfil, 2019). En México, el sistema indígena más conocido es la milpa en donde generalmente se intercalan maíz, frijol, calabaza y chile. El establecimiento de los sistemas agrícolas requiere la modificación de los ecosistemas mediante el retiro de la vegetación primaria como árboles, arbustos y arvenses para ser sustituidos por especies de interés agrícola y pecuario (Bonfil, 2019). Lo anterior, dió origen a los agroecosistemas (AES), los cuales se han diversificado, pero que actualmente pueden ser agrupados en dos grandes categorías: AES campesinos y AES empresariales (Harper, 1974; Hart, 1979; Sarandón y Flores, 2014). Las interacciones internas y externas de los AES han dado origen a interrelaciones complejas de sus elementos (Altieri, 2013).

Los sistemas complejos adaptativos (SCA) han sido definidos como sistemas con redes extensas de elementos, que no presentan un controlador central y con formas simples de operación que crecen en complejidad a medida que se presenta un comportamiento colectivo, con procesamiento sofisticado de información y adaptación mediante el aprendizaje o la evolución (Mitchell, 2009; Dekkers, 2015). En la naturaleza pueden concebirse ejemplos de SCA como los ecosistemas, el sistema inmunológico, las estructuras sociales o los agroecosistemas, en donde suceden fenómenos de los cuales se conoce el origen, pero de los cuales no es posible predecir su comportamiento futuro (Mitchell, 2009).

En un marco del paradigma de la complejidad (Lescourret *et al.*, 2015), los agroecosistemas, pueden ser considerados como SCA del tipo socio-ecológico en donde existe gran interacción de sus elementos sin una actuación direccionada ni planificada (Maldonado y Gómez, 2010). En los agroecosistemas (AES) existe una interdependencia entre el sociosistema y el sistema ecológico (Lescourret *et al.*, 2015). Dicha interdependencia es notable debido al aprovechamiento de los recursos naturales para la producción de alimentos, fibras y servicios ambientales sustanciales para la sobrevivencia, de la sociedad humana. La interdependencia productor-recursos naturales, ha generado una serie de eventos que son resultado de las propiedades emergentes que pueden

dividirse en estructurales y atributos que aparecen en determinado nivel del sistema y no siempre son deducibles desde la observación (Lazlo y Krippner, 1998; Muller y Nielsen, 2008; Dekkers, 2015; Buchmann, 2015; Zhu y Mostafavi, 2016).

Dentro de los procesos con los que el AES está relacionado sobresalen los cambios de régimen los cuales influyen directamente sobre el AES, tal como sucede cuando se establece un monocultivo que conduce de un suelo fértil a uno degradado o el uso intensivo de pesticidas que conduce a la resistencia de los insectos con la posterior aparición de plagas con efectos severos sobre otros sistemas (Walker *et al.*, 2004; Virapongase *et al.*, 2016). Los escenarios propuestos para el cambio climático, pueden considerarse como posibles cambios de régimen que actualmente son conducidos por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y que dependiendo de la intensidad de las emisiones será la disminución de precipitación y aumento de temperatura que generarán, las cuales serán condiciones que regirán a los AES (Dessler, 2012; IPCC, 2015; Aleo, 2016).

Particularmente, los AES de café (*Coffea arabica* L.), se distribuyen en función de las condiciones necesarias para esta especie respecto a la altitud, la precipitación y la temperatura. Por lo anterior, ante los escenarios del cambio climático, se considera que el área actual de cultivo óptimo para *C. arabica* se reducirá por lo que se afectará directamente la producción actual e indirectamente los ingresos de los productores dependientes de este cultivo (Sousa *et al.*, 2019). Por lo que la fortaleza, la capacidad de innovación y la adaptación del AES-café serán sustanciales para la expresión de resiliencia. Por lo anterior, es necesario ubicar las corrientes teóricas, los dominios y principales estudios sobre resiliencia del AES por lo que el presente trabajo tuvo como propósito determinar el nivel de resiliencia del AES-café, ante el impacto del cambio climático en la región de Tezonapa, Veracruz.

Este documento de tesis se compone de un primer capítulo introductorio que aborda la situación problemática, la hipótesis general y particulaes, los objetivos y el marco teórico y conceptual que tienen relación con el tema central de esta investigación, las teorías que tratan de explicar el fenómeno del cambio climático y los relacionados a la resiliencia y los abordajes teóricos de ésta. El segundo capítulo aborda el estudio del arte sobre resiliencia y AES. Posteriormente, el tercer capítulo aborda desde seis dimensiones la capacidad de resiliencia del AES-café. El cuarto capítulo

expone el impacto del cambio climático después de 2050 sobre la resiliencia del AES-café. Finalmente, se integra la contrastación de hipótesis, conclusiones generales y anexos.

1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

A continuación, se presentan los principales problemas relacionados a la resiliencia del AES-café ante el cambio climático desde la perspectiva de las dimensiones social, económica y ambiental.

1.1 Social

Las cifras del VIII censo Agrícola, Pecuario y Forestal realizado por el INEGI (2007) revelan que el minifundio, lejos de mitigarse con las reformas realizadas al Artículo 27 de la Constitución a principios de 1990, se ha mantenido. Mientras que en 1991 el 66.3 % de las unidades de producción agrícola tenían menos de cinco hectáreas, para el 2007 esta cifra aumentó a 73 % y hasta 2016 el tamaño promedio de la propiedad ejidal y comunal fue de 6.8 hectáreas. Lo que indica la importancia del minifundio para la producción agrícola actual y futura de México (Yúnez, 2010).

Aunado a lo anterior, la condición de pobreza de los pobladores reduce su capacidad de acción para adaptarse al cambio climático. El CONEVAL (2015) reporta que en México existen 55.3 millones de pobres y 11.4 millones de personas en pobreza extrema. Los municipios con mayor porcentaje de población en situación de pobreza se localizan en Chiapas (76.2%), Oaxaca (66.8%) y Veracruz (58%). Con relación al municipio de Tezonapa, el 74 % de la población vive en situación de pobreza y está clasificado como un municipio con alta marginación (CONAPO, 2013; CDI, 2013).

Ante un desastre natural, la pobreza y las fallas en los sistemas sociales de prevención podrían conducir a un nivel de daño severo en la estructura comunitaria. Por ello, es importante fomentar la resiliencia social mediante el fortalecimiento de los elementos que integran a los grupos o comunidades para recuperarse o responder positivamente a las adversidades ambientales como las climáticas (Maguire y Hagan, 2007) sobre todo si se encuentran en situación de pobreza como es el caso del municipio de Tezonapa.

1.2 Económica

Las actividades económicas en la región de Tezonapa dependen principalmente de cultivos perennes y de temporal como la caña de azúcar, el hule y el café (Cuadro 1), cultivos que serán impactados por el cambio climático en el mediano y largo plazo debido a una agricultura de

temporal dependiente de la precipitación y a los límites de tolerancia de temperatura (Sousa *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Valor de producción de los principales cultivos del municipio de Tezonapa.

Cultivo	Superficie cultivada (ha)	Valor de producción (Miles de pesos)
Caña de Azúcar	9,485	280,496.08
Café	16,000	116,195.52
Hule	2,120	38,221.68
Total	27,605	434,913.28

Fuente: SIAP (2017)

Con relación a la producción de café, el Municipio de Tezonapa se ubica entre los municipios del estado de Veracruz que aportan el 50.1 % de la cosecha estatal y forma parte de los 10 municipios que concentran el 21 % o la quinta parte de la producción nacional de café (FIRA, 2015). En el 2015 había 16,060 ha con una superficie cultivada de 16,000 ha con un rendimiento 1.4 t ha⁻¹ con un precio por tonelada de \$ 5,187.30 pesos (SIAP, 2017). Sin embargo, la población en el área de estudio es considerada como marginada (CONAPO, 2013).

Las posibles pérdidas económicas causadas por los desastres naturales (Altieri y Koohafkan, 2008) pueden ser paliadas por la capacidad de los gobiernos locales para enfrentar problemas causados por eventos extremos. Las finanzas sanas y una buena administración de recursos económicos, también permite a los productores agrícolas solucionar problemas que pueden surgir después de un evento climático extremo, entre ellos: el abastecimiento de agua, la reconstrucción de infraestructura, el realizar resiembras y la atención de emergencias, por mencionar algunas (INE, 2007).

1.3 Ambiental

En el contexto del cambio climático, existe una preocupación generalizada -mundial y nacional- de diversos actores relacionados a la agricultura debido a que el calentamiento global y los eventos climáticos extremos podrían afectar la productividad de los principales cultivos perennes (Claussen, 2001; IPCC, 2015; Sousa *et al.*, 2019). Por lo anterior, el municipio de Tezonapa se ubica dentro de una zona con alta vulnerabilidad ambiental con capacidad de adaptación y sensibilidad media en donde sus cultivos perennes presentan el riesgo de ser afectados severamente por el cambio climático (Magrin *et al.*, 2007; UNIATMOS, 2016).

Debido al manejo de los AES de café, estos presentan características para asociarse con la vegetación y la fauna de los ecosistemas circundantes y al mismo tiempo proveer servicios ambientales como el resguardo de la biodiversidad, la fijación de dióxido de carbono o la captación de agua por mencionar algunos. Cabe destacar, que hasta el año 2008, Tezonapa estuvo incluido dentro de los 20 municipios del estado de Veracruz que conservan el mayor número de hectáreas con vegetación primaria por lo que se considera un municipio biodiverso (Márquez y Márquez, 2009).

Sin embargo, el cambio climático pone en riesgo la distribución actual del AES-café y sus respectivos servicios ambientales (Mason *et al.*, 2018). Por lo que además de los impactos directos del cambio climático emergerían otros daños indirectos como el estímulo del desarrollo de enfermedades o plagas por el establecimiento de nuevas condiciones ambientales óptimas para la abundancia y expansión del área de distribución de patógenos (Hernández *et al.*, 2014; Sousa *et al.*, 2019).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vulnerabilidad de los AES, ante el inminente impacto del cambio climático, se suma al deterioro de los recursos naturales y a la necesidad de desarrollar AES no solo sustentables sino resilientes en un contexto de sistemas complejos. Por ello, es importante emprender una propuesta de investigación que determine los factores que contextualizan y contribuyen a la expresión de resiliencia del AES-café ante escenarios del cambio climático en el municipio de Ttezonapa, Veracruz. Por tanto, el presente trabajo busca responder las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es el estado actual, dominios, evolución y tendencia del conocimiento sobre la resiliencia de los agroecosistemas?
2. ¿Qué factores determinan o contribuyen mayormente a la resiliencia del Agroecosistema café en Tezonapa Veracruz?
3. ¿Qué impacto tendrá en el mediano y largo plazo el cambio climático en la resiliencia del Agroecosistema café en función de los diversos escenarios del IPCC?

3. HIPÓTESIS

3.1 General

El conocimiento científico sobre la resiliencia de agroecosistemas ha evolucionado mediante enfoques relacionados a la sustentabilidad. Por lo anterior, la resiliencia en los Agroecosistemas de café en Tezonapa Veracruz está determinada principalmente por la suma de factores sociales, económicos, institucionales, comunicaciones, tecnológicos y ambientales. Así mismo, el cambio climático mediante sus diversos escenarios impactará negativamente la resiliencia de los agroecosistemas de café en el mediano y largo plazo.

3.2 Particulares

1. El conocimiento científico sobre resiliencia de agroecosistemas es dominado por las ciencias ambientales, y presenta una evolución constante marcada por diversos enfoques como el agroecológico y socio-ecológico con la tendencia de reforzar la relación entre las características ambientales-sociales.
2. La capacidad de resiliencia del agroecosistema de café está determinada principalmente por factores sociales y ambientales y en menor grado por factores económicos y tecnológicos.
3. El impacto del cambio climático en la resiliencia del Agroecosistema café es negativo por su estrecha relación con su vulnerabilidad y está en función de los diversos escenarios del IPCC.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Determinar el estado actual y tendencias del conocimiento científico sobre resiliencia de AES y la influencia de los factores sociales, económicos, tecnológico, ambiental, institucional y de comunicación sobre la resiliencia del Agroecosistema café, así como el impacto de los diversos escenarios del cambio climático sobre la resiliencia de los agroecosistemas de café en el mediano y largo plazo en el municipio de Tezonapa, Veracruz.

4.2 Particulares

1. Determinar el estado del arte actual, los dominios, la evolución y tendencia del conocimiento de resiliencia de agroecosistemas.
2. Determinar la influencia de los factores social, económico, tecnológico, institucional, comunicación y ambiental sobre la capacidad de resiliencia del agroecosistema café.
3. Determinar el impacto del cambio climático sobre la resiliencia del Agroecosistema café.

5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Este capítulo describe la teoría y los conceptos que fundamentan la presente investigación, por lo que se aborda la Teoría General de sistemas, los Agroecosistemas y sus propiedades emergentes, tipología de productores en México, el cambio climático y la resiliencia.

5.1 Teoría general de sistemas

Desde la época de Aristóteles se tiene registro del holismo (“el todo que es más que la suma de sus partes”). Posteriormente, en el siglo XVII, René Descartes desarrolló el enfoque reduccionista, y los fenómenos naturales empezaron a ser estudiados por separado. Aunque el enfoque reduccionista permitió que las ciencias avanzaran significativamente en beneficio del ser humano, también tuvo su límite al enfrentar fenómenos de complejidad creciente tal como: los fenómenos económicos, la evolución biológica y las interrelaciones en los ecosistemas. Por lo que surgió la necesidad de enfoques integradores que facilitaran comprender los fenómenos complejos. Complejidad o pensamiento complejo son corrientes filosóficas generadas a partir de la primera mitad del siglo XX (Dekkers, 2015).

Entre 1946 y 1953, se realizaron las reuniones de Macy, en donde expertos de diferentes disciplinas (Incluido von Bertalanffy) se congregaron para discutir el trabajo interdisciplinario y sentar las bases de la Teoría General de Sistemas (TGS). Paralelo a las reuniones de Macys, Norbert Wiener, reintrodujo el termino de cibernética haciendo referencia al control y la comunicación de los sistemas. Durante la década del 50, la cibernética se acopló con la TGS y sentó las bases para el desarrollo de disciplinas como la inteligencia artificial, modelado y simulación, por mencionar algunas (Maass *et al.*, 2012). En los años 70's, Humberto Maturana y Francisco Varela (1973), introdujeron el término autopoiesis para explicar los procesos evolutivos como una capacidad de los sistemas de auto renovarse o autoreplicarse mediante un sistema cerrado de relaciones. Ellos consideraron que un sistema autopoietico es autónomo y no se puede describir utilizando dimensiones que definan otro espacio.

Se define al sistema como un complejo de componentes en interacción que conservan un conjunto identificable de relaciones con la suma de sus componentes (Dekkers, 2015). Los sistemas tienden a cambiar todo el tiempo, sin importar la causa del cambio. La transformación de un sistema de un estado a otro es llamado proceso (Mitchel, 2009). Para que el proceso ocurra, es necesario que

existan entradas y salidas del sistema (Mitchel, 2009). Una alteración del sistema como la modificación de su estructura puede introducir nuevos elementos y afectar las propiedades emergentes y parámetros de las interrelaciones de sus elementos actuales.

De acuerdo con Maldonado y Gómez (2015), el origen formal del estudio de los sistemas se divide en tres etapas principales:

- 1) En el periodo de 1910-1913, Alexander Bogdanov había formulado la idea de una tektología, la cual consistía en unificar las ciencias sociales, cognitivas, biológicas y físicas como sistemas de relaciones en la organización universal que subyacen en cualquier tipo de sistema. Desafortunadamente, este trabajo permaneció oculto debido a las circunstancias internas de Rusia entre 1907 y 1917 y a *fortiori*, luego del surgimiento de la URSS. Al mismo tiempo, en occidente permanece desconocida la Tektología y la primera traducción al inglés fue hasta 1996 (Maldonado y Gómez, 2015).
- 2) En Palo Alto California (Estados Unidos) en los encuentros y trabajos científicos de Mead, Bateson, Watzlawick y Lazlo entre otros, se opusieron de manera frontal a los trabajos de Shannon sobre la teoría matemática de la comunicación por considerarlo reduccionista y lineal.
- 3) Finalmente, el trabajo pionero de Ludwig von Bertalanffy da lugar a la Teoría General de Sistemas como una teoría de rango amplio aplicada, y publicada en su libro en el año de 1968.

El enfoque de sistemas, es un esquema teórico-metodológico que sirve como guía para la solución de problemas y concibe al mundo en términos de irreductibilidad integrada en sistemas. Esta teoría pone su atención en el todo como interrelaciones complejas en la mayoría de sus partes constituyentes (Lazlo y Krippner, 1998).

5.1.1 Sistemas complejos adaptativos

Los sistemas complejos, son abordados desde la investigación interdisciplinaria y un pensamiento eminentemente sistémico que busca explicar cómo un gran número de entidades relativamente simples se organizan sin la influencia de ningún controlador central en un todo colectivo que crea patrones y usa información interna y externa. En los sistemas complejos, muchas partes están entrelazadas en una red amplia e irreductible con cambios constantes de patrones que dificultan la

predicción de su comportamiento. Los sistemas complejos tienen la capacidad de adaptación mediante el aprendizaje que permite desarrollar procesos evolutivos para aumentar las posibilidades de supervivencia ante ambientes cambiantes. Mitchel (2009), define como sistema complejo a los sistemas con grandes redes de componentes sin control central y reglas de operación simples que dan lugar a comportamientos colectivos complejos, procesos de información sofisticada y adaptación a través del aprendizaje o la evolución.

Los procesos adaptativos de los sistemas ocurren por presión y se considera que dichos cambios son externamente orientados por el ambiente. Debido a lo anterior, surgen los sistemas complejos adaptativos, los cuales presentan comportamientos de complejidad creciente; esto es, fenómenos y sistemas que aprenden y se adaptan. Un sistema complejo está compuesto por varias partes interconectadas o entrelazadas cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador. Como resultado de las interacciones entre elementos, surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Dichas propiedades se denominan propiedades emergentes (Mitchel, 2009; Dekkers, 2015).

5.1.2 Los sistemas socio-ecológicos

Problemas como el cambio climático, las crisis económicas o las crisis sociales rebasan la capacidad de solución de una disciplina debido a las múltiples dimensiones que presenta la estructura por lo que para resolver dicho problema es necesario la colaboración cruzada y sinérgica de diferentes disciplinas (Cumming, 2014). Sin embargo, a pesar de la evidencia de la multidimensionalidad de los problemas, se continúa aplicando enfoques lineales y disciplinarios por lo que es necesario migrar a la interdisciplina como enfoque metodológico. Previo a abordar los sistemas socioecológicos es necesario comprender cinco conceptos clave: 1) cosmovisión sistémica, 2) co-desarrollo del conocimiento, 3) participación de las partes interesadas, 4) sistemas de monitoreo y 5) educación y capacitación (Virapongse *et al.*, 2016).

El concepto de sistemas socioecológicos acuñado por Ratzlaff (1970) considera dos aspectos sobresalientes de estructura y funcionalidad que convergen entre los sistemas ecológicos y los sistemas sociales (Colding y Barthel, 2019). Por un lado, los componentes estructurales del ecosistema tales como los recursos geoquímicos o físicos y recursos bióticos, y por el otro los componentes bióticos tales como la flora y la fauna. Los componentes funcionales se integran por

los procesos biofísicos como el ciclo de nutrientes y los procesos biológicos como la reproducción o crecimiento poblacional de una especie. Aunado a los componentes estructurales y funcionales del sistema ecológico, también se integran los componentes del sistema social como las personas, organizaciones o instituciones, y componentes funcionales tales como los procesos socioeconómicos (Lescourrent *et al.*, 2015).

Los sistemas socioecológicos están anidados con otros sistemas según el nivel ascendente o descendente, esta característica les permite interactuar incluso a escalas cruzadas y generar emergencias con características positivas para el ser humano como los servicios ambientales o negativas para el ambiente como la contaminación ambiental, por mencionar algunas (Lescourrent *et al.*, 2015). La cosmovisión sistémica como característica del sistema socioecológico permite identificar las consecuencias previstas y no previstas de las interacciones del sistema con sistemas externos (Figura 1).

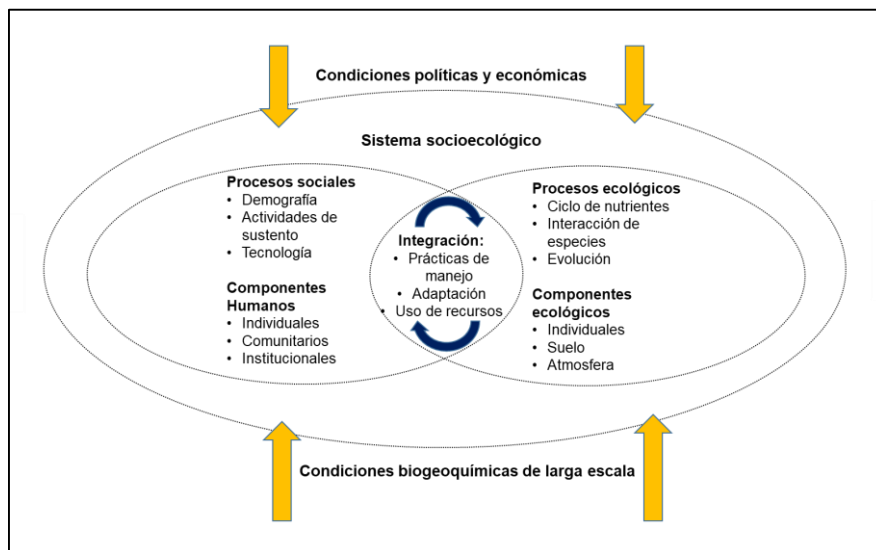


Figura 1. Conceptualización de un sistema socio-ecológico con sus respectivos elementos e interacciones. Fuente: Lescourrent *et al.*, 2015.

5.1.3 La resiliencia desde la teoría de sistemas

Un sistema consiste en elementos dentro de una realidad y sus límites son definidos según el objetivo del investigador. Todos los elementos deben tener al menos una interrelación dentro del sistema e incluso pueden tener relación con elementos externos. Lo anterior da lugar a las propiedades emergentes que pueden dividirse en estructura y atributos (Dekkers, 2015). Por lo

anterior, la resiliencia de un agroecosistema bajo el contexto del presente trabajo puede considerarse como una propiedad emergente, resultado de la interacción de elementos sociales, económicos, ambientales, tecnológicos y políticos como resultado de su interacción con perturbaciones (Figura 2).

Los sistemas alopoieticos son aquellos que producen elementos o subsistemas diferentes al sistema del cual son originados (Dekkers, 2015). Desde los sistemas alopoieticos, la resiliencia puede surgir como resultado del estímulo de un sistema externo. Los sistemas alopoieticos, a diferencia de los sistemas autopoieticos, no auto-reproducen sus características, por el contrario, estimulan la mutación y el cambio de la estructura organizacional mientras que al mismo tiempo van obteniendo información de aspectos auto-referenciales de su cognición y cuando un sistema alopoietico no logra adaptarse se extingue (Dekkers, 2015).

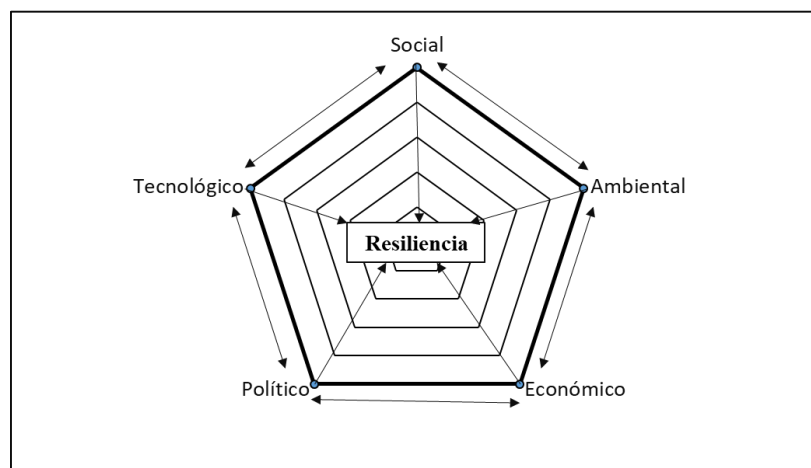


Figura 2. Modelo conceptual de resiliencia de un agroecosistema considerando variables: social, ambiental, económico, político y tecnológico. Fuente: Gliessman, (2002) y Folke, (2016).

5.2 Los Agroecosistemas

El enfoque de Agroecosistemas, tiene como base la Teoría General de Sistemas. El estudio de los sistemas se realiza mediante el enfoque holista en oposición al mecanicismo y el reduccionismo (Dekkers, 2015). El concepto de Agroecosistema tiene sus raíces en la conceptualización de la agricultura como un ecosistema agrícola; semejándose a los procesos de una sucesión ecológica (Hart, 1979), ya que la agricultura involucra cadenas tróficas, ciclos de nutrientes, diferente

estructura de comunidades vegetales y animales, tiene salidas y entradas, con la diferencia que son manejados y modificados por las personas (Hart, 1979; Ruíz– Rosado, 2006).

A principios de la década de los 70's se introduce a nivel internacional la palabra Agroecosistema en la revista *Agro-ecosystems* en donde se hacía énfasis sobre el manejo de los sistemas agrícolas y su relación con los ecosistemas naturales (Harper, 1974).

Hernández X. (1977), indicaba que el agroecosistema es un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola, pecuaria, forestal o de la fauna silvestre. Posteriormente, Conway (1987) definió al Agroecosistema como un sistema ecológico modificado por el ser humano para producir fibra, alimentos y demás productos agrícolas, en donde existe una estructura y dinámica completa, la cual surge a partir de la interacción entre los procesos ecológicos y socioeconómicos. Los elementos que interactúan en el agroecosistema se reflejan en lo que Marten (1987) y Conway (1987) denominan propiedades emergentes. Estas propiedades son: la productividad, estabilidad, sostenibilidad y equitatividad, mismas que ayudan a cumplir el objetivo para el cual fue desarrollado el agroecosistema y permite analizar donde se tienen ganancias o pérdidas en la interacción de los diversos componentes que inciden en un agroecosistema.

Pérez-Vázquez (1998) en una revisión del concepto, define al Agroecosistema como espacios ambientales de magnitud diversa que históricamente han sido determinados y en respuesta a ello modificados en diversa escala por el ser humano para cultivar y manejar especies vegetales y/o animales en diferente arreglo espacio-temporal mediante el uso de energía subsidiaria con el fin de elevar o mantener niveles de producción que satisfagan las necesidades del productor y/o la sociedad.

Posteriormente, Martínez y Pérez (1999) señalan que el agroecosistema es un sistema contingente abierto y construido a partir de la modificación social de un sistema natural, para contribuir a la producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales que la sociedad en su conjunto demanda; al bienestar de la población rural y a su propia sostenibilidad ecológica. Donde la dimensión espacial y objetivos del Agroecosistema dependen del tipo de controlador que lo regula, de los recursos que este maneja y de su interrelación con su entorno complejo.

El agroecosistema ha sido, también la unidad de estudio de la agroecología, y desde esta ciencia, se define como un marco de referencia para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad incluyendo el complejo conjunto de entradas y salidas y las interacciones entre sus partes (Gliessman, 2002; Sarandón y Flores, 2014).

Para el presente trabajo, se conceptualiza al agroecosistema café (Figura 3) como un sistema alopoietico, complejo y adaptativo de tipo socio-ecológico integrado por un conjunto de componentes sociales, económicos, tecnológicos y ambientales en donde la fortaleza de los mismos, la retroalimentación y la capacidad de adaptación le provee resiliencia al agroecosistema como propiedad emergente ante perturbaciones y panarquías del sub y el supra sistema.

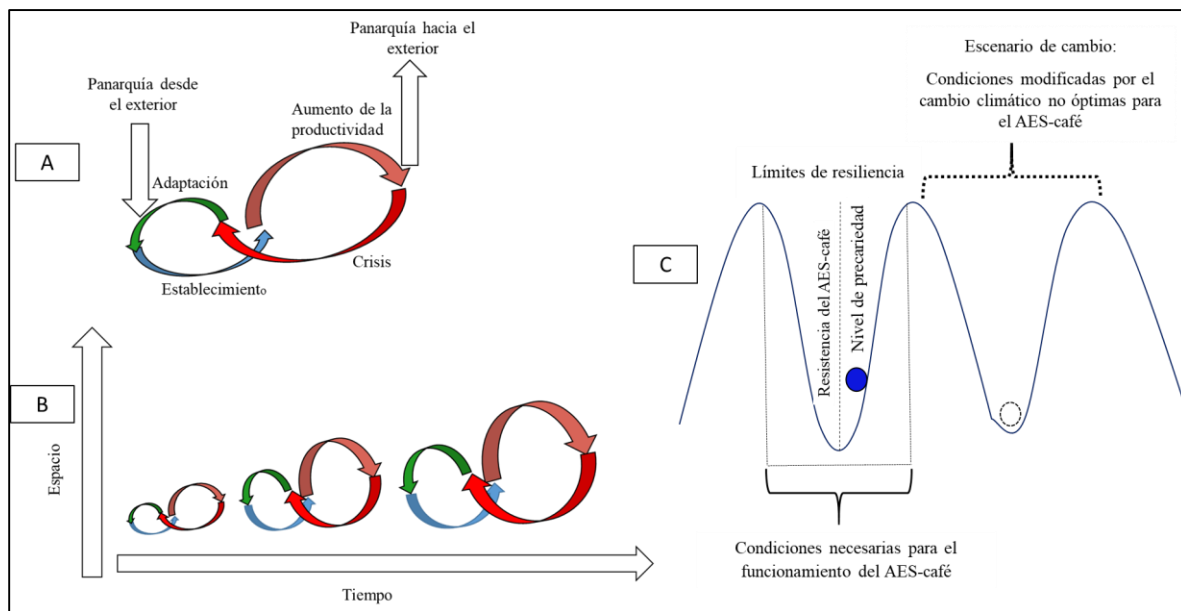


Figura 3. Representación de la dinámica del agroecosistemas y la resiliencia como un sistema socio-ecológico cíclico. (A) conectado a otros sistemas y con cuatro fases. (B) aumenta su dimensión con el paso del tiempo. (C) presenta resistencia, un nivel de precariedad y límites dentro de los cuales es posible expresar resiliencia. Modificado de Walker *et al.*, 2004; Virapongse *et al.*, 2016.

5.2.1 Agroecosistemas biodiversos

La diversidad es una medida y un elemento de la variabilidad de los componentes de un sistema, de aquí su habilidad para estimular un funcionamiento sostenible (Gliessman, 2002). Generalmente, los agroecosistemas biodiversos suelen coincidir con los gestionados mediante prácticas de la agricultura ecológica y tradicional (Gliessman, 2002; Sans, 2007). La diversidad

del Agroecosistema, es el resultado de las formas en que están organizados e interactúan los diferentes componentes vivos (biodiversidad) e inertes del sistema (Cuadro 2). La diversidad manifestada por la complejidad de ciclos bioquímicos y la variedad de organismos vivientes es lo que hace posible la organización e interacción del sistema (Gliessman, 2002).

La prioridad principal en el manejo de un sistema como un todo es crear un Agroecosistema complejo y diverso. La diversificación conduce a cambios positivos en las condiciones abióticas y atrae poblaciones de artrópodos benéficos y otros animales. Se desarrollan cualidades emergentes que permiten al sistema funcionar de manera que se mantiene la fertilidad, la productividad y regula las poblaciones de plagas (Gliessman 2002; Sans, 2007).

Cuadro 2. Dimensiones de la diversidad ecológica en un ecosistema.

Dimensión	Descripción
Especies	Número de diferentes especies en el sistema.
Genética	Grado de variabilidad genética en el sistema
Vertical	Número de diferentes niveles horizontales y estratos en el sistema.
Horizontal	Patrones de distribución espacial de los organismos en el sistema.
Estructural	Número de localidades (nichos,
Funcional	La complejidad de interacciones, flujo de energía y reciclaje de material entre otros

Fuente: Gliessman (2002).

La pérdida de diversidad genética reduce las opciones de un ulterior desarrollo de cultivos y variedades animales que respondan a las enfermedades, a los cambios ambientales y a las preferencias de los consumidores. La reducción de las especies benéficas, como los polinizadores y especies que realizan control biológico, reduce la productividad agrícola en un tiempo en el que esta debe aumentar debido a la presión demográfica (Collette *et al.*, 2007).

La reducción en el uso de la biodiversidad agrícola está dirigida por fuertes presiones y demandas de las poblaciones rurales, urbanas y por el paradigma de la Revolución verde así como el desarrollo global y las fuerzas del mercado que favorecen la especialización y la intensificación. La biodiversidad agrícola se contempla como un término amplio que incluye todos los componentes (Cuadro 3) que son relevantes para la alimentación, la agricultura y aquellos componentes que constituyen a los Agroecosistemas (Gliessman, 2002).

Cuadro 3. Principales componentes de la biodiversidad agrícola.

Componentes de la biodiversidad agrícola	Contribución a la resiliencia
Diversidad agrícola	Positiva
Recursos genéticos animales	Positiva
Productos forestales no maderables	Positiva
Recursos acuáticos	Positiva
Huertos familiares.	Positiva

Fuente: Gliessman (2002).

5.2.2 La sostenibilidad agrícola

La palabra sostenibilidad, tiene bases en la ecología y es una versión del concepto “rendimiento sostenido” o la capacidad de cosechar a perpetuidad biomasa con la propiedad de renovarse así mismo o que su renovación no está en riesgo. El reto, en el siglo XXI es el desarrollar y establecer AES sostenibles bajo un contexto de un aumento de la población humana y la disminución de la capacidad de carga de los recursos naturales (Figura 1). Sin embargo, la agroecología provee el conocimiento y la metodología necesarias para alcanzar una agricultura en armonía con el ambiente, ser altamente productiva y económicamente rentable (Gliessman, 2002; Altieri, 2013; Sarandón y Flores, 2014).

Los agroecosistemas sustentables presentan en común diversos procesos como el aumento constante de la resistencia de su estructura multidimensional. Lo anterior, fomenta el desarrollo de capacidades importantes como la adaptación y la resiliencia que asegura su permanencia ante escenarios con presencia de perturbaciones (Walker y Carpenter, 2004; Folke, 2016). El manejo sustentable del AES, permite mantener el estado de precariedad en una trayectoria que aleja al agroecosistema del umbral de “cambio” (Figura 2). Lo anterior se traduce en la expresión permanente de resiliencia por parte del agroecosistema.

Existe evidencia sólida sobre los beneficios de las prácticas agrícolas diferenciadas sobre elementos clave de la sustentabilidad como: la conservación de la biodiversidad, calidad del suelo, fijación de carbono, conservación de humedad del suelo arable y eficiencia energética (Lin, 2011; Kremen y Miles, 2012). Además de los beneficios ambientales de los sistemas agro-diversificados, también existen beneficios en la conservación de la riqueza cultural. En países subdesarrollados y en desarrollo económico, estos sistemas están asociados con grupos autóctonos, lo que implica

conservar las prácticas de manejo como parte de su acervo cultural. Lo anterior resulta en el resguardo de una gama rica de conocimientos, habilidades y prácticas que son producto acumulado de una experiencia secular desarrollada bajo una concepción particular de la relación entre la naturaleza y el hombre (Bolfil, 2019).

5.2.3 Agricultura campesina

De acuerdo con Ecos (1997), en el contexto Latinoamericano existen en la práctica dos tipos de producción de alimentos predominantes; la agricultura empresarial y la agricultura campesina o tradicional. Las características del desarrollo de estos dos tipos de agricultura, presentan diferencias contrastantes que se traducen en patrones socioeconómicos y de manejo diferentes (Cuadro 4).

Existen definiciones distintas de la agricultura campesina que en muchos casos coincide con “la agricultura a pequeña escala”. Lo anterior, conlleva a diversas conceptualizaciones respecto a la medición de las características de este tipo de agricultura. Los campesinos, han desarrollado a lo largo de años de existencia, experiencias fundamentadas en “prueba y error” como estrategia de supervivencia. Las definiciones también sirven de guía para entender las necesidades y prioridades de los pequeños productores. Así pues, un debate sobre las definiciones no es ni trivial ni teórico, sino que tiene una incidencia real en las políticas y repercusiones en los medios de vida (Ecos, 1997).

Los campesinos han desarrollado conocimiento con base en “prueba y error” una estrategia de supervivencia que les ha permitido permanecer en la actividad agropecuaria complementada por otro tipo de actividades. Los sistemas de producción y comercialización de la agricultura campesina están fundamentados en los policultivos y cría de animales menores teniendo como objeto primordial la siembra de maíz como alimento básico para la familia. La tecnología que se utiliza es la tradicional que demanda baja inversión y el capital de trabajo es básicamente “la remuneración no monetaria” dependiente de la mano de obra familiar (Ecos, 1997). La agricultura a pequeña escala es practicada por familias, en las que se incluyen uno o más hogares, que utilizan únicamente o en su mayor parte mano de obra familiar y que obtienen de ese trabajo una parte considerable, pero variable, de sus ingresos, ya sea en especie o en dinero. La agricultura comprende el cultivo, la cría de animales, la actividad forestal y la pesca artesanal. Las fincas son

explotadas por grupos familiares, que están encabezados en una gran proporción por mujeres. Estas desempeñan un importante papel en las actividades de producción, elaboración y comercialización.

Cuadro 4. Principales diferencias entre la agricultura empresarial y campesina.

Agricultura empresarial	Agricultura campesina
Maximiza tasa de ganancia	Producción enfocada a asegurar la supervivencia de la familia.
Altos rendimientos y calidad para competir en el mercado.	Bajos rendimientos del riesgo y de los costos cubiertos en dinero.
Trabajo asalariado.	Mano de obra familiar.
Monocultivo o poca diversificación.	Pluricultivo y cría de animales domésticos.
Producción a gran escala	Pequeña escala.
Tecnología moderna.	Tecnología tradicional.
Producción orientada al mercado nacional o internacional.	Comercialización de pequeños excedentes.
Recurso suelo y agua abundante y de buena calidad.	Comercialización en mercados locales.
Acceso a crédito agrícola y asistencia técnica.	Tierra y agua escasas.
Fácil acceso a servicios públicos.	No son sujetos de créditos.
	Nulo acceso a asistencia técnica.

Fuente: Ecos (1997).

La definición de agricultura a pequeña escala no puede ser rígida ni aplicable a todo el mundo. Existen variaciones en cada contexto específico en el plano regional, nacional y local, así como también a lo largo del tiempo a medida que las economías se transforman. Las clasificaciones de la agricultura a pequeña escala basadas únicamente en el tamaño de la explotación podrían inducir a error. Una pequeña explotación es pequeña porque sus recursos son escasos y, por lo tanto, resulta difícil aprovecharla para generar un nivel de ingresos que cubra las necesidades básicas y permita lograr medios de vida sostenibles (FAO, 2013).

En México, además de existir la producción campesina para autoconsumo, también se encuentran presentes los huertos familiares o solares que son agroecosistemas tradicionales que forman parte del área de residencia de las familias campesinas (Chávez 2007; Torres, 2010), poseen una gran diversidad de especies vegetales y animales que proveen productos para satisfacer las diferentes necesidades de las familias campesinas. Del mismo modo los huertos familiares son agroecosistemas con raíces tradicionales donde habita, produce y se reproduce la familia campesina y está integrado por árboles, cultivos y animales que se encuentran en espacios

comúnmente pequeños y que están ubicados en las cercanías de las viviendas (Chávez, 2007; Lerner, 2008; Torres, 2010).

En términos generales los huertos familiares tienen una distribución amplia principalmente en la regiones tropicales y subtropicales donde la diversidad de plantas es muy alta y cuya función primordial es la de proveer alimentos a la familia. Estos sistemas de producción son comunes y practicados en las comunidades de zonas rurales con base a tradiciones y costumbres (Lerner *et al.*, 2003).

5.2.4 Agricultura empresarial

De acuerdo con Duch (1998), los productores empresariales se tipifican en cuatro categorías; en función del número de jornales contratados al año por parte de las unidades de producción. El primero de ellos se denomina agricultores transicionales y corresponde a las unidades de producción que alcanzan a contratar más de 25 jornales al año, sin pasar de 500. El siguiente tipo es el que corresponde a los empresarios agrícolas pequeños a los que se les ubica entre más de 500 y 1200 jornales contratados al año. El tercer tipo, los empresarios agrícolas medianos que son quienes contratan entre 1200 y 2500 jornales por año. Finalmente, quienes rebasan los 2500 jornales contratados al año son considerados del cuarto tipo a los que se les identifica como empresarios agrícolas grandes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Categorías de productores empresariales según la cantidad de jornales anuales.

Categoría	Jornal/año	Tipo de productor
V	>25-500	Agricultor transicional
VI	>500-1200	Empresario agrícola pequeño
VII	>1200-2500	Empresario agrícola mediano
VIII	>2500	Empresario agrícola grande

Fuente: Duch (1998).

5.3 Biología del café

El café (*Coffea arabica* L.) forma parte del subreino de las plantas angiospermas o plantas con flores con su respectiva reproducción por semillas. El café pertenece a la familia Rubiaceae en la que se agrupan 500 géneros y cerca de 6000 especies. El café, es una planta perenne, y usualmente su ciclo de vida es de entre 10 y 15 años en donde la producción de frutos va decreciendo conforme

la edad de la planta avanza. Usualmente, la planta está integrada por un tronco principal con ramas primarias, secundarias y terciarias. La disposición de las hojas es opuesta y en pares, con un arreglo cruzado respecto al siguiente par de hojas. Las hojas nuevas aparecen con brillo, onduladas y en color verde oscuro con nervios conspicuos. En la parte axilar de cada hoja existen entre 4 a 6 brotes en donde uno sobresale del resto. Las ramas laterales crecen casi en ángulo recto respecto a los tallos principales. Ningún otro brote en la misma axila puede crecer en una rama lateral, lo que significa que si tal rama se corta, no puede producirse una regeneración lateral en el nodo de un vástago vertical principal (Prabhakaran, 2010; Lim, 2013).

Las ramas primarias o secundarias pueden desarrollar una inflorescencia con flores blancas condensadas cimosas. Las raíces son pocas profundas con una raíz principal con pequeñas raíces fibrosas laterales. Las horas de iluminación necesarias para la floración se encuentran entre 8 y 11 horas diarias. La polinización se realiza después de las primeras seis horas de la floración con una fertilización completa entre las 24 y 48 horas después de la polinización para formar una cereza entre 10 y 15 mm de largo con dos semillas en su interior (Prabhakaran, 2010; Lim, 2013).

5.4 Breve historia del Café

El centro de origen de la especie *C. arabica* es la región de Abisinia en las montañas del sur oeste de Etiopía, aunque también ha sido reportado en la meseta Boma en Sudán y el Monte Marsabit, Kenia (Prabhakaran, 2010; Lim, 2013). Originalmente, el café fue utilizado como remedio para aliviar el dolor, la fatiga y el hambre mediante el masticado de sus hojas y frutos, y su consumo en forma de infusión inició entre el siglo XIV y XVI en Arabia. Posteriormente, en el siglo XVII llegó a Europa vía Turquía (Prabhakaran, 2010; Lim, 2013) y después se desplazó a América estableciéndose en la Guyana Francesa (1715) vía Amsterdam y París (Prabhakaran, 2010; Lim, 2013). En 1790, el español Don Juan Antonio Gómez de Guevara importó cafetos de Cuba y los plantó en el municipio de Córdoba Veracruz de donde se extendió a otros estados de México y Centroamérica (Zamarripa y Escamilla, 2002).

5.5 La dimensión socio-económica del agroecosistema café

La importancia mundial del café radica en su producción debido a que esta se cultiva en 80 países, de los cuáles, el 62 % de ellos lo exportan. Por su valor comercial, el café es uno de los principales productos agrícolas (*commodity*), produciendo ingresos anuales superiores a los 15 mil millones

de dólares para los países exportadores y ofreciendo empleos directos e indirectos a aproximadamente 20 millones que se integran a lo largo de toda la cadena de productiva o de valor. Además del café convencional, México ha destacado como el mayor productor de café orgánico en el mundo y de otros cafés certificados. El manejo orgánico del café redonda en la protección y la conservación del ambiente además de fomentar la asociación de pequeños productores o de comunidades indígenas en áreas marginadas (Zamarripa y Escamilla, 2002; Leyva, 2010; Prabhakaran, 2010; Lim, 2013).

En México, el café se cultiva en las regiones tropicales dentro de los estados de Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz en donde el 50 % de la población de los 10 principales municipios productores de café vive en condición de pobreza (Zamarripa y Escamilla, 2002; Leyva, 2010; CONEVAL, 2015). El 97.9 % de los productores posee predios de tamaño menor a 1.5 ha y en donde hasta el ciclo 2014-2015 se obtuvo una producción de café cereza de 1.04 millones de toneladas. Más del 80 % del café se exporta y en la producción en campo participan aproximadamente 280 mil productores que son constituidos mayormente por minifundistas e indígenas (CEDRSSA, 2014). En la cosecha 2014-2015, la producción de café ascendió a 3.591 millones de sacos de 60 kilos y para la cosecha 2015-2016 el volumen producido fue de 3.900 unidades (Canet *et al.*, 2016).

Después de 1989, cuando se liberó el precio internacional del café, los productores a manera de adaptación establecieron diversas prácticas productivas que tuvieron como resultado dos esquemas de producción: uno especializado y otro diversificado (Ejea, 2009). La característica de las estrategias desarrolladas ubica a los productores en posiciones distintas respecto a un contexto de comercialización en donde abundan los oligopolios y existe una tendencia a la segmentación con influencia significativa de nuevos patrones de consumo (Ejea, 2009).

Es probable, que la tendencia decreciente en la producción nacional de café se explique principalmente por la reducción sostenida en la productividad de los cafetales durante los últimos 35 años, así como por la reducción en la superficie cosechada entre 2008-2009. Entre 1994-1995 y 2014-2015, el rendimiento promedio de café cereza en México se redujo a una tasa promedio anual de 2.1 % mientras que la superficie cosechada decreció a una tasa de 0.3 % (CEDRSSA, 2014). Aunado a lo anterior, en los últimos 9 años, la roya del cafeto ha sido un factor

preponderante en la reducción de la producción debido a que ataca a la especie *C. arabica* y, el 95 % de la superficie cafetalera en México está cultivada con dicha especie (CEDRSSA, 2014).

5.6 Teorías sobre el Cambio climático: definición y enfoques

5.6.1 Teoría sobre el cambio climático originado por rayos cósmicos

La teoría del cambio climático como resultado de los rayos cósmicos se sustenta en trabajos de Jeffreys (2002) y Kirkby (2008). Los rayos cósmicos consisten en dos tipos de radiación de alta energía: 1) rayos cósmicos galácticos (partículas de alta energía que se originan fuera del sistema solar), y 2) partículas de alta energía (en su mayoría protones) emitidas por el sol durante los eventos de disminución de manchas solares. Los protones de alta energía que pasan a través de la atmósfera causan ionización y producen núcleos para la condensación de gotas de agua. La condensación tiende a ocurrir fácilmente en la atmósfera porque a menudo está saturada con vapor de agua. Las nubes reflejan la radiación solar entrante, lo que resulta en el enfriamiento de la atmósfera (Figura 4).

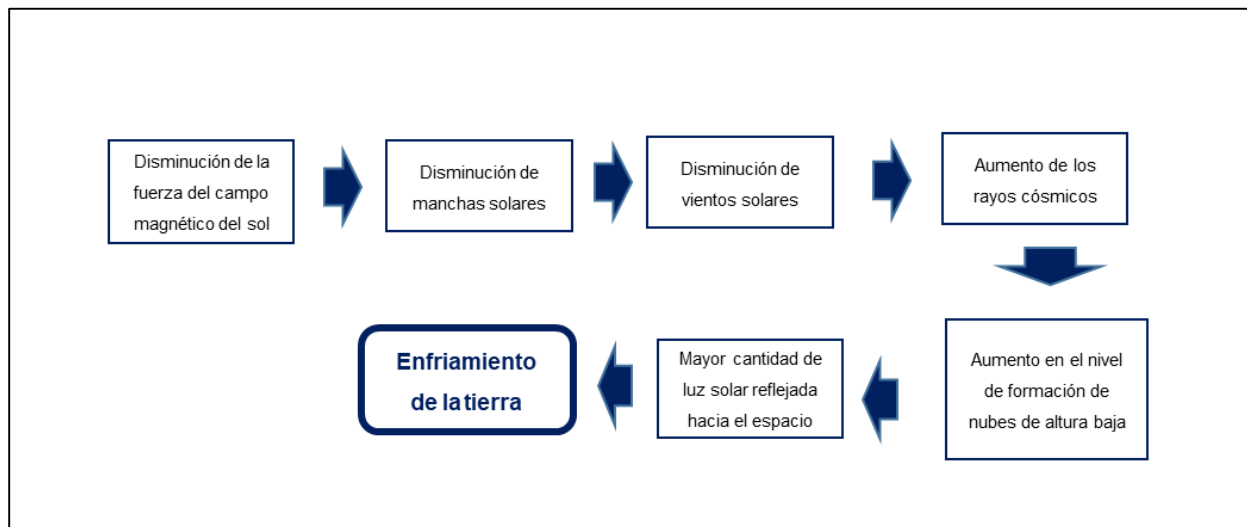


Figura 4. Proceso de enfriamiento global como causa de la actividad solar y los rayos cósmicos. Fuente: Jeffreys, 2002; Kirkby, 2008; Aleo, 2016; Easterbrook, 2016; Zhai, 2017; Barghawa y Singh, 2019; Yang, 2019.

Las nubes representan aproximadamente 28 Wm^{-2} de refrigeración global, por lo que incluso pequeños cambios en la cobertura de la nube pueden tener un efecto significativo en el clima. Las nubes en capas de baja altitud que cubren grandes áreas son más efectivas para reflejar la radiación solar entrante y hacen la mayor contribución al enfriamiento atmosférico. Las nubes producidas

por rayos cósmicos pueden proporcionar la clave para comprender el clima global. Este mecanismo explica la sincronidad observada de los cambios climáticos globales, las reversiones bruscas del clima y los cambios climáticos en todas las escalas temporales. Por tanto, los rayos cósmicos generadores de nubes proporcionan una explicación satisfactoria para los cambios climáticos a largo plazo y a corto plazo. Como se mencionó anteriormente, los rayos cósmicos producen isótopos de radiocarbono y berilio 10 en la atmósfera superior en cantidades proporcionales a la incidencia de la radiación entrante (Aleo, 2016; Easterbrook, 2016; Jin *et al.*, 2019).

5.6.2 El cambio climático como calentamiento global antrópico

Para el presente trabajo, el cambio climático se define con base al IPCC (2015) y es una variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades que existe durante largos periodos de tiempo generalmente decenios o periodos más largos. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se definió al cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2015).

A partir de la revolución industrial, en el siglo XVIII, las actividades humanas relacionadas a la industria, el transporte y el sector energético han contribuido dramáticamente a incrementar la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera lo que ha conllevado a un efecto invernadero acelerado. El calentamiento global denota el aumento gradual, observado o proyectado de la temperatura global en superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropógenas (Isasa y Campos, 2007; IPCC, 2015).

La tierra recibe radiación electromagnética proveniente del sol con una fuerte presencia de radiación visible complementada con contribuciones del infrarrojo y de ultravioleta, como la longitud de onda de la energía incidente es muy corta, parte de ella pasa a través de la atmósfera y alcanza la superficie de la tierra, la cual absorbe la energía solar y la remite a la atmósfera como radiación infrarroja (esta se conoce como radiación térmica o calor). Una parte de la radiación sale hacia el espacio y otra parte es absorbida por ciertos gases que están presentes en la atmósfera (gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, metano y agua, entre otros). Los gases

invernadero emiten de nuevo la energía hacia la superficie de la tierra y de esta forma se genera un proceso de calentamiento denominado efecto invernadero (Claussen, 2001; Smith *et al.*, 2003; Luo y Zhou, 2006; Dessler, 2012).

Es probable, que más de la mitad de las observaciones incrementadas en el promedio global de temperatura superficial de 1951 a 2010, la afectación al ciclo hidrológico global, el aumento del nivel de los océanos y la pérdida de hielo marino en el Ártico, fue causada por el incremento en las emisiones de gases en las actividades del ser humano. Sobre cada región continental del planeta tierra, el forzamiento humano probablemente haya hecho una contribución significativa en los incrementos de la temperatura superficial desde mediados del siglo XX (IPCC, 2015).

5.6.3 Escenarios del cambio climático

Los escenarios de cambio climático son una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirve a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos (IPCC, 2015; INECC, 2017).

Un ‘escenario de cambio climático’ es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual. Estos escenarios no son pronósticos climáticos, ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima en el futuro. Una proyección puede servir como material fuente para un escenario, pero los escenarios en general requieren de información adicional. Por ejemplo, condiciones económicas que permiten el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2015; INECC, 2017).

El propósito de los escenarios es confrontar a los tomadores de decisiones con las posibles condiciones futuras para que ellos puedan analizar la disponibilidad y utilidad de opciones para enfrentar el futuro desconocido. Los escenarios permiten implementar medidas en el presente para evitar un futuro no deseado. En la investigación del clima, los escenarios han sido utilizados desde finales de la década de los 80s (IPCC, 2015; INECC, 2017).

5.6.4 Escenarios de emisiones

Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) dependen principalmente del tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática (IPCC, 2015). Un número de escenarios de emisiones han sido publicados como el IPCC *Special Report on Emissions Scenarios* (Cuadro 6) desarrollado por economistas e investigadores de ciencia social para el tercer reporte de evaluación del IPCC (IPCC, 2015).

Cuadro 6. Supuestos teóricos de los escenarios publicados por el IPCC en el tercer informe de evaluación 2007.

Escenarios	Descripción
A1	Un rápido crecimiento económico y rápida introducción de nueva y tecnología más eficiente.
A2	Un mundo socialmente heterogéneo con énfasis en valores familiares y tradiciones locales.
B1	Un mundo con desmaterialización e introducción de tecnologías limpias.
B2	Un mundo con énfasis en las soluciones locales para la sostenibilidad económica y ambiental.

Fuente: IPCC (2015).

Las trayectorias de concentración representativas (RCP) utilizadas para hacer proyecciones en esos factores, describen cuatro trayectorias distintas en el siglo XXI de las emisiones y las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso del suelo. Dichas trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP 2.6), dos escenarios intermedios (RCP 4.5 y RCP 6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP 8.5) (IPCC, 2015).

El cambio en la temperatura media global en superficie para el periodo 2016-2035 en relación con el periodo 1986-2005 es similar para los cuatro escenarios de RCP y es probable que vaya a estar en el rango de 0.3 a 0.7 °C (nivel de confianza medio), siempre que no ocurran grandes erupciones volcánicas, cambios en emisiones naturales de óxido nítrico o metano, ni cambios imprevistos en la irradiación solar total (IPCC, 2015). Con relación a los cambios de temperatura del final del siglo XXI, estos se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Aumento de la temperatura media global en superficie al final del siglo XXI (2081-2100).

Escenario	Aumento de la temperatura (°C)
RCP 2.6	0.3 – 1.7
RCP 4.5	1.1 – 2.6
RCP 6.0	1.4 – 3.1
RCP 8.5	2.6 – 4.8

Fuente: IPCC (2015).

5.6.5 Principales actividades humanas emisoras de gases de efecto invernadero (GEI)

Aproximadamente, la mitad del CO₂ acumulado entre 1711 y 2011 ha ocurrido en los últimos 40 años. Un 40 % de del CO₂ antropogénico se ha mantenido en la atmosfera (880 ±35 Gt CO₂) desde 1750, el resto ha sido removido de la atmosfera mediante lavado y almacenado en los reservorios naturales de carbón. Las emisiones de GEI antropogénicas han continuado incrementándose desde 1970 a 2010 (Figura 5).

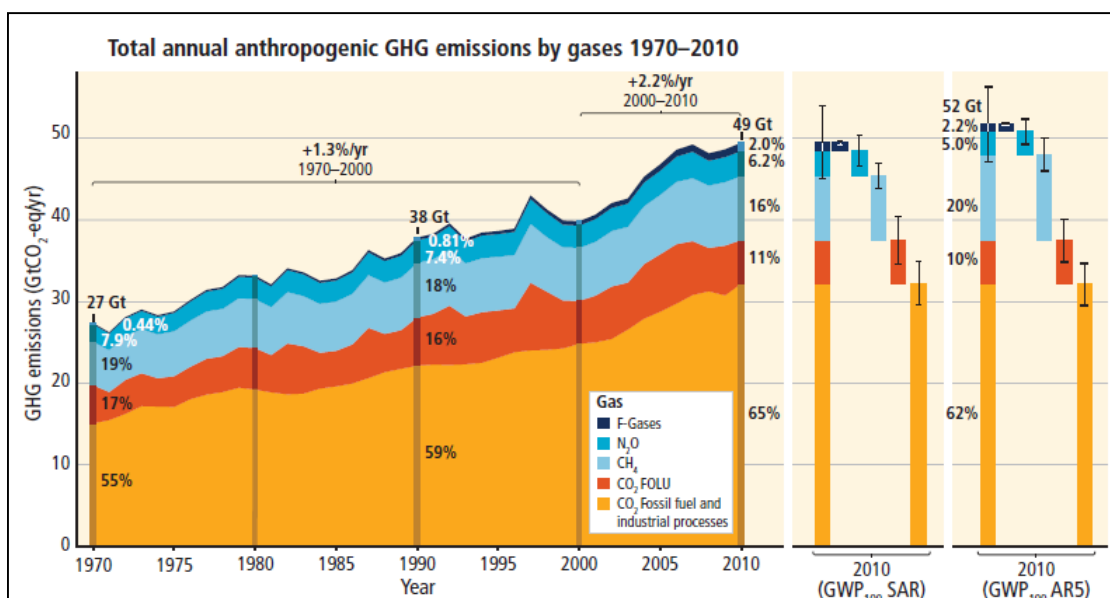


Figura 5. Emisión anual total de gases de efecto invernadero en el periodo 1970-2010 (IPCC, 2015).

El CO₂ emitido por la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales, contribuyen cerca del 78 % del total de emisiones de gases de efecto invernadero incrementados en el periodo de 1978 a 2010 con una contribución de porcentaje similar en el periodo de 2000-2010 (IPCC, 2015). Según el INECC (2017), los países desarrollados son los principales emisores de GEI en

particular, los Estados Unidos de América representan el 23.65% de las emisiones en el mundo. De acuerdo con las cifras reportadas por la IEA para el 2003, México ocupa el lugar 12vo. a nivel mundial en emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO₂ o el 1.5% de las emisiones globales (Cuadro 8).

Cuadro 8. Principales países con alta contribución en emisiones globales de GEI.

Lugar	País	Contribución de emisiones de GEI (%)
1	Estados Unidos	23.65
2	China	15.36%
3	Rusia	6.30%
4	Japón	4.96%
5	India	4.33%
6	Alemania	3.53%
7	Canadá	2.28%
8	Reino Unido	2.23%
9	Italia	1.87%
10	Corea del Sur	1.85%
11	Francia	1.61%
12	México	1.55%
13	República Islámica de Irán	1.44%
14	Australia	1.43%
15	Indonesia	1.31%

Fuente: IPCC (2015).

Las emisiones antropogénicas de GEI han incrementado cerca de 10 GtCO₂-eq entre 2000-2010. Este incremento, se debe directamente a los sectores: energético (47 %), industrial (30%), transporte (11 %) y construcción (3 %). Globalmente, el crecimiento económico y poblacional continuo es una de las principales causas del incremento de CO₂ de la combustión de combustibles fósiles. La contribución del crecimiento poblacional entre 2000 y 2010 se ha mantenido constante y no ha cambiado desde las tres décadas pasadas, mientras la contribución del crecimiento económico ha aumentado abruptamente (IPCC, 2015).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI de México, en 2002, las emisiones de GEI fueron de 643.2 millones de toneladas en CO₂ equivalente y registró un incremento del 30% comparado con el año 1990. Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO₂ en el 2002 e incremento (%) respecto a 1990 son: la industria generadora de energía, que pasó de un 39% a 46%; el sector transporte se mantuvo en un 28% (Figura 6).

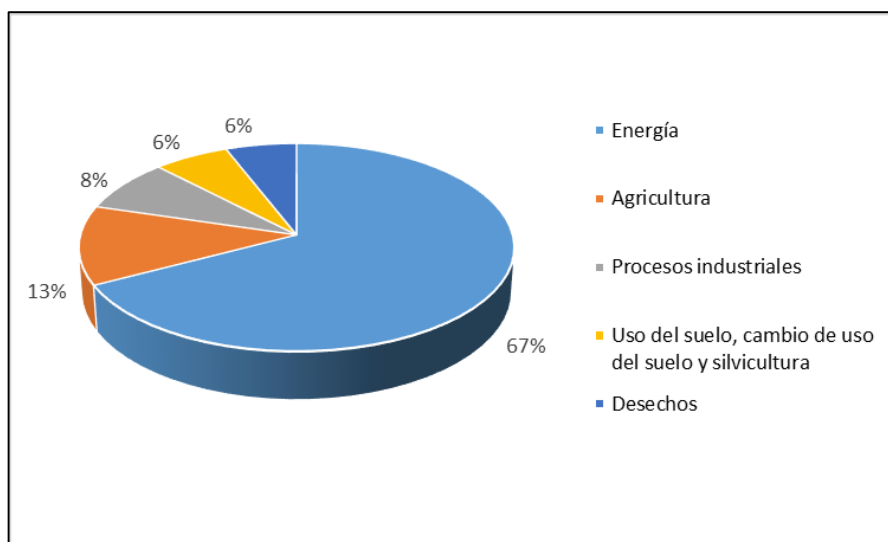


Figura 6. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en México. Fuente: IPCC (2015).

En menor medida, otras actividades como el consumo de combustibles fósiles en los sectores de manufactura e industria de la construcción y otros (residencial, comercial y agrícola), así como la producción de minerales y metales, contribuyen en conjunto con el 32% de las emisiones totales de CO₂ (INECC, 2017).

5.6.6 Políticas públicas en el tema de cambio climático

La Ley General de Cambio Climático (LGCC, 2012) de México define a la resiliencia como la capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático. En el Capítulo II sobre adaptación, el artículo 27 de la Ley, indica que la política nacional de adaptación frente al cambio climático se sustentará en instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación, y evaluación, con los objetivos de:

- I. Reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático;
- II. Fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos;
- III. Minimizar riesgos y daños considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático.

En el contexto de los Agroecosistemas, es importante mencionar que, a diferencia de otros países, México se caracteriza por la heterogeneidad que muestran las unidades de producción agrícola

expresadas a través de diversos rasgos y características diferentes respecto a las condiciones ambientales y sociales bajo las cuales se produce y en cuanto a los medios de producción de que disponen y su acceso real a los recursos productivos en general (Duch, 1998). Por lo anterior, es importante reconocer la diversidad de los sistemas de producción agrícola como producto de la diferenciación económica y social resultado del modelo agrícola nacional (Duch, 1998). Sin embargo, es necesario asegurar que las instituciones tengan claro que entre productores existen diferencias, por lo que se deberá fortalecer los medios a utilizar para que las acciones sean significativas en la reducción de la vulnerabilidad y en el fortalecimiento de la resiliencia y resistencia de los agroecosistemas.

El artículo 30 de la LGCC, promueve fortalecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas terrestres, playas, costas y zona federal marítima terrestre, humedales, manglares, arrecifes, ecosistemas marinos y dulceacuícolas, mediante acciones para la restauración de la integridad y la conectividad ecológica. El Artículo 101 promueve que en materia de adaptación la evaluación se realizará respecto a fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos.

México, ha iniciado el desarrollo de leyes que intentan a enfrentar los posibles escenarios generados por el cambio climático. Pero, es necesario que las acciones aborden a la resiliencia tomando en cuenta tres dimensiones: la primera se refiere a la resistencia como la habilidad del sistema de absorber, cambiar o resistir los impactos potenciales de desastres. La segunda dimensión denominada rapidez, se refiere a la trayectoria de recuperación y al tiempo con el que el sistema recupera su estado original previo al impacto. La tercera dimensión se refiere al incremento de la resiliencia mediante el aprendizaje o la adaptación (Masterson *et al.*, 2014).

Se debe resaltar que, ante los posibles escenarios del cambio climático, los agroecosistemas mexicanos presentan una serie de problemas económicos, sociales y ambientales lo que los hace vulnerables y pone en riesgo su potencial de resiliencia. Se debe disminuir las acciones que promuevan el asistencialismo de los productores y apostar por el desarrollo de capacidades que les permitan insertarse en los mercados competitivos, estrategias que les ofrezcan opciones de desarrollo humano, pero respetando su identidad cultural y conservando la base de los recursos naturales.

5.6.7 Vulnerabilidad ante el cambio climático

La vulnerabilidad es un concepto núcleo en el riesgo ante desastres en estudios de sobrevivencia y pobreza, seguridad alimentaria y cambio climático. Los enfoques del análisis de la vulnerabilidad difieren en el contexto y escala de análisis (Masterson *et al.*, 2014). Sin embargo, el punto de inicio es similar en como diversos grupos sociales o comunidades expuestas a impactos y estrés son potencialmente afectadas y como ellas difieren en términos de sensibilidad y capacidad de respuesta con énfasis en como las características espaciales, físicas y sociales influyen en la vulnerabilidad. En contraste a la adaptación comunitaria, investigadores sobre vulnerabilidad predominantemente se enfocan en la respuesta a amenazas o impactos (Masterson *et al.*, 2014).

La evaluación de la vulnerabilidad se ha realizado por décadas en un rango amplio de sectores de riesgo como terrorismo o especies en peligro de extinción. Actualmente, y ante el cambio climático evaluar la vulnerabilidad permitirá a los tomadores de decisiones implementar estrategias para minimizar el daño ocasionado por fenómenos extremos del clima. La vulnerabilidad se refiere al grado en que especies, hábitats o ecosistemas son susceptibles al daño causado por los impactos del cambio climático (Stein *et al.*, 2011).

El INECC (2014), define a la vulnerabilidad como el hecho de que los ciudadanos pueden ser sujetos de los efectos negativos del cambio climático, ya sea como individuos, como miembros de una comunidad, como ciudadanos de un país o como parte de la humanidad en general. El diccionario de la lengua española define a la vulnerabilidad como algo que puede ser herido o recibir lesión física o moralmente (Real Academia Española, 2016).

El IPCC (2015), define a la vulnerabilidad como el grado hasta el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluidas la variabilidad y los extremos del clima. La vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y la variación a la que un sistema está expuesto, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (Figura 7).

Desde una perspectiva social, la vulnerabilidad se define como un estado de elevada exposición a determinados riesgos e incertidumbres combinado con una capacidad disminuida para protegerse o defenderse de ellos y hacer frente a sus consecuencias negativas. En vulnerabilidad existe en

todos los niveles y dimensiones de la sociedad y es parte integrante de la condición humana por lo que afecta tanto a cada persona como a la sociedad en su totalidad (ONU, 2003).

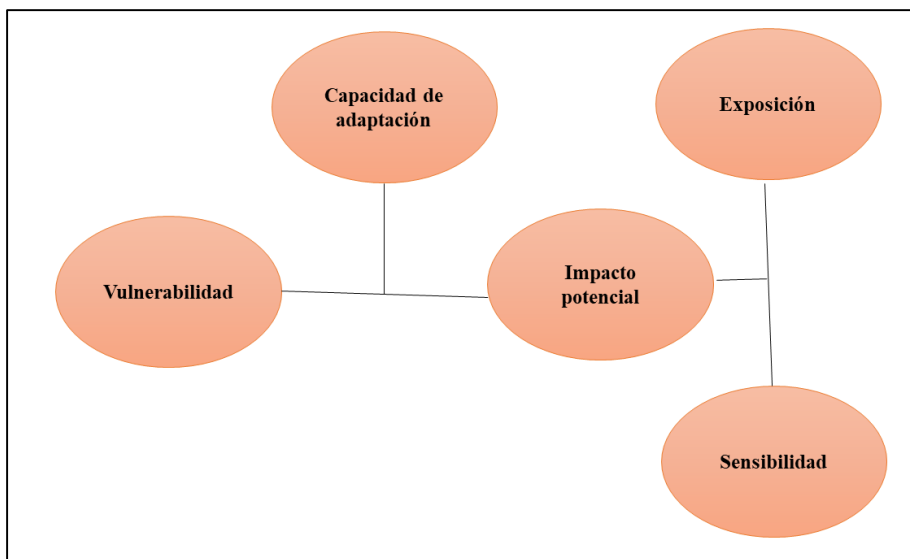


Figura 7. Elementos de análisis para determinar vulnerabilidad según el IPCC. Modificado de IPCC, 2015.

Vulnerabilidad:

- 1) Exposición, es el tipo y grado en que un sistema está expuesto a variaciones climáticas importantes. Permite cuantificar el nivel de cambio en el clima y los problemas que una especie o ecosistema pueden experimentar.
- 2) Sensibilidad, expresa el grado probable de un sistema para ser afectado o responder a los cambios del clima. La sensibilidad puede depender del grado nato psicológico y biológico.
- 3) Capacidad de adaptación, se refiere a la habilidad de un sistema, para acoplarse o hacer frente a los impactos del cambio climático con mínima disrupción (Stein *et al.*, 2011).

5.7 Literatura citada

- Aleo J.D. 2016. Solar change and the climate. Evidence based climate science. Segunda edición. Elsevier. Pp 263-281.
- Altieri A. M. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. Agroecología 8: 7-20.
- Altieri A. M., and P. Koohafkan. 2008. Enduring farms: Climate change, smallholders and traditional farming communities. Third World Network. Penang Malasya. 58 p.

- Barghawa A. and A.K. Singh. 2019. Solar irradiance, climatic indicators and climate change: An empirical analysis. *Advances in space research* 64: 271-274.
- Buchmann M. 2015. Emergent properties. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* 7: 433-437.
- Bonfil B. G. 2019. La agricultura mesoamericana. *Arqueología Mexicana* 84: 8-18.
- Canet B. G., C. Soto V., P. Ocampo T., J. Rivera R., A. Navarro H., G. M. Guatemala M., y S. Villanueva R. 2016. La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe. IICA, San José Costa Rica. Pp 15-32.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). 2014. Producción y mercado de café en el mundo y México. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/39Reporte_Producci%C3%B3n_y_mercado_de_caf%C3%A9_-_Cedrssa_2014.pdf (consultado el 03 de febrero de 2019).
- Chávez G. E. 2007. Desarrollo y vida rural. Estudio de caso del huerto familiar en la región del Plan Chontalpa, Tabasco, México. Tesina de Maestría Agroecología, sociología y desarrollo rural sostenible. Universidad Internacional de Andalucía. España. Pp 15-19.
- Claussen E., 2001. Climate change: science, strategies and solutions. The Pew Center on Global Climate Change. Boston, United States of America. Pp 1-43.
- Collette L., Jimenez, J. and Azzu N. 2007. La biodiversidad agrícola, contexto internacional, definición y servicios ecológicos ejemplos de América Central. Servicio de semillas y recursos fitogenéticos AGPS-FAO. 26 p.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2015. http://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Documents/Comunicado005_Medicion_pobreza_2014.pdf (consultado el 15 octubre de 2018).
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2013. Datos abiertos del índice de marginación. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion. (consultado el 15 octubre de 2018).
- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI). 2013. Atlas de los pueblos indígenas de México. <http://www.cdi.gob.mx/atlas/>. (consultado el 15 octubre de 2018).
- Conway R. G. 1987. The properties of Agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- Cumming G.S. 2014. Theoretical framework for the analysis of social-ecological systems. *In*: Sakai and Umetsu (Eds). *Social-ecological systems in transition*. Springer, Japan. Pp 3-24.
- Dessler A. 2012. Introduction to modern climate change. Cambridge University press, New York. Pp 1-16.
- Dekkers R. 2015. Applied system theory. Springer, New York United States. Pp 15-37.
- Duch G. J. 1998. Tipologías empíricas de productores agrícolas y tipos ideales en el estudio de la agricultura regional. *Revista de Geografía Agrícola* 27: 27-38.

- Easterbrook D.J. 2016. Cause of Global Climate Changes: Correlation of Global Temperature, Sunspots, Solar Irradiance, Cosmic Rays, and Radiocarbon and Beryllium Production Rate Evidence based climate science. Segunda edición. Elsevier. Pp 245-261.
- Ecos G. T. B. 1997. La agricultura empresarial campesina y el combate a la pobreza rural andina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima Perú. 22 p.
- Ejea M. M.T. 2009. Café y cultura productiva en una región de Veracruz. Nueva antropología 22: 33-56.
- Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama agrolimentario: café 2015. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61949/Panorama_Agroalimentario_Caf_2015.pdf. (consultado el 15 octubre de 2018).
- Folke C. 2016. Resilience. Ecology and Society 21: 44.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2013_SmallholderAgriculture_Summary_ES.pdf. (consultado el 28 abril de 2018)
- Gliessman R. S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Pp 3-17.
- Harper J. L. 1974. Agricultural ecosystems. Agro-Ecosystems 1: 1-6.
- Hart D. R. 1979. Agroecosistemas: conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 201 p.
- Hernández N.J.F., S. Sharma T., K.A. Garret. 2014. Climate change and disease. Encyclopedia of agricultura and food systems 2: 232-243.
- Hernández X., E. 1977. El Agroecosistema concepto central en el análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México. In: Hernández X. (ed) Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Segunda edición, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Pp 11-19.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. Los asentamientos humanos y el cambio climático global. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/aguilar.html>. (consultado el 15 octubre de 2018).
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2017. <http://www.sicc.amarellodev.com/escenarios-introduccion.php>. (consultado el 15 octubre de 2018).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Censo Agrícola, ganadero y Forestal 2007. http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/. (consultado el 15 octubre de 2018).

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2015: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *In*: R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.). IPCC. Ginebra, Suiza, 157 p.
- Isaza D. J.F., and D. Campos R. 2007. Cambio climático: glaciaciones y calentamiento global. Fundación Universidad de Bogotá. Bogotá Colombia. Pp 131-145.
- Jeffreys H. 2002. Solar variability and climate change: is there a link? *Astronomy & Geophysics Journal* 43: 509-513.
- Jin Y.H., C. Gyunt P., R. Soon K., K. Suk J., and J. Jeon. 2019. Solar activities and climate change during last millennium recorded in Korean chronicles. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 186: 139-146.
- Kirkby J. 2008. Cosmic ray and climate. *Surveys in geophysics* 28: 333-375.
- Kremen C. and A. Miles. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society* 17: 40. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05035-170440>.
- Lazlo A., and S. Krippner. 1998. Systems theories: their origins, foundations and development. *In*: J.S. Jordan (Eds.). *Systems Theories and A Priori Aspects of Perception*. Amsterdam: Elsevier Science. pp 47-74.
- Lerner M. T., Ceroni, S. A. y González, R. C.E. 2003. Etnobotánica de la comunidad campesina —Santa Catalina de Chongoyapel en el bosque seco del área de conservación privada Chaparrí- Lambayeque. *Ecología Aplicada* 2:14-20.
- Lerner M. T. 2008. Importancia del huerto familiar Ch'ol en la economía campesina, el caso de Suclumpá, Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. Tesis de Maestría. Pp: 9-20.
- Lescourret F. D. Le Magda, G. Richard, A. Francoise, A. Blondon, M. Bardy, J. Baudry, I. Doussan, B. Dumont, F. Lefevre, I. Litrico, R. Martin-Clouaire, B. Montuelle, S. Pellerin, M. Plantegenest, E. Tancoigne, A. Thomas, H. Guyomard, and J. F. Soussana. 2015. A social-ecological approach to managing multiple agroecosystems services. *Environmental sustainability* 14: 68-75.
- Ley General de Cambio Climático (LGCC). 2012. <https://unfccc.int/default/files>. Revisada 04 de Enero 2019.
- Leyva M. G. 2010. Principales enfermedades del café (*Coffea arabica*). *Agroproductividad* 2: 3-15.
- Lim T.K. *Edible, medicinal and non-medicinal plants*. Springer, Netherlands. Pp 614-679.
- Lin B. B. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *Bioscience* 61: 183-193.

- Luo Y., and X. Zhou. 2006. Soil respiration and the environment. Elsevier. United States of America. Pp 18-55.
- Magrin G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *In*: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
- Maguire B., and P. Hagan. 2007. Disasters and Communities: Understanding Social Resilience.” *Australian Journal of Emergency Management* 22: 16–20.
- Maldonado C.E., N.A. Gómez C. 2010. El mundo de las ciencias de la complejidad un estado del arte, una investigación sobre que son, su desarrollo y sus posibilidades. Universidad del Rosario. Colombia. 134p.
- Márquez R.W. and Márquez R.J. 2009. Municipios con mayor biodiversidad en Veracruz. *Foresta Veracruzana* 11: 43-50.
- Marten G. G. 1987. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. *Agricultural Systems* 26: 291-316.
- Martínez D. J. P., y A. Pérez V. 1999. El concepto de Agroecosistema: Un enfoque cibernético. Documento presentado en dentro del ciclo de seminarios Otoño 1999. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Documento para discusión en la especialidad en Agroecosistemas Tropicales. Mimeografiado. Tepetates, Veracruz. pp 1-16.
- Maturana H. R., Varela, F. J. 1973. *Autopoiesis and Cognition – The Realization of living*. Springer. 146 p.
- Mason R.H., V. Hernández O., S. Gallina, y K. Mehltreter. 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México.
- Maass M. M., J.A. de María C., P. Almaguer C., L. González M., M. Meza C. 2012. Socio-cibernética y sociedad. Centro de investigaciones interdisciplinarias en ciencias sociales y humanidad. Ciudad de México, México. Pp 23-57.
- Masterson J.H., Peacock, W.G., Zandt S.S.V., Grover H., Schwarz L.F., Cooper, JTC., 2014. *Planning for community resilience: a handbook for reducing vulnerability to disasters*. Washington, D.C.: Island Press. Pp 1-58.
- Mitchell M. 2009. *Complexity: a guide tour*. New York: Oxford University press. Pp 3-94.
- Muller F., S. Nielsen N. 2008. Emergent properties. *Systems ecology* 1: 591-597.
- Organización de las Naciones Unidas. 2003. Informe sobre la situación social en el mundo; reducir la vulnerabilidad. Nueva York. Pp 1-15.

- Prabhakaran N.K.P. 2010. The agronomy and economy of important tree crops of the developing world. Elsevier insights. Pp 181-208
- Pérez V. A. 1998. El concepto de Agroecosistema: definiciones y enfoques. Notas para el curso de Introducción a los Agroecosistemas tropicales. Colegio de Postgraduados campus Veracruz. 11 p. Notas de curso.
- Real Academia Española. 2016. Diccionario de la lengua Española. <https://dle.rae.es/?id=DgIqVCc>. (Consultado 16 de febrero de 2016).
- Ruíz-Rosado O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. En: Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Lopez B., O., S.I. Ramirez G., M. Ramirez G. G. Moreno B., y A.E. Alvarado G. (eds.). Universidad Autonoma de Chiapas y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. México. pp 27-33.
- Sans F.X. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. Ecosistemas 16: 44-49.
- Sarandón S.J., y C.C. Flores.2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. Pp 13-70.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2017. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. (Consultado: 15 de octubre de 2018).
- Smith B.J., R.J.T. Klein., and S. Huq. 2003. Climate change adaptative capacity and development. Imperial College press. London England. Pp 1-29.
- Stein B., P. Glick, and J. Hoffman. 2011. Vulnerability assessment basics. In: Glick P., B.A. Stein, and N.A. Edelson. National Wildlife Federation. Washington D.C. 19-39.
- Sousa K., M. Van Z., M. Holmgren, R. Kindt and J. C. Ordoñez. 2019. The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. Scientific reports 9: 8828.
- Torres R. N. N. 2010. El solar: sitio de conservación de Germoplasma y Biodiversidad, en tres localidades del municipio de Cárdenas, Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Cárdenas, Tabasco. 110 p.
- Unidad de Informática para las ciencias atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS). 2016. Atlas climático digital de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>. (Consultado: 08 de noviembre de 2016).
- Virapongse A., S. Brooks, E. Covelli M., M. Zedalis, J. Gosz, A. Kliskey, and L. Alessa. 2016. A social-ecological system approach for environmental management. Journal of environmental management 178: 83-91.
- Walker B., C.S. Holling, S.R. Carpenter, A. Kinzing. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and society 9:5

- Yang H.J., C. Gyung P., R. Soon K., K. SUK C., J. Jeon. 2019. Solar activities and climate change during the last millennium recorded in Korean chronicles. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 186: 139-146
- Yúnez N.A. 2010. Las políticas públicas dirigidas al sector rural: el carácter de las reformas para el cambio estructural. In: Yúnez N.A. (ed) 2010. *Los grandes problemas de México: economía rural*. COLMEX, Ciudad de México. Pp: 23-62.
- Zamarripa Colmenero, A. y E. Escamilla Prado. 2002. Variedades de café en México: origen, características y perspectivas. Huatusco, CRUO-Universidad Autónoma Chapingo/Fundación Produce de Veracruz A. C. 39 p.
- Zhai Q. 2017. Evidence for the effect of sunspot activity on the El Niño/Southern Oscillation. *New astronomy* 52: 1-7.
- Zhu J., A. Mostafavi. 2016. Discovering complexity and emergent properties in project systems: a new approach to understanding project performance. *Project management* 35: 1-12.

CAPITULO I. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO SOBRE RESILIENCIA DE AGROECOSISTEMAS

Resumen

Los fenómenos como el cambio climático amenazan la viabilidad de los agroecosistemas, fuente principal de alimentos para la especie humana. Por ello, surge la necesidad de estudiar la resiliencia como una propiedad emergente que permite al agroecosistema recuperarse de un daño ocasionado por un agente externo. El objetivo fue determinar el carácter acumulativo y avances sobresalientes en el conocimiento de la resiliencia de agroecosistemas como bases del desarrollo de nuevas tendencias del tema. Se realizó una exhaustiva revisión de literatura en la base de datos *Web of science* considerando fecha de publicación, disciplinas y revistas científicas. La búsqueda se remontó al año 1993 al 2019. Se identificaron 184 publicaciones, siendo 2018 y 2019 los años con más artículos publicados. Las áreas con más publicaciones en resiliencia son ecología (71), agricultura (52) y ciencias ambientales (44). Respecto a la conectividad basada en el valor de centralidad intermedia, las áreas de mayor interrelación son principalmente: agricultura (0.45), ciencia y tecnología (0.28), ciencias ambientales (0.20) y ecología (0.12). La dinámica y estudio de la resiliencia integra dos etapas en el estudio de los agroecosistemas: la condición inmediatamente después del daño y el proceso de recuperación. El modelo conceptual que facilita su estudio está integrado por: la precariedad, latitud, resistencia y panarquía del agroecosistema. Por tanto, los indicadores para cuantificar la resiliencia en agroecosistemas son heterogéneos y multidimensionales. Se concluye que la resiliencia ha sido estudiada conceptualmente como una propiedad emergente desde el enfoque agroecológico, recientemente desde el enfoque de sistemas socioecológicos en donde es necesaria la interdisciplina como medio para resolver los problemas vigentes con la tendencia actual hacia el estudio de las interacciones de los elementos sociales y ambientales que integran el agroecosistema.

Palabras clave: vulnerabilidad, daño, regeneración, estructura

*Artículo enviado a la revista *Ecology & Society*.

Abstract

Phenomena such as climate change threaten the viability of agroecosystems, a source of food for the human species. Therefore, there is a need to study resilience as an emerging property that allows the agroecosystem to recover from damage caused by an external agent. The objective was to determine the cumulative nature and outstanding advances in the knowledge of the resilience of agroecosystems as the basis for the development of new trends in the subject. An exhaustive literature review was conducted in the Web of Science database considering publication date, disciplines and scientific journals. The search went back to 1993 to 2019. 184 publications were identified, with 2018 and 2019 being the years with the most articles published. The areas with the most resilience publications are ecology (71), agriculture (52) and environmental sciences (44). Regarding connectivity based on the value of intermediate centrality, the areas of greatest interrelation are mainly: agriculture (0.45), science and technology (0.28), environmental sciences (0.20) and ecology (0.12). The dynamics and study of resilience integrate two stages in the study of agroecosystems: the condition immediately after damage and the recovery process. The conceptual model that facilitates its study is integrated by the precariousness, latitude, resistance, and panarchy of the agroecosystem. Therefore, the indicators to quantify resilience in agroecosystems are heterogeneous and multidimensional. It is concluded that resilience has been conceptually studied as an emergent property from the agroecological approach, and recently from the socio-ecological systems approach where interdisciplinary action is necessary as a means to solve current problems with the current trend towards the study of interactions de The social and environmental elements that make up the agroecosystem.

Key words: Vulnerability, damage, regeneration, structure.

1.1 Introducción

El enfoque de sistemas, es un esquema teórico-metodológico que sirve como guía para la solución de problemas y concibe al mundo en términos de irreductibilidad integrada en sistemas (Lazlo and Krippner, 1998; Dekkers, 2015). La teoría enfoca al sistema como un conjunto de partes, con interrelaciones y con propiedades emergentes (Lazlo and Krippner, 1998). Para estudiar un sistema, es necesario elaborar un modelo, el cual puede ser una representación formal de la teoría o una explicación de la observación empírica. Para entender el propósito de cualquier sistema es necesario identificar las interrelaciones entre los elementos externos e internos, los cuales pueden ser objetos físicos o construcciones de la mente dependiendo de los objetivos del estudio (Lazlo y Krippner, 1998).

Desde la teoría y conceptualmente, los agroecosistemas como unidades de estudio, aparecen en discusiones académicas hasta los años 70's abordando la interrelación entre los sistemas agrícolas y el ser humano (Harper, 1974; Argueta *et al.*, 2015). Posteriormente, en los años 80's y 90's los estudios sobre agroecosistemas abordaron el diseño de estrategias para el manejo sostenible de los recursos naturales (Conway, 1978) y es a partir del año 2000, que se empieza a abordar la recurrencia del cambio climático y otras amenazas globales con la aplicación de enfoques integradores de modelaje y planeación, retomando principios pro-ambientalistas como agricultura ecológica, campesina e indígena (Gliessman, 2002; Casanova-Pérez *et al.*, 2015; Mebarki, 2017).

La comprensión de la producción de alimentos como sistemas socio-ecológicos, incorporando insumos de la resiliencia y la vulnerabilidad, pueden proporcionar los conceptos necesarios para comprender la compleja y dinámica red de las interacciones entre los componentes humanos y naturales (Berti *et al.*, 2017).

Desde la aparición del concepto agroecosistema, este ha sido abordado con criterios positivistas-deterministas (Maldonado and Gomez, 2011) y con una perspectiva lineal y simplificada. El enfoque reduccionista de investigación en los agroecosistemas desde su aparición como concepto fue prácticamente contrario a la naturaleza de fenómenos como el cambio climático que ponen en tela de juicio a la predictibilidad.

El agroecosistema se define como la representación de una red compleja de interacciones entre recursos naturales bióticos y abióticos, la tecnología, la economía y la cultura en conexión, donde

el conocimiento local y experiencias del productor y su contexto promueven mejoras constantes a través del aprendizaje y procesos de evolución que disminuyen la vulnerabilidad y aumentan la capacidad de resiliencia del agroecosistema (Casanova-Pérez et al., 2015; Gao and Barabási, 2016).

Los agroecosistemas presentan características como el comportamiento colectivo y el procesamiento de señales e información (Mitchell, 2009), por lo que pueden ser considerados dentro de los sistemas socio-ecológicos, los cuales para mantenerse en una dinámica de estabilidad presentan tres propiedades emergentes sobresalientes: 1) capacidad de adaptación, 2) transformabilidad y 3) resiliencia (Walker *et al.*, 2004). Otra característica, es el comportamiento cíclico que da inicio con el establecimiento del sistema, el aprovechamiento de recursos naturales y su respectivo crecimiento, seguido de una ralentización del ritmo de crecimiento, menor flexibilidad y mayor vulnerabilidad ante disturbios externos para continuar a una fase de liberación y posteriormente alcanzar una fase de reorganización.

Cabe destacar que el comportamiento cíclico ocurre en múltiples escalas y el efecto de escalas cruzadas es de significancia en los sistemas socio-ecológicos incluidos los agroecosistemas (Gunderson, 2008). Para conceptualizar la interacción de escalas cruzadas, las dimensiones del agroecosistema, pueden representarse vertical u horizontalmente (espacialmente), tal es el caso en el análisis de una región geográfica, un sistema de finca, agroecosistemas con diversos cultivos y ganado, un cultivo o simplemente una especie vegetal o animal (figura 8) (Hart, 1985; Dekkers, 2015).

La teoría de la panarquía puede describir el efecto de indicadores a pequeña escala con su respectiva expresión rápida y de corta duración, y su efecto a mayor escala con una expresión lenta, pero con mayor duración. El efecto de los indicadores puede provenir del micro o macro sistemas influyendo en cambios incrementales que ocurren de manera lenta y predecible, a medida que los sistemas maduran. Lo anterior conllevará a un cambio adaptativo que ocurre después de las perturbaciones. Sin embargo, existe el riesgo de alcanzar el estado de transformación que podría ocurrir si la resistencia del sistema es rebasada por la perturbación, lo que conllevará a la conducción del agroecosistema a un nuevo estado con tipos de estructuras, procesos y controles diferentes (Gunderson, 2008).

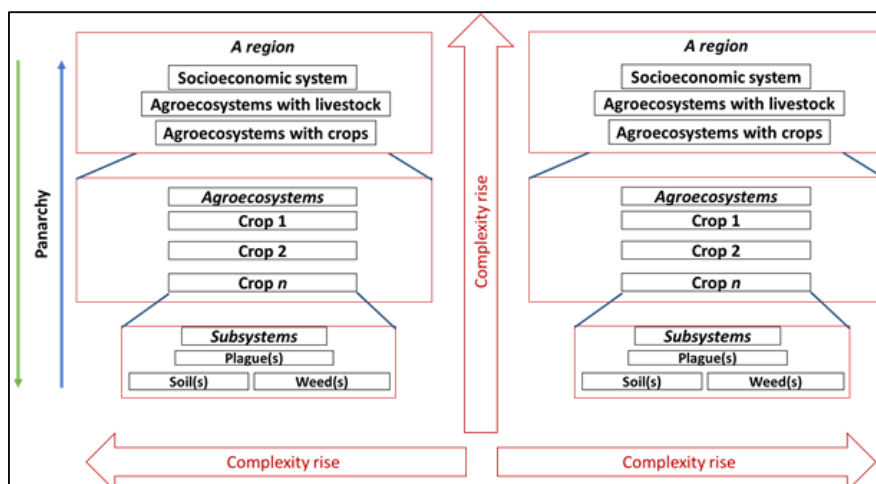


Figura 8. Aumento de la complejidad del agroecosistema como resultado de la suma de elementos en dirección horizontal y vertical. Fuente: Hart, 1985.

No existe a la fecha un estudio bibliométrico del estado del arte de la resiliencia al cambio climático en la agricultura. Por tanto, se considera importante conocer el carácter acumulativo, los avances sobresalientes y la tendencia en el conocimiento de la resiliencia de agroecosistemas como base del desarrollo de nuevas tendencias del tema. Por lo que la presente investigación parte de dar respuesta a las siguientes preguntas ¿Cuáles son los dominios, origen de las publicaciones, autores, conceptos, metodologías y teorías para el estudio de resiliencia del agroecosistema? ¿Cuál es la perspectiva respecto a la resiliencia de agroecosistemas? Este artículo está dividido en cinco partes: 1) estudios sobre resiliencia en agroecosistemas, 2) la conceptualización de la resiliencia en el contexto de los agroecosistemas, 3) los componentes de la resiliencia, 4) los indicadores de resiliencia, 5) la resiliencia como propiedad emergente, 6) los estudios de las etapas de la resiliencia, y 7) la perspectiva del análisis de resiliencia en agroecosistemas.

1.2 Metodología

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica utilizando como palabras clave “resiliencia” y su asociación con las palabras “agroecosistemas” “sistemas agrícolas” y “agricultura”, en la base de datos *Web of Science*. Posteriormente, se procedió a depurar los resultados. Una vez identificados los artículos que abordan a la resiliencia como una propiedad emergente de los agroecosistemas, se procedió a revisar e identificar los conceptos y métodos para el análisis de la resiliencia en agroecosistemas. Posteriormente, los artículos fueron cuantificados de acuerdo al año de

publicación. Se utilizó la herramienta *visual CiteSpace 5.3* con la que se analizaron la frecuencia de citas, y se determinó los artículos más conectados mediante co-citas de autores en las referencias de los artículos publicados. De igual manera, el título, resumen, palabras clave fueron analizados para identificar, tendencias, conexiones de dominios, origen de las publicaciones y grupos según los temas de abordaje de la resiliencia.

1.3 Resultados

1.3.1 Estudios sobre resiliencia en agroecosistemas

En años recientes, el término resiliencia ha tomado importancia y ha sido utilizado en diversas áreas del conocimiento. En el caso de los **agroecosistemas y resiliencia** (como palabras clave) se han realizado 184 publicaciones desde 1993, siendo 2018 y 2019 los años con más artículos publicados con 30 y 32 artículos respectivamente (Figura 9).

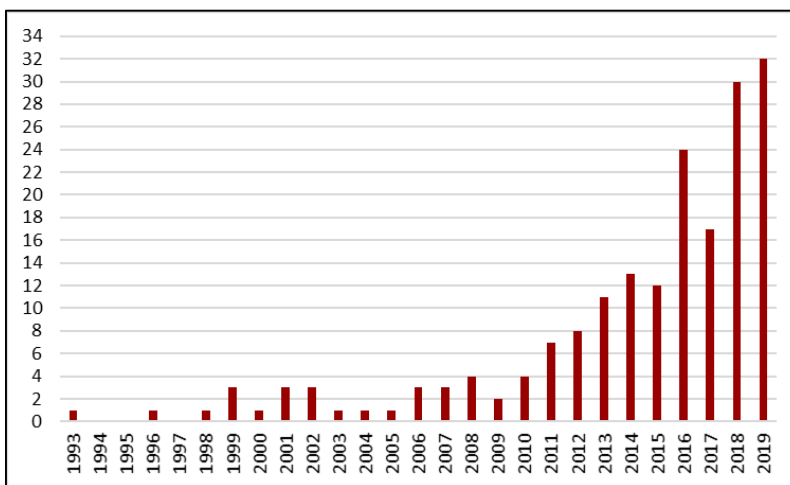


Figura 9. Publicaciones sobre resiliencia de agroecosistemas registradas en la Web of Science de 1993 al 2019.

Los artículos sobre resiliencia de agroecosistemas analizados con base a su frecuencia de citas se integraron en 11 dominios que a continuación se describen: “ciencias ambientales y ecología” (71), “agricultura” (52), “ciencias ambientales” (44), “ecología” (32), “ciencia y tecnología” (26), “agricultura multidisciplinaria” (23), “ciencia verde y sostenible”(20), “estudios ambientales” (19), “biodiversidad y conservación” (10), “ciencia del suelo” (9), “agronomía” (7), “Meteorología y ciencias atmosféricas (4) “ciencia multidisciplinaria” (3), y “recursos hídricos”, “ciencia de

plantas”, “ingeniería ambiental”, “biología”, “biomedicina”, “silvicultura”, e “ingeniería” con dos publicaciones respectivamente.

De acuerdo con la conectividad basada en el valor de centralidad intermedia, las áreas que se relacionan con otras en mayor frecuencia fueron principalmente “ciencias ambientales y ecología” (0.37), “agricultura” (0.32), “estudios ambientales” (0.29) “ciencia y tecnología y otros temas” (0.27) “ecología” (0.20), y “ciencia ambiental” (0.14) (Figura 10).

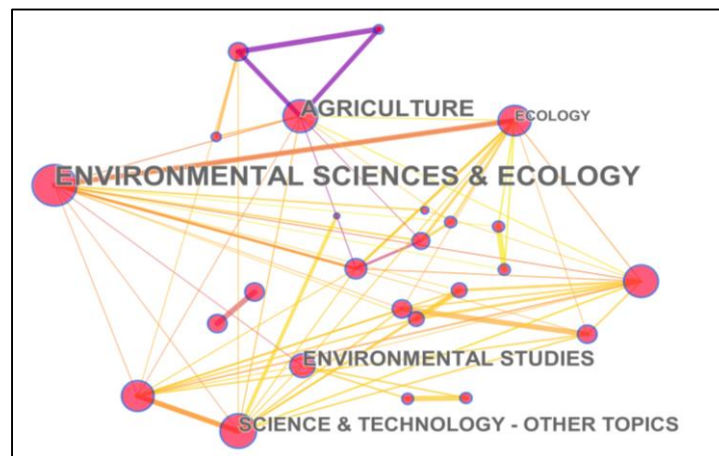


Figura 10. Principales disciplinas que abordan la resiliencia en agroecosistemas de acuerdo con la herramienta *CiteSpace*.

El país de origen de los co-autores que han publicado sobre resiliencia son principalmente de: Estados Unidos (34), Francia (20), Australia (10), Canadá (7) y Alemania (6). Sin embargo, el valor de centralidad intermedia ubica a Francia y Estados Unidos como nodos que conectan e influyen en dos o más grandes grupos de nodos (Figura 11), esto se indica mediante el grosor del círculo purpura exterior de cada nodo (Chaomei, 2014).

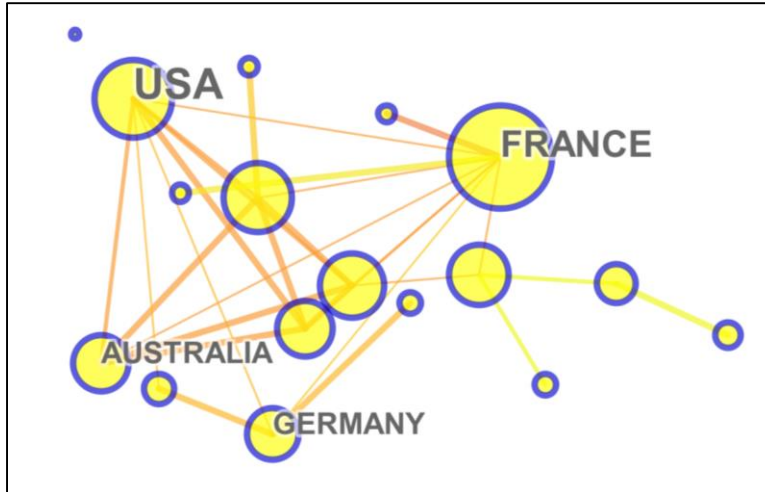


Figura 11. Principales países de origen de co-autores relacionados a los artículos de resiliencia de agroecosistemas. Se incluye el valor de centralidad intermedia de acuerdo la herramienta CiteSpace en el periodo 1993-2019.

Con relación a los autores citados con mayor frecuencia de los 184 artículos, sobresalen Altieri (53), Folke (31), Walker (30), Tilman D. (29), Holling C.S. (26), Gliessman (22), Gunderson (16), Kremen (15), Lal (15), Tschardtke (14), FAO (14), Scheffer (14), Lin (12), Carpenter (12), Adger (11), Van Der (11) y Perfecto (11). Con relación a la centralidad basada en la conectividad de los autores mediante *co-citas* (centralidad) sobresalen principalmente: Altieri (0.24), Hooper (0.20), Walker (0.21), Holling C.S. (0.12), Folke (0.11), Swift (0.11), Tilman D. (0.10), Tschardtke (0.08), Lin (0.06) y Koohafkan (0.06). Posteriormente, se presentan otros autores con menor grado de centralidad y estos son: Gliessman (0.04), Gunderson (0.04), Scheffer (0.03), FAO (0.03), Lal R. (0.02), Carpenter (0.02) y Kremen (0.01). La intensidad de relación de los autores sobresalientes en la revisión de literatura es por la cantidad de artículos citados que tienen a estos autores en sus referencias (Figura 12).

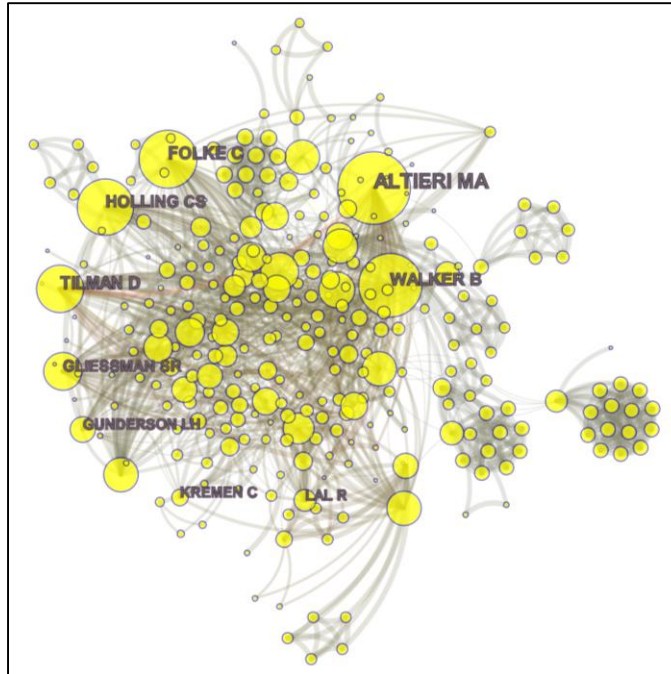


Figura 12. Red que muestra a los principales autores citados en los 184 artículos analizados.

Del total de artículos (184) para el periodo 1993-2019 los más citados están relacionados con el estudio de la resiliencia del agroecosistema desde el enfoque ecológico (Cuadro 9).

Cuadro 9. Principales artículos sobre resiliencia de agroecosistemas citados en el periodo 1993-2019.

Título de la publicación	Autores	Total de citas
Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management	Tscharntke, T; Klein, AM; Kruess, A; Steffan-Dewenter, I; Thies, C, (2005)	1915
Understanding relationships among multiple ecosystem services	Bennett, Elena M.; Peterson, Garry D.; Gordon, Line J. (2009)	846
Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence	Pretty, Jules (2008)	516
Soil biodiversity for agricultural sustainability	Brussaard, Lijbert; de Ruiter, Peter C.; Brown, George G. (2007)	358
Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change	Lin, Brenda B. (2011)	346

1.3.2 Conceptualización de resiliencia en el contexto de los agroecosistemas

La palabra resiliencia proviene del latín *resillire* que significa “saltar hacia atrás” y fue utilizada inicialmente por físicos (Cuadro 2) para describir la estabilidad de materiales y su resistencia a impactos externos (Holling, 1973; Reid y Boterill, 2013). En la década de los 60’s con el crecimiento del pensamiento sistémico el concepto fue utilizado en ecología (Reid y Boterill, 2013) y su definición destaca dos aspectos; el primero, sobre la recuperación y regreso al estado inicial del ecosistema después de un impacto, y el segundo, sobre como un sistema ha sido perturbado y se mantiene sin cambiar su función (Bodin y Wilman, 2004; Masterson *et al.*, 2014). Posteriormente, el concepto fue extrapolado a los agroecosistemas y a finales de los 80’s y década de los 90’s, fue aplicado dentro del marco teórico ecológico, particularmente tomando las bases del concepto de Holling (1973). Retomando el análisis de redes de la Figura 5 y con base a definiciones de los autores con mayor centralidad se identificaron dos tipos de enfoques para el estudio de la resiliencia: un enfoque agroecológico y otro enfoque de sistemas socio-ecológicos (Cuadro10).

Desde la agroecología y con el objetivo de desarrollar agroecosistemas sostenibles, con menor impacto ambiental, altamente productivos y económicamente viables, se hizo énfasis en la resiliencia como propiedad emergente del agroecosistema basándose en principios como productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad y principios ecológicos (Conway, 1987; Thomas y Kevan, 1993). Aunado a lo anterior, la resiliencia fue conceptualizada como un atributo de la salud del agroecosistema y también, fue estudiada desde la relación con las prácticas sustentables, los servicios ambientales y la biodiversidad (Okay,1996).

En el 2004, Walker integró al estudio de la resiliencia el concepto de sistemas socio-ecológicos, que extrapolado a los agroecosistemas integra las propiedades emergentes del productor en su interacción con elementos de los sistemas adyacentes. El concepto de sistemas socio-ecológicos resalta a la adaptabilidad cíclica como la capacidad de los elementos del agroecosistema de influir en la resiliencia mediante la retroalimentación constante que conlleva a construir estructuras colectivas (basadas en la retroalimentación) que aumentan su resistencia y probabilidad de recuperación ante perturbaciones, generando así más información que se incorpora nuevamente a los elementos del sistema.

Cuadro 10. Definiciones y enfoques con los que se ha abordado la resiliencia de los agroecosistemas.

Enfoque	Autor, año	Definición
Enfoque agroecológico	Gallopín, 1995	Capacidad de mantener la productividad ante el estrés o la perturbación.
	Altieri, 1999	Capacidad de un sistema para hacer frente a los choques y sufrir cambios mientras conserva su estructura y función.
	Tscharntke <i>et al.</i> , 2005	Capacidad de mantener los servicios de los ecosistemas después de una perturbación
Sistemas socio-ecológicos	Folke <i>et al.</i> , 2010	Es la tendencia de un sistema socio-ecológico sujeto a cambio a permanecer dentro de un dominio de estabilidad, cambiando y adaptándose continuamente pero permaneciendo dentro de umbrales críticos.
	Davoudi, 2012	Es evolutiva, rechaza el equilibrio, hace énfasis en la incertidumbre, las discontinuidades inherentes y la comprensión de la interacción dinámica de la persistencia, la adaptabilidad y la capacidad de transformación.
	Cabell y Oelofse, 2012	Es la cantidad de cambio que el sistema puede experimentar manteniendo su función, estructura, el grado de auto-organización y la capacidad de aprendizaje y adaptación respecto a una presión externa.
	Titonell, 2013	La capacidad de un sistema socio-ecológico de absorber la perturbación y reorganizarse mientras se está experimentando un cambio para conservar esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación

Sin embargo, también se toma en cuenta al macro y micro sistema debido a que en ellos pueden existir variables conductoras a eventos de perturbación drástica que podrían rebasar la resistencia

del agroecosistema evitando la presencia de la resiliencia y en vez de eso, se presente un escenario de transformación (Walker, 2004; Folke, 2006; Gunderson, 2008; Folke *et al.*, 2010; Folke, 2016).

La extensión de nociones de resiliencia en la sociedad tiene límites importantes, particularmente su conceptualización del cambio social. Lo anterior se debe a la falta de atención de problemas normativos y epistemológicos que subyacen a la noción de resiliencia social. Por lo que el papel del conocimiento en las intersecciones entre las dinámicas ambientales y sociales ayuda a abordar las cuestiones normativas y sus respectivos valores como parte integral del desarrollo y funcionamiento del sistema socio-ecológico. Por lo anterior, resulta necesario desarrollar métodos de sociología que permitan robustecer el estudio de los seres humanos con relación a su comportamiento bajo escenarios de estrés ocasionados por fenómenos externos (Coté, 2011).

1.3.3 Componentes de la resiliencia

La definición de resiliencia resulta confusa debido a las connotaciones disciplinarias en las que ha sido utilizada. Desde un enfoque de sistemas socio-ecológicos, la resiliencia es un componente de la trayectoria de los agroecosistemas (Figura 13), y se operacionaliza con cuatro componentes propuestos por Walker *et al.*, (2004):

- *Latitud*. Es la cantidad máxima que se puede cambiar al sistema antes de perder su capacidad de recuperación. Básicamente, es el ancho de la cuenca de atracción. Una cuenca ancha significa que el sistema puede experimentar un mayor número de estados sin alcanzar la transformación.
- *Resistencia*. Es la facilidad o dificultad para cambiar el sistema. Está relacionado con la topología de la cuenca. Las cuencas profundas de atracción indican que se requieren mayores fuerzas o perturbaciones para cambiar el estado actual a otro.
- *Precariedad*. Es la trayectoria actual del sistema, la cual lo ubica respecto a un límite o "umbral" que, si es rebasado, dificulta o imposibilita la recuperación (*Pr*).
- *Panarquía*. Proceso de influencia sobre el sistema causado por los estados y la dinámica de los (sub) sistemas en escalas por encima y por debajo de la escala de interés (*Pa*). (Walker *et al.*, 2004).

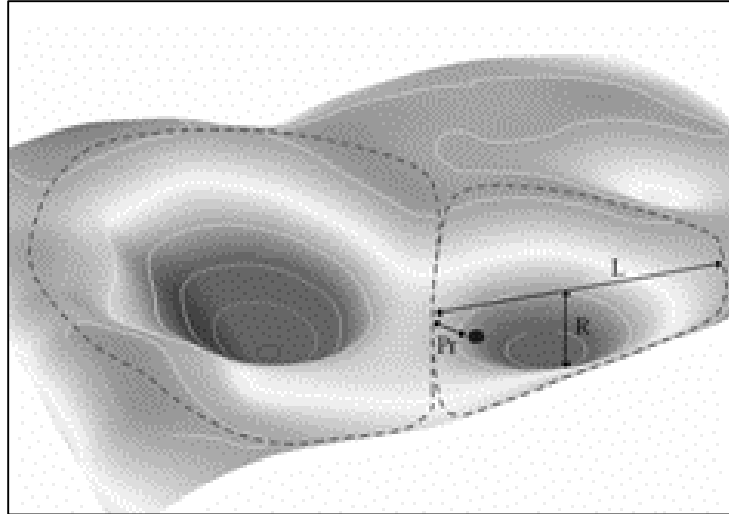


Figura 13. Componentes de la resiliencia de sistemas socio-ecológicos donde L , significa la longitud, R , resistencia y Pr , precariedad (Walker *et al.*, 2004).

En el contexto comunitario, Masterson *et al.*, (2014) propone tres dimensiones dentro del proceso de resiliencia: 1) la resistencia o robustez, es la habilidad del sistema capital de absorber, cambiar o resistir los impactos por fenómenos naturales, lo que implica una reducción de probabilidades de fallas del sistema. 2) dimensión denominada rapidez, se refiere a la trayectoria de recuperación y a la rapidez con la que el sistema recupera su estado previo al impacto, y la 3) se refiere al incremento de la resiliencia mediante el aprendizaje o la capacidad de adaptación.

Twigg (2007) propone diversas dimensiones o componentes para sistemas sociales (gobernabilidad, evaluación del riesgo, conocimiento y educación, gestión de riesgos y disminución de la vulnerabilidad, preparación y respuesta para desastres) que una comunidad debe reunir para aumentar su capacidad de resiliencia, dando prioridad a estrategias que permitan a los sistemas actuar por sí mismos y fortalecer sus capacidades, antes que concentrarse en su vulnerabilidad ante el desastre o sus necesidades en una emergencia.

Desde una perspectiva social, la sostenibilidad y la resiliencia de una comunidad, depende de su capacidad para acceder y utilizar de la mejor forma su capital económico, político y civil ante a una perturbación (Akter y Mallick, 2013). Otros factores importantes de las dimensiones de la resiliencia son: autonomía, seguridad alimentaria, niveles de nutrición adecuados, salud y

educación por mencionar algunos, además de la versatilidad de modificar la estructura de su sistema según se requiera ante escenarios de desastre (De La Fuente, 2010).

1.3.4 Indicadores de resiliencia

Todo estudio de resiliencia, sin lugar a dudas debe de partir de las preguntas ¿Qué hace resiliente a un agroecosistema?, ¿Cuáles son esos atributos del sistema que le confieren mayor o menor resiliencia? y ¿qué indicadores son intrínsecos y extrínsecos al agroecosistema? Sin embargo, es probable que exista confusión sobre qué aspecto de la resiliencia se está midiendo y qué tipo de indicadores se están considerando debido a que la resiliencia puede presentarse en un periodo de tiempo posterior o en una escala particular a expensas de la capacidad de recuperación del sistema. Para evitar dicha confusión se puede responder a la pregunta; ¿resiliencia de qué a qué? Es decir, durante qué periodo de tiempo y en qué escala (Carpenter *et al.*, 2001). Los indicadores de resiliencia permiten medir en qué punto se está entre la situación inicial y la situación deseada (Hernández *et al.*, 2002). Para facilitar el análisis, los indicadores sobresalientes presentados en diferentes investigaciones fueron agrupados en siete categorías: sistemas socio-ecológicos, ambientales, sociales, capacidades comunitarias, económicas, institucionales y de infraestructura (Cuadro 11).

Cuadro 11. Indicadores para evaluar la resiliencia de agroecosistemas desde la perspectiva de sistemas socioecológicos, agroecológica, social, capacidad comunitaria, económica, institucional y de infraestructura (Cabell and Oelofse, 2012).

<i>Tipo de estudio</i>	<i>Indicadores</i>
Sistemas socio-ecológicos (Cabell y Oelofse, 2012)	1.Auto organización social
	2.Auto organización ecológica
	3.Conectividad con otros sistemas
	4. Respuesta inmediata y funcionalidad diversa
	5.Redundancia óptima
	6.Heterogeneidad temporal y espacial
	7.Exposición a perturbaciones
	8.Acoplamiento con los recursos locales
	9.Aprendizaje reflexivo y compartido
	10.Autonomía global e interdependencia local
	11. Preservación del conocimiento ancestral
	12. Formación de recursos humanos
	13. Rentabilidad razonable
Agroecológico (Bruneau <i>et al.</i> ,	Autorregulación ecológica Conexión con otros elementos ambientales

<i>2003; Altieri y Nicholls, 2012).</i>	Diversidad funcional y de respuestas Heterogeneidad espacial y temporal Exposición al disturbio Acoplamiento con capital natural local Cultivos intercalados Mezcla de variedades locales Aplicaciones de abonos orgánicos Cero labranzas Curvas de nivel Barreras vivas Terrazas Rotación de cultivos
<i>Social (Rose, 2007; Rose, 2009; Cabell y Oelofse, 2012; CENAPRED, 2015; Hosseini et al., 2016).</i>	Población en edad productiva Nivel de escolaridad del productor Productores con automóvil propio Población con línea telefónica Productores con servicio médico comunitario Número de familias organizadas para apoyar en caso de emergencias Número de voluntarios para apoyar en caso de emergencias Número de Organizaciones No Gubernamentales Capacidad de auto organización del productor
<i>Capacidades comunitarias (; Rose, 2007; Masterson et al., 2014; CENAPRED, 2015; Qasim, 2016).</i>	Grado de influencia de líderes comunitarios Número de personas de la comunidad dispuestos a ayudar a otras personas Frecuencia de reuniones entre los líderes de la comunidad y sus pobladores Participación de la comunidad en organizaciones no gubernamentales Participación de la comunidad en el desarrollo de capacidades comunitarias para desastres Comprensión del nivel de desastres naturales en el área proveída por el gobierno
<i>Económico (Rose, 2007; Rose, 2009).</i>	Ingreso económico per cápita municipal. Existencia de un fondo económico familiar para emergencia. Número de miembros de la familia con empleo. Número de opciones que permitan al jefe de familia obtener un ingreso económico Porcentaje de la población con casa propia Porcentaje del impuesto municipal invertido en la prevención de desastres.
<i>Institucional (Rose, 2007; CENAPRED, 2015; Qasim et al., 2016).</i>	Existencia de una agencia de manejo de desastres a nivel municipal Existencia de una oficina de regulación para respuesta a desastres Número de torretas para el aviso temprano de advertencias Número de rutas de evacuación por Km2 Porcentaje de la población con acceso a refugios en caso de desastres

	Porcentaje de la población sensibilizada para el manejo de desastres
	Número de simulacros por año para el manejo de desastres
	Existencia de un centro de información para desastres
	Porcentaje de casas con electricidad.
<i>Infraestructura</i> <i>(Rose, 2007;</i> <i>CENAPRED,</i> <i>2015; Qasim et</i> <i>al., 2016).</i>	Porcentaje de casas con acceso a agua potable
	Infraestructura agrícola de prevención de desastres
	Porcentaje de casas con drenaje.
	Porcentaje de casas con paredes de ladrillo
	Número de servicios públicos por Kilómetro cuadrado

En el contexto agroecológico, Altieri y Nicholls (2015) intentan explicar la resiliencia de los sistemas diversificados considerando indicadores relacionados a factores ecológicos resaltando la calidad del paisaje, la diversidad vegetal y conservación y calidad del suelo. Córdoba y León (Altieri y Nicholls, 2015) agrupan indicadores en factores geofísicos, de suelos, manejo de suelos, manejo del agua, diversidad biológica, sociedad, economía, institucionales, políticas y tecnológicas. Márquez y Funes (Altieri y Nicholls, 2015) explican la resiliencia de sistemas agrícolas al cambio climático en indicadores de resiliencia respecto a factores biofísicos, tecnológicos, económicos y sociales. Es importante destacar que la resiliencia de los agroecosistemas está estrechamente ligada a la resiliencia social, que es la habilidad de las comunidades rurales de generar una infraestructura social capaz de soportar los eventos externos sobre todo los que dependen directamente de los recursos ambientales para su sobrevivencia. El método que se utilice para medir resiliencia debe ser capaz de integrar aspectos sociales, ecológicos y productivos (Masterson *et al.*, 2014) de los agroecosistemas.

Zuluaga (citado por Altieri y Nicholls, 2015), utilizó indicadores sociales y ecológicos que le permitieron identificar las principales estrategias implementadas ante posibles escenarios del cambio climático. En el contexto de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos, Henao (Altieri y Nicholls, 2015) seleccionó indicadores que abordaron amenazas, mediante la caracterización del evento climático; la estimación del nivel de vulnerabilidad y la capacidad de respuesta por medio de prácticas de agricultura sostenible.

1.3.5 La resiliencia como propiedad emergente de los agroecosistemas

Los elementos internos de los agroecosistemas interactúan entre sí y también con elemento externos. Lo anterior da lugar a las propiedades emergentes que pueden dividirse en estructura y atributos (Dekkers, 2015).

Estructuralmente, un agroecosistema es una entidad indivisible con propiedades emergentes. Una propiedad emergente se caracteriza por la aparición de nuevas características exhibidas en el nivel de todo el conjunto, pero nunca por los componentes en forma aislada (Lazlo y Krippner, 1998). Existen dos aspectos sobresalientes de las propiedades emergentes: primero, estas desaparecen si los componentes del sistema son separados. Segundo, cuando un componente es separado del sistema, este por si solo pierde su propiedad emergente (Lazlo y Krippner, 1998).

La resiliencia, es considerada como una propiedad emergente de los agroecosistemas (Figura 14) y es resultado de la suma de elementos ambientales, económicos y sociales principalmente, que en teoría le permiten recuperarse de algún daño ocasionado por fenómenos como el cambio climático o una crisis económica, por lo que desde una perspectiva de autoconsumo o productivista resulta estratégico fortalecer los elementos del agroecosistema para disminuir su vulnerabilidad, de no hacerlo así el agroecosistema tendría menor probabilidad de expresar resiliencia (Rose, 2009; Masterson et al., 2014).

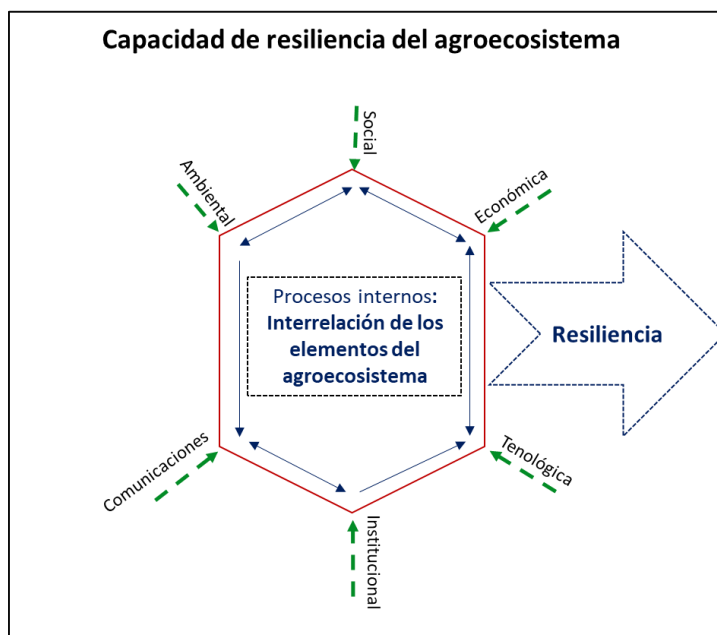


Figura 14. Representación del proceso interno de interacción de los elementos que propician la resiliencia como propiedad emergente de un agroecosistema.

1.3.6 Estudio de las etapas de la resiliencia en agroecosistemas

Debido a la naturaleza de la resiliencia se dificulta medir su nivel como propiedad emergente de un agroecosistema, ya que el fenómeno no es directamente observable (CENAPRED, 2015). Sin embargo, es posible abordar a la resiliencia como una variable dinámica que se concentra en la capacidad del agroecosistema de regresar al estado anterior después de la perturbación y toma en cuenta la medición de la velocidad y eficiencia del sistema para regresar a un estado de funcionamiento, así como el nivel de innovación desarrollado (Rose, 2007) que se refleja en un ciclo de adaptación. En esta etapa, también podría presentarse la panarquía mediante un proceso que implica la interacción de los niveles político, social y económico que conforman a la comunidad a la que pertenece el productor (Figura 15).

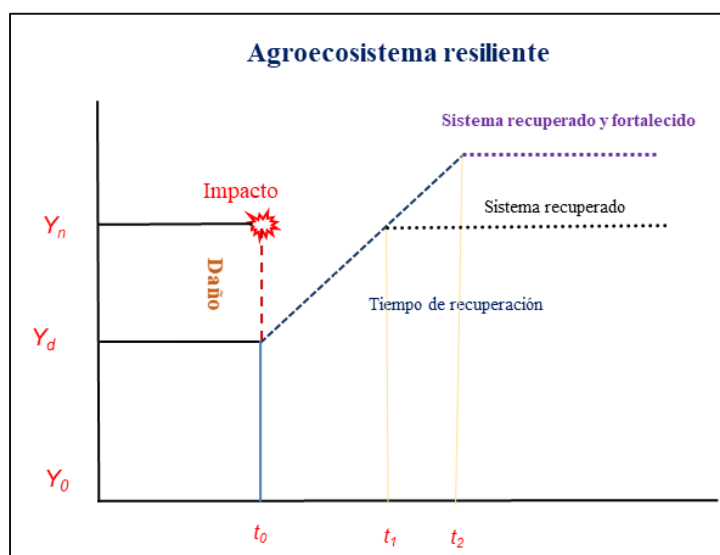


Figura 15. Fases y elementos que integran el proceso de resiliencia en los Agroecosistemas. Donde: Y_n , es el Nivel de funcionamiento histórico de un Agroecosistema en el periodo anterior histórico; Y_d nivel de funcionamiento inmediatamente después del impacto y Y_0 nivel de ruptura de un Agroecosistema.

Por otro lado, la resiliencia estática se considera como una variable latente a través de la construcción de índices, sobre todo si se desea tener una medida de resiliencia de mayor generalidad (Akter y Mallick, 2013; CENAPRED, 2015). Rose (2007) desde un enfoque económico lo define como resiliencia estática. En un sentido similar, desde el enfoque de sistemas

socio-ecológicos se denomina precariedad (Walker *et al.*, 2004). La resiliencia estática (Rose, 2007) se concentra en la capacidad del agroecosistema para mantener el funcionamiento. Esta capacidad, es inherente al agroecosistema y no depende de agentes externos que fomentan acciones durante y después de la perturbación (Rose, 2007; Rose, 2009).

1.3.7 Prospectiva del análisis de resiliencia en agroecosistemas

Un agroecosistema sin vulnerabilidad respecto a determinado fenómeno puede ser vulnerable a otro con naturaleza diferente por lo que, en el mejor de los escenarios, el agroecosistema debería ser diseñado o preparado para los fenómenos que le representen mayor riesgo (Helfgott, 2018). Construir agroecosistemas resilientes también implica que estos desarrollen la capacidad para obtener beneficios de los fenómenos naturales que pudieran impactarlos, y no que estos fenómenos generen desastres en los agroecosistemas (Kelman *et al.*, 2016). En términos de prevención de desastres, es sustancial enfocarse en aumentar la robustez del agroecosistema y disminuir la vulnerabilidad debido a que estas variables son inversamente proporcionales a la resiliencia. Probablemente, un agroecosistema con baja vulnerabilidad podría no sufrir daño alguno o un daño mínimo (Figura 16).

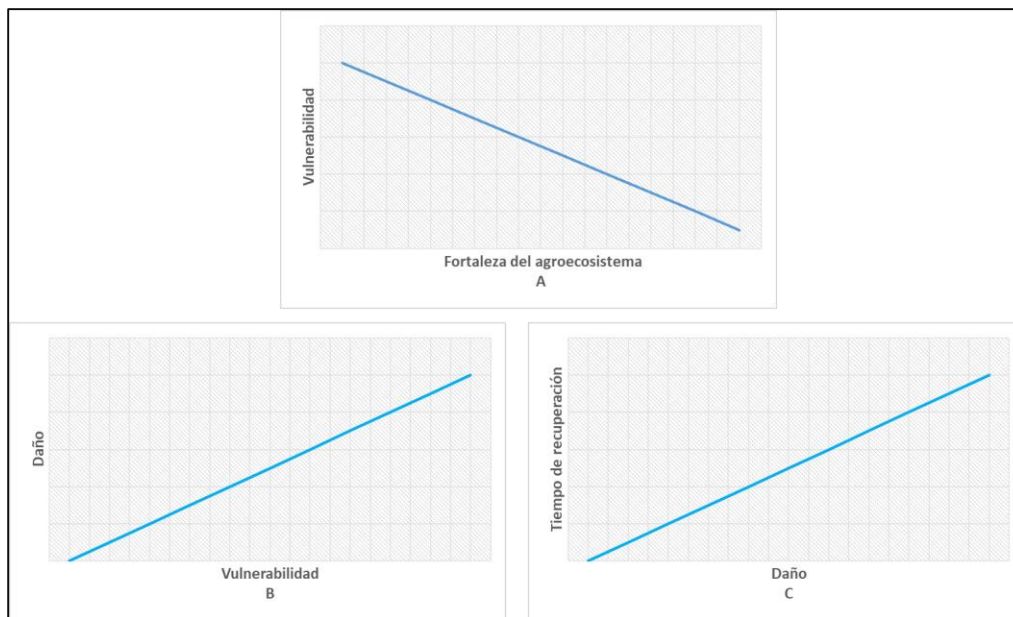


Figura 16. Condiciones previas a la resiliencia de AES: a menor fortaleza del AES mayor vulnerabilidad (A), a mayor vulnerabilidad mayor daño (B) y a mayor daño mayor tiempo de recuperación (C).

Otra característica que debe tomarse en cuenta en el proceso de resiliencia es la naturaleza de las variables utilizadas. Por ejemplo, podrían presentarse casos en donde el daño es menor pero la recuperación es más prolongada, así, un centímetro de suelo podría perderse en un evento lluvioso muy fuerte y tomar 100 años para formarse esos centímetros y en caso contrario, el daño severo por sequía, el productor podría superarlo –si dispone de agua- con riegos de auxilio lo que conllevaría a un tiempo corto de recuperación (Figura 17).

En el estudio y diseño de los agroecosistemas resilientes, también es importante abordar la autopoiesis y su red de elementos en interacción que auto-reproducen el sistema para conocer qué factores facilitan la auto-reproducción o, por el contrario, conocer como es la dinámica de interacción con el ambiente como promotor de cambios de estado del sistema o de auto-organización interna. Sin embargo, surge una controversia con la etapa de adaptación (previo a la expresión de resiliencia) porque después de esta etapa, el agroecosistema modifica o cambia algunos elementos de su estructura en respuesta al ambiente que le rodea, por lo que cada vez que esta fase termina y un agroecosistema es resiliente, puede significar tres cosas: 1) que el agroecosistema presenta una auto-organización interna, 2) que la resiliencia es un comportamiento emergente que busca el equilibrio, o 3) que es un cambio de estado resultado de un agroecosistema con alta entropía (Maturana y Varela, 1977; Kauffman, 1993; Halley y Winkler, 2006 citado por Dekkers, 2015).

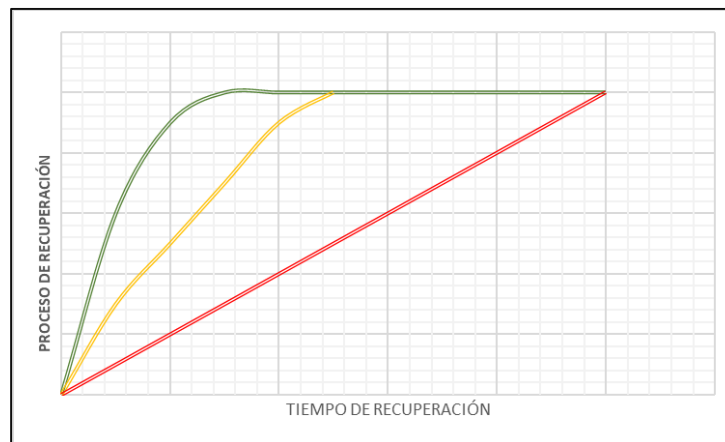


Figura 17. La naturaleza de las variables del agroecosistema influye en el tiempo de recuperación.

Finalmente, se debe fomentar a la interdisciplina como instrumento metodológico para abordar la resiliencia. Esta representa un marco conceptual y metodológico común, derivado de una concepción compartida de la relación ciencia-sociedad, que permitirá definir la problemática a estudiar bajo un mismo enfoque, sin dejar de lado la especialización de cada uno de los miembros del equipo de investigación (García, 2006).

1.4 Conclusiones

El estudio de la resiliencia como propiedad emergente en los agroecosistemas se ha incrementado significativamente en los últimos diez años. Los principales dominios en los que se agrupan las publicaciones son: ciencias ambientales, ecología y agronomía. Los autores de publicaciones como Miguel Altieri, Brian Walker y Carl Folke son quienes presentaron mayor cantidad de *co-citas* por lo que se pueden considerar como los principales autores con influencia en el tema.

Actualmente, la socioecología ha integrado los fundamentos de la agroecología y las disciplinas sociales y económicas para estudiar la resiliencia. El reto actual, es analizar la resiliencia del agroecosistema reforzando los estudios sobre los elementos sociales cualitativos con relación a la capacidad de adaptación y el aprendizaje en el contexto de espacio y tiempo. La herramienta conceptual más sobresaliente en el estudio de la resiliencia es la interdisciplina debido a que define a los elementos de un sistema como interdefinidos y en concepción común sobre la problemática general a estudiar. Entre más vulnerable sea un agroecosistema el daño en su estructura será mayor y por consiguiente la recuperación requerirá más tiempo, pero también si la perturbación rebasa el umbral de resistencia del agroecosistema este se transformará.

1.5 Literatura Citada

- Akter, S. and Mallick, B. 2013. The poverty-vulnerability-resilience nexus: Evidence from Bangladesh. *Ecological Economics* 96: 114-124.
- Altieri M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 19-31.
- Altieri, M. A. and C. Nicholls. 2012. The scaling up of agroecology: spreading the hope for food sovereignty and resiliency A contribution to discussions at Rio + 20 on issues at the interface of hunger, agriculture, environment and social prepared by The scaling up of agroecology: spread. *Socla*, p. 20.

- Altieri, M. A., C. Nicholls, I. Henao A. and M. Lana A. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy Sustainability Development* 35: 869–890.
- Argueta, Q., Orozco-Ramírez Q., González, S.M.V., Morales H.J., Gerritsen, P.R.W., Escalona, M., Rosado-May, F.J, Sánchez-E. J., Martínez, T.S.S., Sánchez-Sánchez, C.D., Arzuffi, B.R., Castrejón, A.F., Morales, H., Soto, P.L, Mariaca, M.R., Ferguson, B., Rosset, P., Ramírez, T.H.M., Jarquin, G.R., Moya, G.F., González-Esquivel, C., and Ambrosio, M. 2015. Historia de la agroecología en México. *Agroecología* 10: pp. 9–17.
- Benette E.M., G. Petersen D., L. Gordon J. 2009. Understanding relationship among multiple ecosystem service. *Ecology Letters* 12: 1394-1404.
- Berti, A. A. Marta D. M. Mazzoncini, and Tei. F. 2016. An overview on long-term agro-ecosystem experiments: Present situation and future potential. *European Journal of Agronomy* 77: 236–241.
- Bodin, P. and B. Wiman L. 2004. Resilience and other stability concepts in ecology: notes on their origin, validity and usefulness. *ESS Bulletin* 2: pp 33–43.
- Bruneau, M., Chang, S. E., T. R., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M. Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W.A., and Von Winterfeldt, D. 2003. A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra* 19: 733-752.
- Cabell J.F. and Oelofse M. 2012. An indicator framework for assessing agroecosystems resilience. *Ecology and Society* 17: 18.
- Carpenter S., B. Walker., J.M, Anderies. and Abel N. 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what?. *Ecosystems* 4: 765-781.
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J.P., López-Ortiz, S., Landeros-Sánchez, C., López-Romero, G. y Peña-Olvera, B. 2015. El agroecosistema comprendido desde la teoría de sistemas sociales autopoieticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 855–865.
- CENAPRED. 2015. Índice de Resiliencia a nivel municipal. Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos Subdirección de Estudios Económicos y Sociales. Ciudad de México. 59 p.
- Chaomei, C. 2014. The CiteSpace manual. College of computing and informatics. Drexel University. Philadelphia, United States of America. 84 p. <http://cluster.ischool.drexel.edu/~cchen/citespace/CiteSpaceManual.pdf>
- Conway, G. R. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95–117.
- Colding, J., and S. Barthel. 2019. Exploring the social-ecological systems discourse 20 years later. *Ecology and Society* 24: 2.
- Cote M., and A.J. Nightingale. 2011. Resilience thinking meets social theory: situating social change in social-ecological systems research. *Progress in Human Geography* 36: 475-489.

- Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L.J., Quinlan, A.E., Peterson, G.D., Wilkinson, C., Fünfgeld, H., McEvoy, D., Porter, L., and Davoudi, S. 2012. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End?. *In*: Davoudi S., and L. Porter. Reframing? Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice Interacting Traps: Resilience Assessment of a Pasture Management System in Northern Afghanistan Urban Resilience: What Does it Mean in Planning Practice. *Planning Theory & Practice* 13: 299–333.
- Dekkers, R. 2015. *Applied systems theory*. Switzerland: Springer International. 244 p.
- Department for Environment Food and Rural Affairs. 2013. *Agriculture in the United Kingdom*. Department for Environment Food Rural Affairs. London, England. Pp 1–46.
- De la Fuente Olguín, J. 2016. ¿Cómo se construye un Indicador de Desempeño? *Boletín del Instituto de Ingeniería Industrial*. Santiago, Chile. 27p.
- Folke C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16: 253-267.
- Folke C., S.R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, and Rockstrom J. 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology & Society* 15 (4):
- Folke C. 2016. Resilience. *Ecology & Society* 21(4).
- Gallopin, G. C. 1995. Agroecosystem health: A guiding concept for agricultural research? *In*: N. O. Nielsen (ed). *Agroecosystem health: Proceedings of an International Workshop Guelph, Ontario: University of Guelph*. pp. 51–65.
- Gao, J. Barzel, B. and Barabási A.L. 2016. Universal resilience patterns in complex networks. *Nature* 530: 307-312.
- García, R. 2006. *Sistemas complejos conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Primera edición, Barcelona, España, 201p.
- Gliessman-Stephen, R. 2002. *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: Sleeping Bear Press. 380 p.
- Gunderson L., 2008. Panarchy. *Encyclopedia of ecology* 1: 612-616.
- Harper, J.L. 1974. Agricultural ecosystems. *Agro-Ecosystems* 1: 1–6.
- Hart, R.D. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y de Enseñanza, Turrialba, Costa Rica*, p. 160.
- Helfgott A. 2018. Operationalising systemic resilience. *European Journal of Operational Research* 268: 852-864.
- Hernández, A. J. Urcelai, A. y Pastor, J. 2002. Evaluación de la Resiliencia en Ecosistemas Terrestres Degradados Encaminada a la Restauración Ecológica. *II Reunión Española de Ciencias en Sistemas*. Madrid, España. Pp. 1–10.

- Holling C. S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Reviews of Ecology and Systematic* 4: 1–23.
- Hosseini, H., Barker, K., and Ramirez-Marquez, J.E. 2016. A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering and Systems Safety* 145: 47-61.
- Kelman I., J.C. Gaillard, J. Lewis, and J. Mercer. 2016. Learning from the history of disaster vulnerability and resilience research and practice for climate change. *Natural Hazards* 82: 129-143.
- Laszlo, A and Krippner, S. 1998. Chapter 3 Systems theories: Their origins, foundations, and development. *Advances in Psychology* 126: 47–74.
- Lin, B. B. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *Bioscience* 61: 183-193.
- Maldonado, C. E. y Gómez, N. 2011. El mundo de las ciencias de la complejidad: una investigación sobre qué son, su desarrollo y sus posibilidades. Universidad del Rosario, Bogotá Colombia. Pp 1–134.
- Masterson, J.H., Peacock, W.G., Zandt S.S.V., Grover H., Schwarz L.F., and Cooper, J.T.C., 2014. Planning for community resilience: a handbook for reducing vulnerability to disasters. Washington, DC: Island Press. Pp 1-58.
- Mebarki, A. 2017. Resilience: Theory and metrics—A metal structure as demonstrator. *Engineering Structures* 138: 425-433.
- Mitchell, M. 2009. Complexity: a guide tour. New York: Oxford University Press. Pp 1-94.
- Morin, E. 1990. Introducción al Pensamiento Complejo. Gedisa. Santiago, Chile. 167 p.
- Pretty J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences* 121: 233-244.
- Okey B. 1996. System approaches and properties, and agroecosystem health. *Journal of Environmental Management* 48: 187-199.
- Qasim, S. M., Shrestha, R. P., Khan, A. N., Tun, K., and Ashraf, M. 2016. Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 18:100–106.
- Reid, R., and Botterill, L. C. 2013. The Multiple Meanings of Resilience: An Overview of the Literature. *Australian Journal Public Administration* 72: 31–40.
- Rose, A. 2007. Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environmental Hazards* 7: 383–398.
- Rose, A. 2009. Economic resilience to disaster: Published articles & papers. University of southern California. 59 p.

- Thomas V.G, and Kevan P.G. 1993. Basic principles of agroecology and sustainable agriculture. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 6: 1-19.
- Titonell P. 2013. Livelihood strategies, resilience and transformability in African ecosystems. *Agricultural Systems* 126: 3-14.
- Tscharntke T., A. M. Klein, A. Kruess, I.S. Dewenter, and Thies C. 2005. Landscapes perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystems service management. *Ecology Letters* 8: 857-874.
- Twigg J. 2007. Características de una comunidad resiliente ante los desastres. Primera edición. Departamento para el desarrollo Internacional del Gobierno del Reino Unido. Londres Inglaterra. 42 p.
- Walker B., C.S. Holling., R. Stephen., A. Kinzing. 2004. Resilience, adaptability and transformability in Social-ecological systems. *Ecology & Society* 9 (2).

CAPITULO II. CAPACIDAD DE RESILIENCIA DEL AGROECOSISTEMA CAFÉ EN TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Resumen

Los sistemas complejos adaptativos presentan la capacidad de adaptarse, retroalimentarse y reorganizarse ante perturbaciones. Los agroecosistemas cafetaleros como sistemas socio-ecológicos están en constante adaptación ante escenarios adversos. La adaptación, como propiedad emergente y como proceso auto organizativo, forman parte de la resiliencia de un agroecosistema. Donde, la resiliencia y su dinámica dificultan su medición en periodos cortos. Por tanto, el objetivo fue determinar la capacidad de resiliencia con base en la precariedad de indicadores de las dimensiones del agroecosistema cafetalero en Tezonapa, Ver., así como el efecto de panarquía responsable de dicha condición. Un total de 30 indicadores fueron medidos en 52 plantaciones de café en el municipio de Tezonapa, Ver. Se realizaron entrevistas a cafecultores y se midieron características ambientales de las fincas. Los datos registrados se codificaron en una escala de resiliencia de 0-1, en donde los valores cercanos a cero representan menor capacidad de resiliencia y cercanos a uno, mayor capacidad. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y pruebas de hipótesis no paramétricas. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (KW-H $p < 0.05$) para los indicadores relacionados con las dimensiones económica (0.06) y tecnológica (0.22) siendo los que menos aportaron a la resiliencia y los indicadores de las dimensiones social (0.78) y ambiental (0.74) fueron los que aportaron valores altos a la capacidad de resiliencia, con efecto de panarquía por el gradiente altitudinal (CRAC= $0.6214 - 0.0001 * X$). Se concluyó que los indicadores con menor aporte a la capacidad de resiliencia del agroecosistema café son los relacionados con las dimensiones económica y tecnológica, y que los que más contribuyeron fueron el social y ambiental con un efecto de panarquía por altitud.

Palabras clave: cambio de régimen, caficultura, regeneración, socio ecología, adaptación

Abstract

The adaptive complex systems have the capacity of adaptation, to do feedback, and reorganize in front of perturbations. The coffee agroecosystems are continuously in adaptation tackle adverse scenario. The adaption as an emergent property, and as self-organizing process it is part of agroecosystems resilience. Where, the resilience's dynamic difficult its measurement in short periods. Therefore, the aim was determinate resilience capacity based on the precariousness of

indicators of coffee agroecosystems dimensions in Tezonapa, Ver. Thus, the panarchy effect responsible for which condition. 30 indicators were measured in 52 coffee plantations. It was realized surveys to coffee farmers and it was measurement environmental characteristics. The dates were codified in a resilience scale between 0-1, where the close values to 0 represent less resilience capacity, and the values close to 1 represent greater capacity. The dates were analyzed by descriptive statistic and tests of non-parametric statistic. Statistically significant differences (KW-H $p < 0.05$) were found for the indicators related to the economic (0.06) and technological (0.22) dimensions, being the ones that contributed least to the resilience and the indicators of the social (0.78) and environmental dimensions (0.74) were those that contributed high values to the resilience capacity, with a panarchy effect by the altitudinal gradient (CRAC = $0.6214 - 0.0001 * X$). It was concluding, that indicators with less contribution to score of resilience capacity were that in relation to economic and technological dimensions. The social and environment dimensions were the most contributed positively to resilience capacity score, include an effect of panarchy by altitude.

Key words: shift regime, coffee culture, regeneration, socio-ecology, adaptation.

2.1 Introducción

El enfoque de sistemas es un esquema teórico-metodológico que permite explicar la modificación de los ecosistemas por el ser humano y su respectiva transformación en unidades de producción agrícola y pecuaria para la obtención de diversos productos alimenticios y subproductos de autoconsumo y de comercialización (Lazlo y Krippner, 1998). Donde, el agroecosistema puede ser definido como una representación de una red compleja de interacciones entre recursos naturales bióticos y recursos abióticos, la tecnología, la economía y la cultura. Donde el conocimiento local y la toma de decisión del productor depende, en gran medida, del contexto socioeconómico, lo cual deviene en un proceso de evolución y mejoras constantes a través del aprendizaje (Casanova-Pérez *et al.*, 2015; Gao y Barabazi, 2016).

En México, la producción de café es cubierta por los arábigos (*Coffea arabica* L.), con el 95 % y por el café robusta (*C. canephora*) con el 5 % del café ofertado en los mercados nacionales (Zamarripa y Escamilla, 2002; AMECAFE, 2017; FIRA, 2016). La producción de café se realiza en 12 entidades federativas del país y con una participación importante por productores indígenas y minifundistas (Zamarripa y Escamilla, 2002). Más del 80 % de la producción nacional se destina para la exportación y México es el principal productor de café orgánico a nivel mundial (CEDRSSA, 2014). Sin embargo, existen problemas que afectan a la caficultura mexicana. El mayor de ellos es el bajo precio que con frecuencia se presenta en el mercado internacional y se refleja sus impactos negativos a nivel de finca. Además, se tienen limitantes por baja productividad, castigos por la presencia de “*impurezas*” durante la cosecha, la presencia de plagas y enfermedades y el cultivo en zonas marginales (Zamarripa y Escamilla, 2002). Aunado a los problemas económicos y tecnológicos, se suma el cambio climático, el cual, podría afectar principalmente, la calidad del grano y la extensión de las zonas agroecológicas aptas para el cultivo de *Coffea arabica* (CEDRSSA, 2014).

Desde una concepción dinámica, los agroecosistemas cafetaleros como sistemas socio-ecológicos pueden ser analizados desde una perspectiva de adaptación cíclica integrada por cuatro fases: 1) (*r*) caracterizada por la explotación de los recursos naturales y el crecimiento que se fusiona con una fase de conservación; 2) (*K*) comprendida por un avance lento y acumulativo en el ciclo, durante el cual la dinámica del sistema es razonablemente predecible. A medida que la fase *K* continua, los recursos del agroecosistema se limitan y este es progresivamente menos flexible y

con menor respuesta a los impactos externos; 3) La fase K es seguida por el caos y el colapso (Ω), lo que conlleva al siguiente proceso; y 4) De reorganización (α), la cual puede ser lenta o rápida y con posibilidad de realizar innovaciones en el agroecosistema (Walker *et al.*, 2004; Peterson *et al.*, 2018). La panarquía es otro elemento importante en los sistemas socioecológicos y es representada por interacciones mediante el cruzamiento de escalas que emergen del macro hacia el micro sistema y a la inversa con sus respectivos tipos de efecto cascada o propiedades emergentes (Gundersson, 2008; Allen *et al.*, 2014).

Por tanto, se considera que la resiliencia es una propiedad emergente de los agroecosistemas que se expresa a partir de la fase K . Para este trabajo, se define a la resiliencia como la capacidad de un sistema para absorber las perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta un cambio para conservar su función, estructura, identidad y procesos de retroalimentación (Walker *et al.*, 2004; Folke, 2016).

Los agroecosistemas cafetaleros están integrados por variables que constantemente están expuestas ante conductores exógenos y procesos endógenos que pueden conllevar al sistema a un estado de no retorno y evitar que se exprese la resiliencia como propiedad emergente. Por lo anterior, es sustancial que, como medida de prevención, se mantengan los valores de precariedad lo más alejado posible del límite de resistencia (Walker *et al.*, 2004). Si los límites del agroecosistema son superados, dificultará o imposibilitará la recuperación del sistema por lo que entre más cerca se esté de los límites máximos de resistencia del agroecosistema menor será la capacidad de resiliencia y se presentará un estado de cambio (Walker *et al.*, 2010). Por lo anterior, el objetivo fue determinar la capacidad de resiliencia con base a la precariedad de indicadores de las dimensiones del agroecosistema cafetalero, así como las variables responsables de dicha condición. La hipótesis fue que la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (CRAC) es afectada principalmente por la baja precariedad de indicadores relacionados con la dimensión económica y tecnológica.

2.2 Metodología

2.2.1 Área de estudio

Esta investigación se realizó de diciembre 2017 a noviembre de 2018 en el municipio de Tezonapa, estado de Veracruz (Figura 18) en agroecosistemas cafetaleros distribuidos en zonas de valle y de

montaña con un gradiente altitudinal entre los 100 y 1400 msnm. De acuerdo con INEGI (2018). El tipo de suelo en el municipio corresponde a vertisoles para la zona baja o valle, y litosoles para el área de montaña. El tipo de clima es cálido húmedo en el valle y semi-cálido húmedo en el área montañosa (INEGI, 2018).

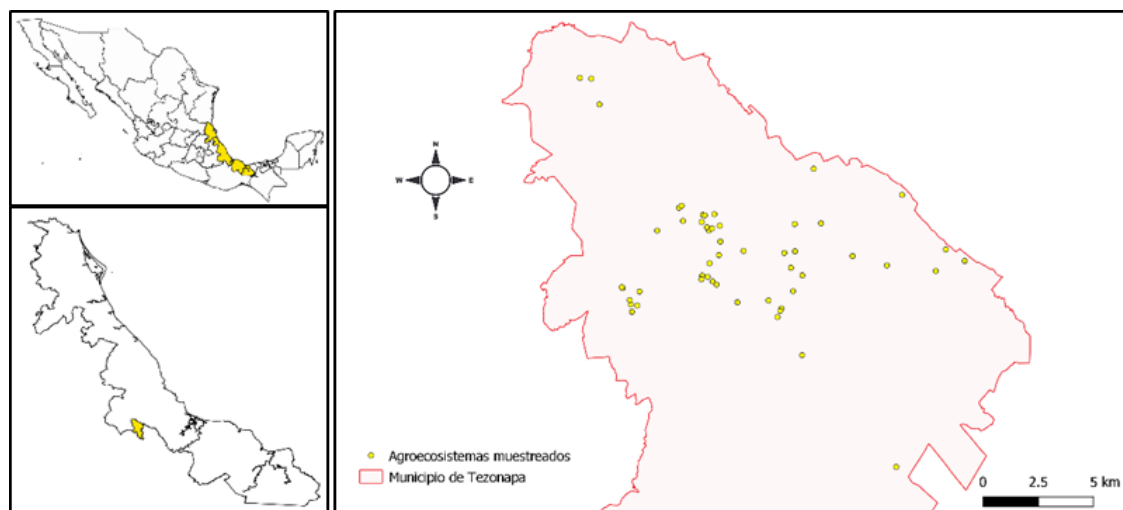


Figura 18. Distribución geo-espacial de los agroecosistemas bajo estudio en el municipio de Tezonapa, Ver.

2.2.2 Tamaño de muestra

Los productores de café fueron localizados mediante reuniones realizadas en tres localidades convocadas por autoridades locales (agente municipal) y agrícolas (comisariado ejidal), así como con información proveniente del departamento de Fomento Agropecuario municipal y centros locales de acopio de café (beneficios). Se conformó un padrón de 96 cafecultores, de los cuales se localizó y entrevistó a un total de 52 (54 %) cafecultores, incluidos 13 productores de la asociación local “*Santa Cruz Olintzi*”.

2.2.3 Medición de indicadores de capacidad de resiliencia

La obtención de información se obtuvo mediante entrevista a productores de café usando un cuestionario estructurado en seis secciones: 1) Eje social, 2) Eje económico, 3) Eje tecnológico, 4) Eje comunicaciones, 5) Eje institucional, y 6) Eje ambiental. El total de indicadores medidos a cada agroecosistema fue de 30 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Indicadores utilizados para medir la capacidad de resiliencia de agroecosistemas cafetaleros.

Dimensión	Indicador	Descripción
1. Social	1.1 Edad (Productores entre 15 y 65 años)	Productores con edad cumplida entre 15-65 años. (CEPAL, 2016; Peralta, 2016).
	1.2 Carencia en calidad y espacios de vivienda	Incluye las siguientes características de la vivienda: 1) piso de tierra, 2) el techo de la vivienda es de lámina de cartón o desechos, 3) Los muros de la vivienda son de barro o bajareque, carrizo, bambú y palma; así como de lámina de cartón, metálica o asbesto o material de desecho, y 4) la razón de personas por cuarto mayor a 2.5. (Twigg, 2007; Qasim <i>et al.</i> , 2016; CONEVAL, 2019).
	1.3 Acceso a servicios de salud	Productores derecho-habientes a servicios de salud. (Masterson <i>et al.</i> , 2014; Cabell y Oelofse, 2012).
	1.4 Creencia sobre el origen de los fenómenos naturales	Productores que consideran que los desastres climáticos son causados por una divinidad (Schmuck, 2000; Qasim <i>et al.</i> , 2016).
	1.5 Grado de escolaridad	Años de escolaridad de los productores (Twigg, 2007; Masterson <i>et al.</i> , 2014).
2. Económico	2.1 Relación ingreso-línea de bienestar	Equivale al valor mensual total de la suma de la canasta alimentaria y de la canasta no alimentaria por persona. (Twigg, 2007; Cabell and Oelofse, 2012; Qasim <i>et al.</i> , 2016; CONEVAL, 2019).
	2.2 Rentabilidad de café cereza	Es el rendimiento o ganancias a partir de lo invertido y en un determinado periodo de tiempo. (Rose 2009; Akter and Mallick, 2013; Espinoza <i>et al.</i> , 2016).
	2.3 Valor de producción por hectárea	Parcelas con remuneración económica mayor a 1 salario mínimo mensual (\$ 88.36). (CONASAMI, 2015).
	2.4 Seguro del cultivo	Parcelas con uno o más medios de cobertura de riesgos del cultivo. (Rose, 2009; Cutter <i>et al.</i> , 2010; Qasim <i>et al.</i> , 2016).
	2.5 Acceso a crédito	Productores con acceso a operaciones financieras o préstamo de dinero por alguna institución bancaria. (Twigg, 2007; Rose, 2009; Qasim <i>et al.</i> , 2016).
3. Tecnológico	3.1 Sistema de riego	Productores con infraestructura para riego. (Twigg, 2007; Rose 2007).

	3.2 Mecanización agrícola	Productores que utilizan herramientas agrícolas mejoradas y tecnología mecanizada (maquinaria) para labores del suelo, siembra, aplicación de fertilizantes y cosecha. (Rose, 2007; FAO, 2019).
	3.3 Nutrición mineral u orgánica del suelo.	Productores que hacen uso de fertilizantes y abonos orgánicos (Gliessman, 2002; Salgado <i>et al.</i> , 2013).
	3.4 Control de arvenses, plagas y enfermedades	Actividades realizadas en sus parcelas: deshierbe manual, uso de herbicidas, control químico de plagas, control biológico de plagas, manejo integrado de plagas, control químico de enfermedades, control biológico de enfermedades, control integrado de enfermedades (Twigg, 2007; FAO, 2019).
	3.5 Variedades mejoradas	Cultivares de café tolerantes al calor o sequía (Lin, 2011; Altieri y Nicholls, 2012; Singh <i>et al.</i> , 2015).
4. Institucional	4.1 Apoyo y asesoría técnica	Acceso a asesoría técnica con especialistas de instituciones de gobierno o privadas. (Twigg, 2007; Masterson <i>et al.</i> , 2014; CENAPRED, 2017).
	4.2 Atlas de riesgo para la agricultura municipal	Agroecosistemas dentro de ejidos, comunidades o municipio que tienen Atlas de Riesgo como medio para conocer los peligros que pueden afectar a la población y la infraestructura. (Twigg, 2007; Masterson <i>et al.</i> , 2014; Qasim <i>et al.</i> , 2016).
	4.3 Institución de protección civil municipal	Instituciones que fomentan actividades de prevención y mitigación de desastres naturales o desastres de origen antrópico en el municipio (Twigg, 2007; Masterson <i>et al.</i> , 2014; Qasim <i>et al.</i> , 2016).
	4.4 Respaldo del productor por parte de una organización de productores	Productores que se encuentran organizados en asociaciones, comités y otros (Twigg, 2007; Masterson <i>et al.</i> , 2014).
	4.5 Plan estratégico municipal sobre prevención de desastres en la agricultura	Parcelas dentro del territorio de administraciones públicas municipales que han incorporado elementos de planeación estratégica y evaluación en su funcionamiento. (Twigg, 2007; Qasim, 2016; CENAPRED, 2017).
5. Comunicaciones	5.1 Acceso a televisión	Productores con servicio de televisión (Twigg 2007; Qasim <i>et al.</i> , 2016).
	5.2 Acceso a radio	Productores con acceso a señales de audio vía ondas aterrizadas mediante un aparato electrónico o radio (Twigg, 2007).

	5.3 Conexión a internet	Productores con acceso a la web mediante computadora o teléfono inteligente (Twigg, 2007; Cabell and Oelofse, 2012; CENAPRED, 2017).
	5.4 Acceso a teléfono	Productores con servicio de telefonía fija o móvil que les permite tener comunicación con personas físicas o morales locales, nacionales o internacionales (Twigg, 2007).
	5.5 Acceso a la parcela	Vía de comunicación terrestre que enlaza a la parcela con las comunidades rurales y urbanas regionales y nacionales (Twigg, 2007; CENAPRED, 2017).
6. Ambiental	6.1 Erosión del suelo	Proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo (laminar y de cárcavas) por agentes como el agua o el viento. (FAO, 2009; Salgado <i>et al.</i> , 2013).
	6.2 Policultivo	Técnica mediante la cual se establecen diferentes cultivos o especies vegetales en una misma superficie (Gliessman, 2002). (Lin, 2011; Altieri <i>et al.</i> , 2015).
	6.3 Pendiente del terreno	Grado de inclinación del terreno (FAO, 2009)
	6.4 Estructura vegetal del cafetal	Es la estructura vegetal que cubre una porción de los agroecosistemas (Jardel, 2015).
	6.5 Calidad del suelo	Capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema o un agroecosistema (Acevedo <i>et al.</i> , 2015).

La segunda etapa consistió en visitar la parcela de cada productor para tomar datos *in situ* relacionados con el eje ambiental. Cada parcela fue georeferenciada (GPS *Garmin eTREX®*), las cuales fueron configuradas en coordenadas geográficas WGS 84-Datum. Para realizar la toma de datos, se estableció un conglomerado de muestreo de una hectárea (56.42 m de radio). Cada conglomerado estuvo constituido por cuatro sitios o subunidades circulares de 400 m² (radio de 11.28379 metros) con un punto central en el sitio de muestreo. La distribución de estos sitios corresponde a una “Y” invertida con respecto al norte, en la que el sitio 1 representa el centro del conglomerado y los sitios 2, 3 y 4 las unidades de muestreo periféricas. Los sitios 2, 3 y 4 se encuentran a 0°, 120° y 240° de azimut, respectivamente, y equidistantes a 45.14 metros del centro del conglomerado (CONAFOR, 2010) (Figura 19). Se tomaron datos de pendiente con un clinómetro digital (*Hanglof ECII*). Se hicieron observaciones sobre la presencia/ausencia de erosión laminar o de cárcavas (FAO, 2009) la presencia/ ausencia de asociaciones del cafetal con otros cultivos y la estructura vegetal de cada parcela (García y Schmidt, 2016).

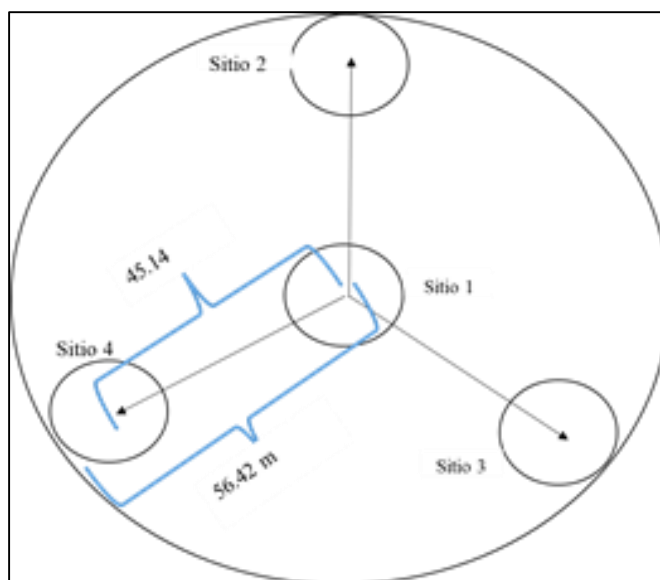


Figura 19. Trazado de cuatro transeptos orientados hacia cada punto cardinal utilizado para medir las características ambientales de la parcela.

La respiración del suelo se midió mediante una sonda portátil marca *Telaire*®. El muestreo del suelo consistió en tomar 10 submuestras por cada hectárea de cada parcela muestreada a 30 cm de profundidad. Las submuestras fueron mezcladas y se realizó una extracción de 2 kg que se almacenó en bolsas nylon de color negro. Cada muestra de suelo fue enviada al laboratorio para determinar parámetros físicos (Textura y densidad aparente) y parámetros químicos (macro y micro nutrientes). Para el análisis de las muestras de suelo se utilizaron los métodos establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000 (Salgado *et al.*, 2013).

2.2.4 Índice de capacidad de resiliencia

El índice de capacidad de resiliencia se estableció en una escala de 0–1 (Cutter *et al.*, 2010). Para ello, el índice de resiliencia estuvo integrado por 30 variables correspondientes a siete factores (social, económico, tecnológico, infraestructura, comunicaciones, institucional y ambiental). Estos factores fueron normalizados por el método de escalamiento mínimo-máximo (Cutter *et al.*, 2010). Para las variables donde los valores más altos corresponden a bajos niveles de resiliencia, el valor de las variables fue invertido. Los valores cercanos a 1 se consideran con alta capacidad de resiliencia, y los valores cercanos a 0 representan nula o baja capacidad de resiliencia (Cutter *et al.*, 2010).

Las variables estudiadas fueron del tipo: nominales, dicotómicas (Si= 1; No=0; presencia=1; ausencia =0) y ordinales (Nula= 0; Muy baja= 0.1-0.25 Baja = 0.26-0.49, media= 0.50-0.60, alta= 0.61-0.74, muy alta= 0.75-0.99 y excelente= 1) tal como se muestra en el Cuadro 13. Los valores capturados fueron acoplados con el programa *Qgis* versión 2.1 para generar un mapa de distribución con la técnica de interpolación espacial *Inverse distance weighting*.

Cuadro 13. Criterio utilizado para adjudicar valores a los indicadores y estandarizar su diversidad en una escala entre 0 y 1.

Capacidad de resiliencia	Rango
Excelente	1
Muy alta	0.75-0.99
Alta	0.61-0.74
Media	0.50-0.60
Baja	0.25-0.49
Muy baja	0.1-0.24
Nula	0

2.2.5 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva (tendencia central), análisis de frecuencias y gráficos circulares para variables dicotómicas y nominales. Se utilizó estadística multivariada para generar un análisis de clúster mediante la técnica *K-means*. Las diferencias entre la frecuencia de respuestas de variables con mayor y menor aporte a la capacidad de resiliencia de los indicadores ordinales fueron analizadas mediante el estadístico de X^2 (Chi-cuadrada) y las respuestas de variables dicotómicas mediante la prueba estadística de *Cochran*. Los valores del índice de capacidad de resiliencia, para cada variable, fueron promediados según el factor al que cada una corresponde. Para las diferencias entre el aporte de factores a la capacidad de resiliencia se utilizó la *prueba del signo* (Infante y Zarate de Lara, 2013). Finalmente, los valores de capacidad de resiliencia de cada agroecosistema fueron clasificados según la altitud (World Coffee Research, 2018) y fueron analizados mediante una regresión. El estadístico de *Kruskal-Wallis* se utilizó para determinar si existieron diferencias de capacidad de resiliencia en los agroecosistemas. Para lo anterior, se utilizó el paquete estadístico Statistica® 7.0.

2.3 Resultados

2.3.1 Índice de capacidad de resiliencia

Los indicadores que fueron medidos en los agroecosistemas de café presentaron dos patrones sobresalientes. De los 30 indicadores, la relación directa entre cafeticultores-indicadores presentó una frecuencia de 20 interacciones por lo que esta fue mayor comparada con la relación entre café-indicadores que mostró una frecuencia de 10 (Figura 20).

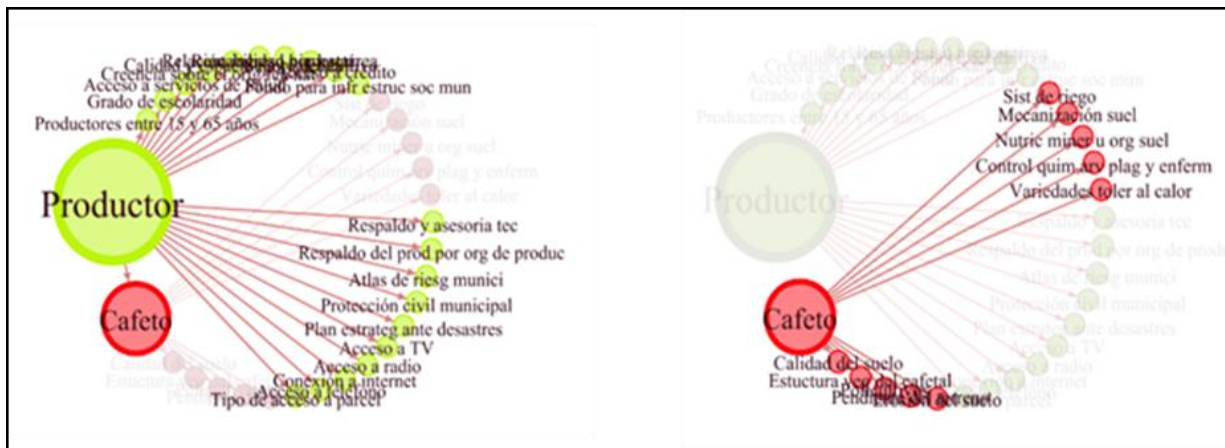


Figura 20. Interacciones internas de los agroecosistemas cafetaleros entre el caficultor-indicadores y cafetos-indicadores.

La representación mostrada permite identificar los principales protagonistas de los agroecosistemas quienes direccionan el manejo del mismo y que, en caso de ser necesario, es a quienes se deben enfocar las estrategias para tener una resonancia mayor dentro del agroecosistema. La trayectoria actual de los agroecosistemas estudiados mostró que los indicadores con mayor aportación a la capacidad de resiliencia se encuentran agrupados en indicadores de la dimensión social (80 %), ambiental (80 %), institucional (60 %) y de comunicaciones (60 %) y, por el contrario, los indicadores que aportan menos a la capacidad de resiliencia se encuentran agrupados en las dimensiones tecnológica (80 %) y económica (100 %) (Figura 21).

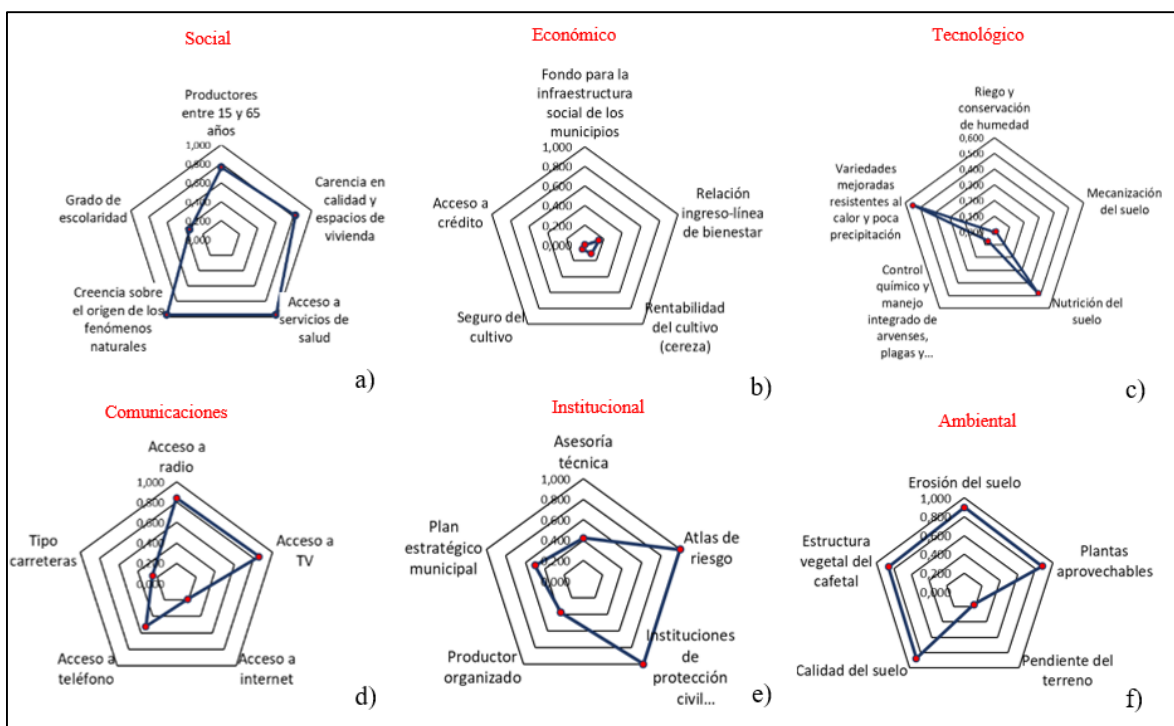


Figura 21. Estado actual de la estructura del agroecosistema cafetalero y los indicadores (n=30) con mayor y menor aporte a la (CRAC). En donde a) Cuatro indicadores sociales con valores positivos para CRAC, b) indicadores económicos con aporte nulo a CRAC, c) dos indicadores tecnológicos con aporte positivo para CRAC, d) comunicaciones, con dos indicadores positivos para CRAC, e) institucional con dos indicadores positivos para CRAC, y f) ambiental, con cuatro indicadores positivos para CRAC.

Los indicadores más fortalecidos confieren valores que benefician al índice de capacidad de resiliencia y por consecuencia mayor resistencia al agroecosistema ante un escenario de cambio. En la dimensión social se presentó mayor aglomeración de indicadores con valores positivos para la capacidad de resiliencia y que, además, están relacionados principalmente con el caficultor, quien a su vez toma decisiones que direccionan el manejo del agroecosistema. Sin embargo, el indicador que mide el “grado de escolaridad del productor” presentó una frecuencia de 40 productores (77 %) con grado escolaridad bajo lo que podría ser un factor que haga más lenta la adopción de nuevas tecnologías agrícolas. Es importante mencionar que el indicador “Acceso a servicios de salud” presenta un valor de “excelente” debido a que los 52 productores (100 %) cuentan con este servicio asistencial por parte del gobierno mexicano.

Otro grupo de indicadores positivos fueron los relacionados con la dimensión ambiental, los cuales debido a las características de producción del café permitieron una frecuencia de 50 (96 %)

productores con calidad del suelo excelente, 43 (82 %) con una estructura interna de vegetación cafeto-herbáceas-arbustos-árboles, lo que se considera una relación armoniosa entre el AES-café y la vegetación nativa debido a que los cafetales pueden ser considerados como elementos que forman parte de corredores biológicos (Jha *et al.*, 2011). La calidad del suelo determinada es resultado en gran medida del ciclaje constante de material vegetal y animal que se incorpora al suelo. Aunado a lo anterior, existen otros factores que fortalecen las capacidades ambientales como: la ausencia de labores de mecanización del suelo, la ausencia de erosión (47 productores), así como las precipitaciones abundantes propias del clima semicálido-húmedo y templado húmedo que estimulan la descomposición de la materia orgánica. Las condiciones ambientales propician que en los agroecosistemas puedan aprovecharse diversas plantas con usos comestibles, como follajes o maderables por lo que 46 productores (88 %) utilizan los vegetales como recursos forestales maderables y no maderables. Sin embargo, la orografía del área de estudio muestra pendientes pronunciadas en el terreno por lo que 45 (86 %) presentaron pendientes pronunciadas que serían un problema si no existiera la vegetación.

Otra dimensión sobresaliente fue la institucional, en donde el indicador “acceso a asesoría técnica”, reportó que 30 caficultores (58%) no tuvieron asesoría por parte de técnicos y 22 (42 %) sí tuvieron acceso. La asesoría técnica es sustancial porque permite el desarrollo de nuevas capacidades del productor. El indicador sobre “*organización del productor*” mostró que 32 (61 %) productores no están organizados y 20 (38 %) caficultores sí. Sin embargo, es sustancial fomentar la organización de productores porque esto permitiría enfrentar, en grupo las crisis que puedan derivarse de fenómenos desencadenados por el cambio climático u otra perturbación. Los indicadores mejor reforzados en esta dimensión fueron los relacionados con la prevención de desastres naturales. Sin embargo, aunque existe un atlas de riesgo para la región, es necesario precisarlo para que los caficultores identifiquen los riesgos a los que el agroecosistema está expuesto y por consiguiente, se determinen qué medidas preventivas implementar para evitar un daño significativo ocasionado por nuevas plagas o crisis económicas en el corto, mediano y largo plazo.

Los indicadores de la dimensión comunicaciones con mayor aporte a la (CRAC) fueron: *acceso a radio*, con 48 (92 %) productores de un total de 52 y, *acceso a televisión*, con 45 (86 %) productores, seguido del *acceso a teléfono* con 38 (73 %) productores. Sin embargo, el indicador *acceso a la parcela* fue negativo debido a que 49 (94 %) presentaron acceso mediante *camino*s

empedrados y respecto al acceso a Internet 42 (80 %) productores no lo tienen. Las vías de comunicación permiten estar conectados con el exterior y tener acceso a la información lo que en el contexto de los desastres permitiría tomar medidas de prevención ante los posibles fenómenos que puedan causar daños por lo que es necesario ampliar la cobertura de medios al alcance del productor. La ausencia de servicios de comunicación es una forma de exclusión en el proceso de desarrollo y el disfrute de sus beneficios.

En relación con los indicadores con menor aporte a la (CRAC) de los agroecosistemas cafetaleros destacan los agrupados en la dimensión económica, donde 45 (86 %) productores obtienen del café beneficios por debajo de la línea de bienestar y 39 (75 %) productores no les es rentable cultivar café. Los 52 (100 %) productores entrevistados no tienen acceso a crédito y seguro de su cultivo y no existe acceso a un fondo para infraestructura social que atienda los agroecosistemas de café.

La dimensión tecnológica y sus indicadores, también presentaron frecuencias negativas para la CRAC. Así, los agroecosistemas de café estudiados se consideran de temporal debido a que los 52 (100 %) dependen de las precipitaciones, 51(98%) productores no realizan mecanización del terreno, 27 (52 %) no hacen uso de agroquímicos para prevenir plagas o enfermedades. Sin embargo, entre los indicadores de la dimensión tecnológica con más aporte a la (CRAC) sobresale la nutrición del suelo o aplicación de fertilizante, donde 41(79 %) productores aplicaron fertilizante seguido por indicador variedades resistentes al calor en donde 29 (56 %) productores cultivan variedades resistentes al calor, enfermedades y plagas. Los fertilizantes y las variedades utilizadas en el AES-café son tecnologías auspiciadas por la Secretaria de Agricultura (SADER). La agricultura de temporal es vulnerable ante un escenario de sequía y ante un desastre generado por un fenómeno natural, la ausencia de mecanización del suelo y el resembrado manual de plantas haría lento el establecimiento del nuevo agroecosistema.

2.3.2 Aporte de los indicadores a la capacidad de resiliencia

Entre los indicadores en escala ordinal que obtuvieron mayor frecuencia positiva o que aportan a la (CRAC) en los agroecosistemas sobresalen la estructura vegetal y calidad del suelo (Figura 22) que presentaron diferencias significativas ($X^2=86.316$ $P<0.005$) con relación a seis indicadores más.

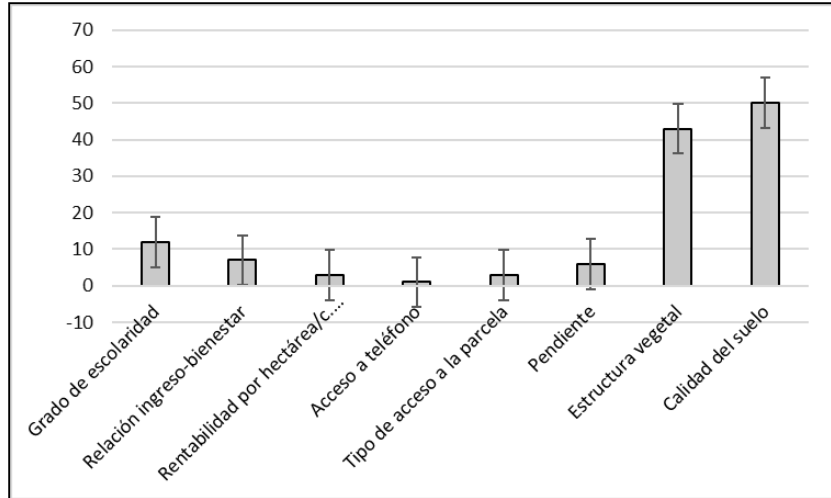


Figura 22. Frecuencia de indicadores ordinales positivos para la capacidad de resiliencia de 52 fincas cafetaleras.

En relación con indicadores (en escala ordinal) negativos o con menor aporte a la CRAC sobresalen el acceso a la parcela, la pendiente del terreno, la relación ingreso-bienestar del productor, el grado de escolaridad y la rentabilidad por hectárea, los cuales presentan diferencias significativas ($X^2=101.676$ $P<0.005$) respecto al acceso a teléfono y la estructura vegetal (Figura 23).

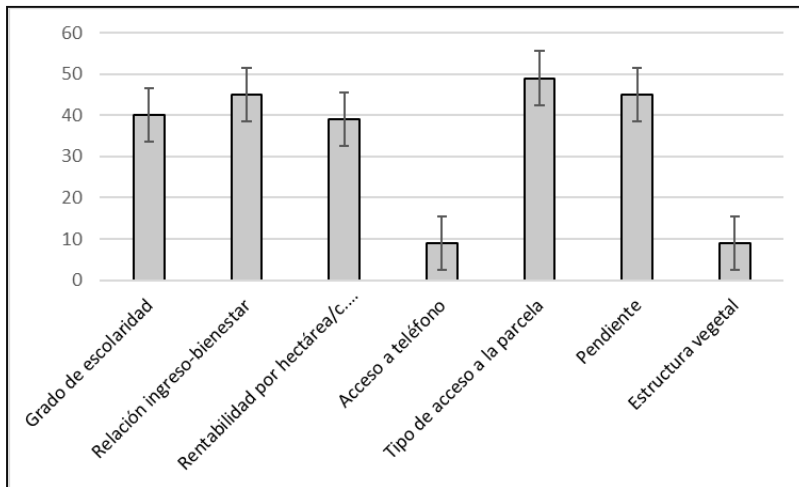


Figura 23. Frecuencia de indicadores ordinales negativos para la capacidad de resiliencia de 52 fincas cafetaleras.

Respecto a los indicadores con respuesta dicotómica y con mayor cantidad de frecuencia de respuestas positivas fueron: “acceso a servicios de salud”, “percepción sobre el origen de

fenómenos naturales”, “presencia de atlas de riesgo”, “instituciones de protección civil” y “plan estratégico de protección civil” (Figura 24).

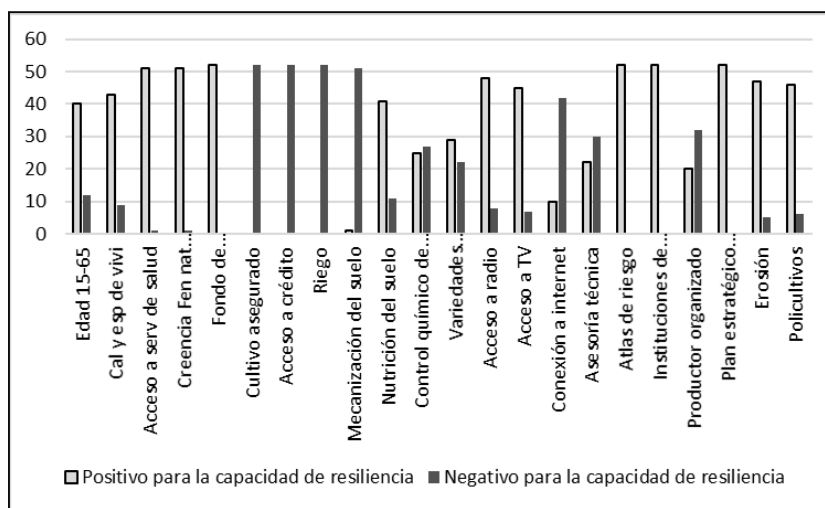


Figura 24. Frecuencia de indicadores con respuesta dicotómica positiva y negativa para la capacidad de resiliencia de 52 fincas cafetaleras.

Entre los indicadores negativos con respuesta dicotómica sobresalen el cultivo asegurado, acceso a crédito, sistema de riego, mecanización del suelo, conexión a Internet, productor organizado y acceso a asesoría técnica. *Cochran Q* Test N:51, $Q = 671,2565$, $df = 21$, $p < 0,000000$. En promedio, los valores de los indicadores integrados en seis dimensiones que menos aportaron a la capacidad de resiliencia de los agroecosistemas fueron la dimensión económica la cual presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < ,05000$) respecto al resto de las dimensiones (Figura 25).

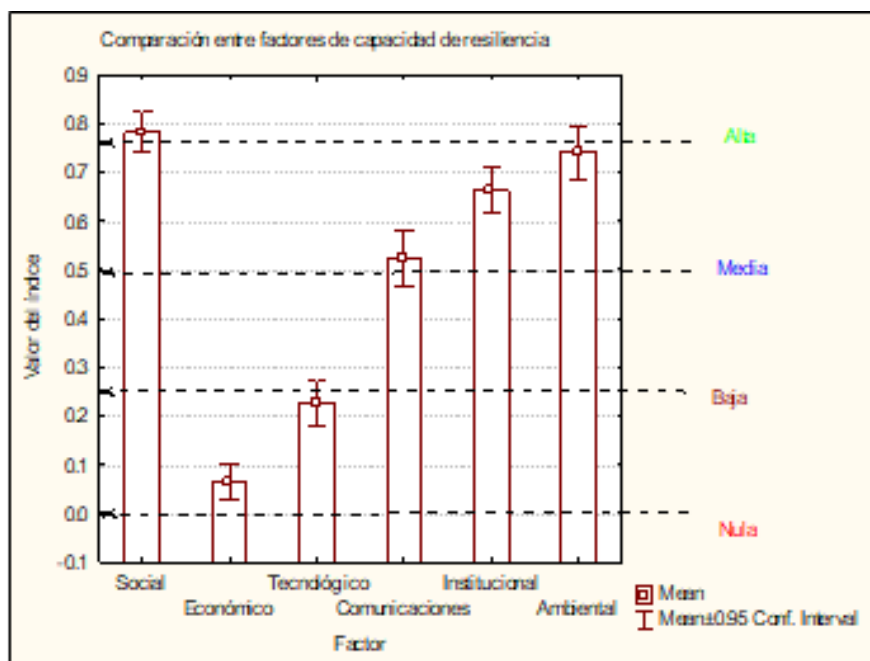


Figura 25. Comparación entre los factores integradores de la capacidad de resiliencia del agroecosistema café.

Desde un enfoque productivista resulta preocupante que el cultivo de café como actividad productiva no permita la obtención de ganancias suficientes para los productores. Lo anterior, se relaciona directamente con los precios bajos del mercado, con el rendimiento bajo, la pequeña superficie y con la presencia de enfermedades como la roya la cual disminuye el rendimiento hasta en un 30 % (Leyva, 2010).

2.3.3 Distribución geo-espacial de la capacidad de resiliencia del agroecosistema cafetalero

De las 52 fincas muestreadas, 29 (56%) presentaron capacidad de resiliencia baja, 16 (31%) capacidad de resiliencia media y 7 (13%) con capacidad de resiliencia alta. Se observó una tendencia en la que las fincas con CRAC alta se distribuyeron a una altitud menor y a medida que la CRAC disminuyó la altitud aumentó (Figura 26).

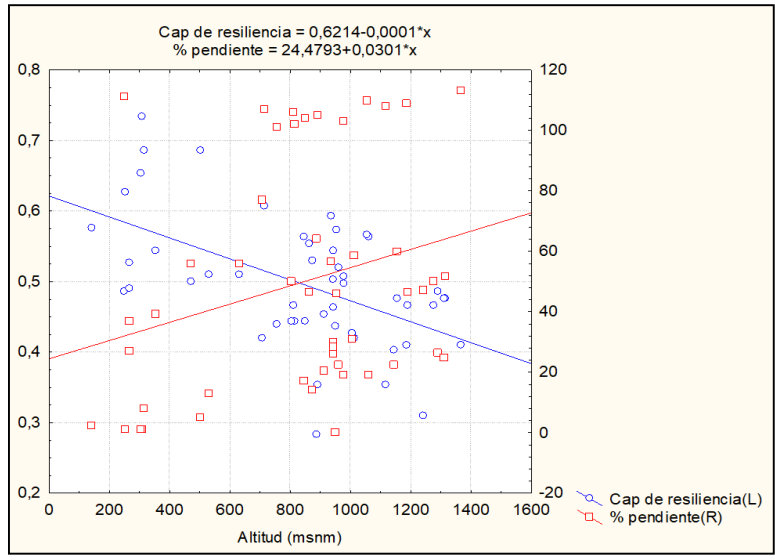


Figura 26. Efecto de la altitud sobre el tipo de relieve y la distribución de la CR de los agroecosistemas.

Se encontraron diferencias significativas entre los valores medios del índice de CRAC (KW-H $P < 0.05$) distribuidos según la clasificación de altitud óptima para el cultivo de café (World Coffee Research, 2018) en donde existen tres categorías: altitud baja, media y alta. Las fincas ubicadas a una altitud baja presentan mayor CRAC con diferencias significativas respecto a la CRAC de agroecosistemas localizados a una altitud media y baja (Figura 27).

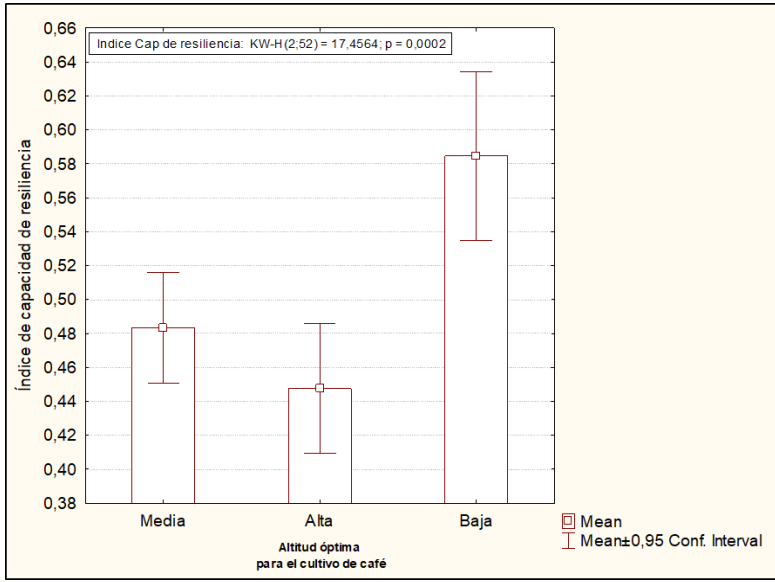


Figura 27. Comparación entre la CRAC de las fincas de café localizadas en tres categorías de altitud.

A escala regional, la altitud (msnm) influyó en forma de panarquía sobre la distribución de la capacidad de resiliencia. Para este caso, se puede considerar que el relieve (a escala regional) mediante la altitud ejerce efecto sobre los indicadores de cada agroecosistema. Lo anterior, tiene como consecuencia un efecto en cascada sobre las dimensiones o factores en las que se integran los indicadores y estas dimensiones a su vez influyen en la distribución de la capacidad de resiliencia (Figura 28). A mayor altitud existe un relieve más abrupto con pendientes pronunciadas que limita el acceso a servicios y las labores básicas de agricultura como la mecanización del suelo, la densidad de siembra o el acceso a riego y acceso para sacar la cosecha, por mencionar algunos.

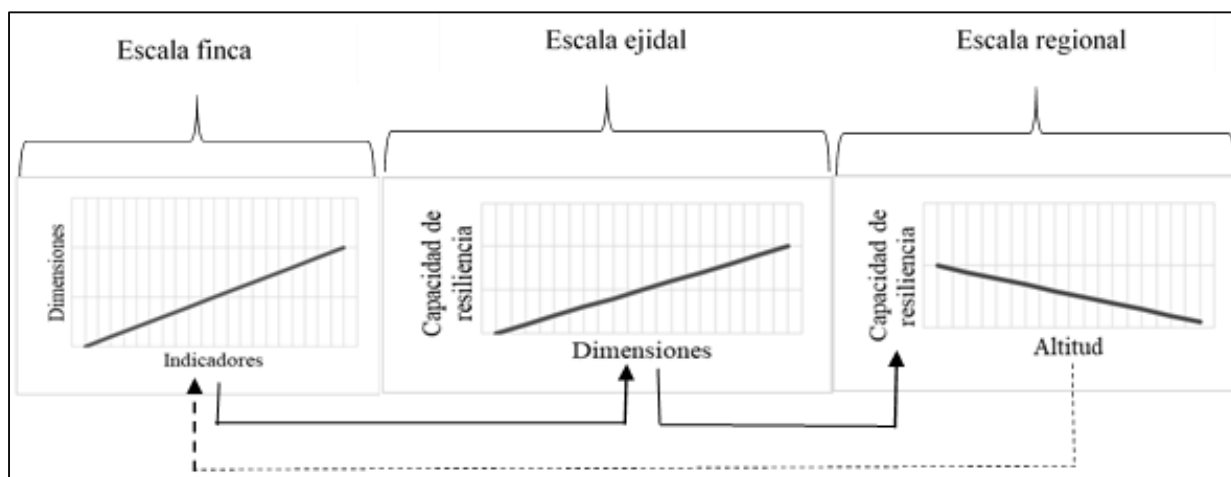


Figura 28. Interacción de escalas cruzadas en diferentes dimensiones y relacionadas a la CRAC.

Cabe resaltar que los productores con CRAC alta presentan mayor conectividad con el exterior al presentar en promedio cuatro medios de comunicación (Figura 29). Por el contrario, los administradores con CRAC media y baja presentan en promedio dos dispositivos de comunicación.

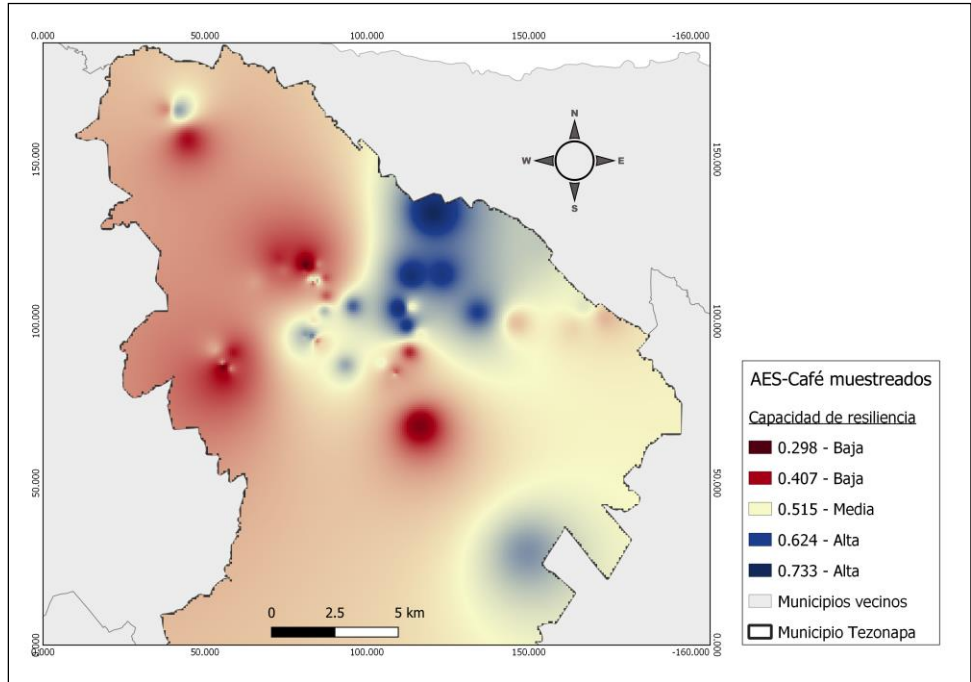


Figura 29. Distribución geoespacial de la CRAC en donde las frecuencias de valores de baja CRAC están asociadas a áreas con relieve más escarpado y con menos servicios.

Existe evidencia documentada sobre como la orografía influye en la marginación y ocasiona rezago social, económico, de infraestructura y tecnológico en la población (Morales, 2015). Las áreas geográficas escarpadas son consideradas de difícil acceso lo que podría dificultar y limitar el proceso de producción y comercialización del cultivo de café y en consecuencia ocasionar menor CRAC comparado con los agroecosistemas en zona de valle.

2.4 Conclusiones

Los indicadores que menos aportaron al índice de CRAC y que, en consecuencia, presentaron un efecto negativo fueron los relacionados con los factores económico y tecnológico. Por lo anterior, es necesario que se fortalezcan principalmente las debilidades detectadas en el eje económico y tecnológico, debido a que los agroecosistemas podrían alcanzar y rebasar su límite de resistencia, y migrar a una etapa de no retorno. Los tres niveles de CRAC de las fincas muestreadas fueron influenciados por el efecto de una panarquía originada a partir del macro-sistema relieve. Debido a lo anterior existe la tendencia de que las fincas con CRAC alta se distribuyan en zonas con baja altitud y conforme se asciende se presentaron las fincas con CRAC media, y en las zonas con mayor altitud se distribuyeron las fincas con CRAC baja.

2.5 Literatura citada

- Acevedo, E., M. Carrasco, O. León, E. Martínez, P. Silva, G. Castillo, I. Ahumada, G. Borie, y S. Gonzáles. 2005. Criterios de Calidad de Suelo Agrícola. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 205 p.
- Aguirre M.J.C., J.G. Campana M., y E. L. Guerrero Y. 2017. Conectividad para el desarrollo agrícola: una mirada de largo plazo. FAO, Lima, Perú. 79 p.
- Allen R.C., D. Angeler G., A.S. Gamesrtani, L. H. Gunderson, and C.S. Holling. 2014. Panarchy: theory and application. *Ecology* 17: 578-589.
- Altieri M., and C. Nicholls. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático principios y consideraciones metodológicas. In: Nicholls C. y M. Altieri. (ed). *Agroecología y cambio climático: metodologías para evaluar la resiliencia en comunidades rurales*. REDAGRES, Lima, Perú. 7-21.
- Altieri M.A., C.I Nicholls, A. Henao, and M. Lana A. 2015. Agroecology and the desing of climate change resilient systems. *Agronomy for sustainable development* 35: 869-890.
- Akter S., and Mallick, B. 2013 The poverty-vulnerability-resilience nexus: Evidence from Bangladesh. *Ecological Economics* 96:114-124.
- Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFE). 2017. Análisis del mercado de consumo de café en México 2016. https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/08/Euromonitor_Informe_An%C3%A1lisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf
- Cabell F. J., and M. Oelofse. 2012. An indicator framework for assesing agroecosystem resilience. *Ecology and Society* 17: 18. [dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118](https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118)
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 2017. Índice de Resiliencia a nivel municipal. Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos Subdirección de Estudios Económicos y Sociales. CENAPRED, Ciudad de México. 59 p.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). 2014. Producción y mercado de café en el mundo y México. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/39Reporte_Producci%C3%B3n_y_mercado_de_caf%C3%A9_-_Cedrssa_2014.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2016. Observatorio demográfico 2016. CEPAL, Santiago de Chile. 140 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. CONAFOR. Zapopan, Jalisco, México. Pp 1-20.
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J.P., López-Ortiz, S., Landeros-Sánchez, C., López-Romero, G. y Peña-Olvera, B. 2015 El agroecosistema comprendido desde la teoría de sistemas sociales autopoieticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(4): 855–865.

- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2018. Medición de la pobreza. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Preguntas-frecuentes.aspx>
- Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (CONASAMI). 2015. Salarios mínimos. http://www.conasami.gob.mx/salarios_minimos.html. (Consultado 01 diciembre de 2018).
- Cutter, Susan L.; Burton, Christopher G.; and Emrich, Christopher T. 2010. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 7:1-22.
- Espinoza G.J.A., J. Uresti G., A. Vélez I., G. Moctezuma L., D. Uresti D., S.F. Gongora G., y H.D. Inurreta A. 2016. Rentabilidad y productividad potencial del café (*Coffea arabica*) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 2011-2014.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2016. Panorama agrolimentario: café. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200636/Panorama_Agroalimentario_Caf_2016.pdf. (consultado el 15 octubre de 2018).
- Folke C. 2016. Resilience. *Ecology and Society* 21: 44.
- Food and agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2009. Guía para la descripción de suelos. FAO, Roma, Italia. Pp 9-17.
- Food and agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2019. Sustainable agricultural mechanization. <http://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/overview/what-is-sustainable-mechanization/en/>. (Consultado el 22 de noviembre de 2018).
- Gao, J. Barzel, B. and Barabási, A. L. 2016. Universal resilience patterns in complex networks. *Nature* 530: 307-312.
- García A. N. y M. Schmidt. 2016. Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONBIO). 206 pp.
- Gliessman S. R. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica: Sleeping Bear Press. 359 p.
- Gunderson L, and C.S. Holling. 2002. Panarchy understanding transformations in human and natural systems. Island Press. Michigan, United States. 507 p.
- Gunderson L. 2008. Panarchy: in Fath D.B. *Encyclopedia of ecology*. Second edition. Elsevier. Londres, United Kindon. Pp 612-616
- Hernández N.J.F., S. Thomas S., and K. Garret A. 2014. Climate change and plant disease. *Encyclopedia of agriculture and food systems* 2: 232-243.
- Infante G. S. y G.P. Zárate de Lara. 2013. Métodos estadísticos un enfoque interdisciplinario. Tercera edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 605p

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/>. (Consultado el 05 de octubre de 2018)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>. (Consultado el 05 de octubre de 2018)
- Jardel P.E.J. 2015. Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 100 p.
- Jha S., C. Bacon M., S. Philpott M., R. Rice A., V. Méndez E., and P. Landerach. 2011. A review of ecosystem services, farmer livelihoods, and value chains in shade coffee agroecosystems. *In*: Campbell W.B., and S. López O. (eds). Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourims: examples from the field. Issues in Agroecology. Springer science, London, England. pp: 141-208.
- Leyva M. G. 2010. Principales enfermedades del café (*Coffea arabica* L.). Agroproductividad 2: 3-15.
- Laszlo, A and Krippner, S. 1998. Chapter 3 Systems theories: Their origins, foundations, and development. *Advances in Psychology*. 126. pp. 47–74.
- Lin B. B. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *Bioscience* 61: 183-193.
- Manson R.H., H. Ortíz V., Gallina S. y K. Mehltreter (Eds). 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad manejo y conservación. Instituto de Ecología A.C. e Instituto Nacional de Ecología. México. 348 p.
- Masterson, J.H., Peacock, W.G., Zandt S.S.V., Grover H., Schwarz L.F., and Cooper, J.T.C. 2014. Planning for community resilience: a handbook for reducing vulnerability to disasters. Island Press. Washington D.C. 255 P.
- Morales H. R. 2015. Análisis regional de la marginación en el estado de Guerrero, México. *Papeles de población* 84: 251-274.
- Peralta S. E.F. 2016. La productividad de la población económicamente activa (PEA) en México: historia, panorama actual y perspectiva. *Entreciencias* 10: 165-175.
- Peterson C.A., V. T. Eviner, and A.C. Gaudin. 2018. Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems* 162: 19-27.
- Qasim, S. M., Shrestha, R. P., Khan, A. N., Tun, K., and Ashraf, M. 2016. Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 18: 100–106.
- Rose, A. Z. 2007. Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environment. Hazards* 7: 383–398.
- Rose A. Z. 2009. Economic Resilience to Disasters. *Published Articles & Papers*. Paper 75. 58p.

- Salgado G. S., D.J. Palma L., M. Castelán E., L.C. Lagunes E., y H. Ortiz L. 2013. Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduado Tabasco. Heroica Cárdenas, Tabasco, México. 101 p.
- Schmuck A. 2000. An act of Allah: religious explanations for floods in Bangladesh as survival strategy. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 18: 85-96.
- Singh R. P., P. Vara V., and P. K. Raja R. 2015. Climate Change: Implications for Stakeholders in Genetic Resources and Seed Sector. *Advances in Agronomy* 129: 117-180.
- Twigg J. 2007. Características de una comunidad resiliente ante los desastres. Primera edición. Departamento para el desarrollo Internacional del Gobierno del Reino Unido. Londres Inglaterra. 42 P.
- Walker B., and S. Carpenter. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9:
- Walker, B.H., Sayer, J., Andrew, N.L., and Campbell, B., 2010. Should enhanced resilience be an objective of natural resource management research for developing countries?. *Crop Science* 50, 10–19.
- World Coffee Research. 2018. Las variedades del café arábica. Portland, Oregon, Estados Unidos. 72 p.
- Zamarripa Colmenero, A. y E. Escamilla Prado. 2002. Variedades de café en México: origen, características y perspectivas. Huatusco, CRUO-Universidad Autónoma Chapingo/Fundación Produce de Veracruz A. C. 39 p.

CAPITULO III. RESILIENCIA DEL AGROECOSISTEMA CAFÉ ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Resumen

El café es uno de los Agroecosistemas mas importantes para Mexico por su contribución con divisas y productores involucrados. Sin embargo, el cambio climático es una de las amenazas que enfrenta el cultivo. El objetivo fue determinar el impacto del cambio climático sobre la resiliencia del agroecosistema café. Se utilizó el programa *Maxent* para modelar el escenario actual y el escenario futuro. El escenario actual fue desarrollado utilizando variables bioclimáticas obtenidas de la base de datos *Worldclim* con registros del clima durante el periodo 1960-1990 y datos de la distribución actual de *C. arabica* obtenidos de 34 bases pertenecientes a herbarios, colecciones botánicas y estudios florísticos realizados en México. Además, también fueron consideradas las 52 fincas muestreadas en este estudio en donde se registró la presencia de *C. arabica*. Posteriormente, se calcularon las similitudes entre los valores ambientales y los valores del nicho de *C. arabica*. Para el escenario futuro, se modeló el impacto del cambio climático con base a proyecciones para el año 2050 utilizando tres modelos climáticos globales: CCCMA, HADCM3 y CSIRO. Las variables utilizadas fueron analizadas mediante el programa *Statistica® 7.0*. Los resultados de temperatura mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones actuales y futuras ($1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P > .05$) y para el caso de la precipitación, una disminución en la precipitación mínima del periodo más seco y la precipitación media del trimestre más lluvioso de 6.135 y 25.5 mm respectivamente. También, se determinó que el cambio climático afectó a 45 AES-café mediante condiciones ambientales no óptimas para el cultivo de la especie, las cuales también fueron consideradas como áreas no resilientes. Sin embargo, aunque en menor proporción, también se determinaron siete 7 fincas (13 %) que fueron consideradas como resilientes. Se concluyó que después de 2050, las condiciones del clima para el cultivo de café cambiarán y como consecuencia la mayor proporción de AES-café quedarán fuera de las condiciones ambientales óptimas. Por el contrario, existirán fincas dentro del área con condiciones para el cultivo de *C. arabica* por lo que serán resilientes al cambio climático, pero deberán establecer estrategias precisas de adaptación ante las perturbaciones que se presenten en el futuro inmediato.

Palabras clave: adaptación, sistema, socioecológico, sustentabilidad, impacto

Abstrac

This paper aimed to determine the impact of climate change on the resilience of the coffee agroecosystem. The *Maxent* program was used to model the current scenario and the future scenario. The current scenario was developed using bioclimatic variables obtained from the *Worldclim* database with climate records during the 1960-1990 period and data on the current distribution of *C. arabica* obtained from 34 bases belonging to herbariums, botanical collections and floristic studies carried out in Mexico. In addition, there were also 52 farms sampled in this study where the presence of *C. arabica* was found. Subsequently, the similarities between the environmental values and the values of the *C. arabica* niche were calculated. For the future scenario, the impact of climate change was modeled based on projections for the year 2050 using three global climate models: CCCMA, HADCM3 and CSIRO. The variables used were analyzed using the *Statistica*® 7.0 program. The temperature results showed statistically significant differences between current and future conditions (1.6°C $p > .05$) and in the case of precipitation, a decrease in the minimum rainfall of the driest period and the average rainfall of the wettest quarter of 6,135 and 25.5 mm respectively. Also, it was determined that climate change affected 45 AES-coffee through non-optimal environmental conditions for the cultivation of the species, which were also considered as non-resilient areas. However, although to a lesser extent, seven (13 %) farms-coffee were also determined that were considered as resilient. It was concluded that after 2050, the weather conditions for coffee cultivation will change and as a consequence the greater proportion of farms-coffee will be outside the optimal environmental conditions. Conversely, there will be farms-coffee within the area with conditions for the cultivation of *C. arabica*, so they will be resilient to climate change, but they must establish precise adaptation strategies in the face of disturbances that arise in the immediate future.

Key words: adaptation, social-ecological system, sustainability, impact.

3.1. Introducción

Los cambios del clima global han estado presentes a lo largo de la historia geológica del planeta. Sin embargo, desde el año 1800 (considerado como el comienzo del Antropoceno) hasta el año actual, la concentración de gases de efecto invernadero ha aumentado en la atmósfera principalmente por la emisión de carbono proveniente de la combustión de derivados del petróleo y la disminución constante de la masa forestal global (Quante, 2010; Hallegatte, 2014). Por lo anterior, se puede considerar que el cambio climático actual ha sido provocado por el ser humano. De acuerdo al IPCC (2015) se define como una variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades que existe durante largos periodos de tiempo generalmente decenios o periodos más largos.

El cambio climático conlleva al aumento de la temperatura, la variabilidad en las precipitaciones y al aumento de la frecuencia de sequías. Se espera que el cambio climático impacte la distribución de comunidades vegetales silvestres y a los agroecosistemas con consecuencias como la pérdida de agrobiodiversidad, la disminución de la producción agrícola, la disminución de la seguridad alimentaria y el aumento del precio de los alimentos (Moukrim *et al.*, 2017). Sin embargo, en el caso de los cultivos, el impacto puede ser negativo para algunas especies y positivo para otras. Para el caso de *Coffea arabica*, actualmente, existen áreas que no son propicias para su cultivo principalmente por las condiciones climatológicas, pero que en el futuro y por efecto del cambio climático estas podrían desarrollar las condiciones aptas para el cultivo de café (Schroth *et al.*, 2015). Sin embargo, el área actual de cultivo de *C. arabica* (la especie de café de mayor calidad) será afectada severamente debido a la reducción de las condiciones ambientales propicias para su desarrollo. A nivel mundial, países como Indonesia podrían aumentar la producción de café debido a la aparición de nuevas áreas propicias, y en países de Latinoamérica podría declinar la producción debido a la reducción de superficie apta para el cultivo (Schroth *et al.*, 2015). En Mesoamérica, la reducción del área cultivable de *C. arabica* sería entre 55-62 % principalmente en altitudes entre 400-700 msnm y esta pérdida podría ser parcialmente compensada con un aumento entre 9-13 % de superficie en tierras con altitud mayor a 1800 msnm (Sousa, 2019).

Ante los escenarios del cambio climático los agroecosistemas buscan adaptarse a las nuevas condiciones que se presenten en el ambiente. La resiliencia como propiedad emergente, se presenta después de la etapa de adaptación y se define como la tendencia de un sistema socio-ecológico

sujeto a cambio y a permanecer dentro de un dominio de estabilidad, cambiando y adaptándose continuamente, pero permaneciendo dentro de umbrales críticos (Folke, 2010).

Sin embargo, cuando existe una perturbación externa que altera los procesos de retroalimentación de los sistemas, se propicia un cambio que modifica la estructura y función del AES. A medida que se avanza en la escala temporal, las perturbaciones ejercen presión promoviendo que el AES pierda estabilidad, disminuya la capacidad de expresar resiliencia y finalmente se rebase el límite y se realice un cambio de régimen (Sheffer y Carpenter, 2003; Folke, 2006; Shackleton *et al.*, 2018). Es probable que el agroecosistema café del área de estudio sea impactado por el cambio climático, mediante el aumento de la temperatura y disminución de la precipitación las cuales actúan como una perturbación externa que conduce al agroecosistema café a un cambio de régimen que es representado por condiciones ambientales no aptas para el cultivo de café y que impiden la expresión de resiliencia del agroecosistema. Por lo anterior, el objetivo fue modelar con base a los escenarios del IPCC el efecto del cambio climático sobre la resiliencia del agroecosistema cafetalero en la región de Tezonapa.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1 Impacto del cambio climático

Los datos climáticos importados para modelar la distribución actual y futura de *C. arabica* fueron extraídos gratuitamente de la base de datos mundial Worldclim (Hijmans *et al.*, 2005; Schroth *et al.*, 2009; Schroth *et al.*, 2015). La base de datos está integrada por 19 variables bioclimáticas y datos climáticos mensuales relacionados directamente con los aspectos fisiológicos de las plantas (Cuadro 14). Para realizar la modelación de la distribución actual de *C. arabica* y lograr una mejor comprensión del área de estudio, primero se procedió a delimitar las condiciones climáticas en un cuadrante entre las coordenadas X -96.9504 - -96.58424 y las coordenadas Y -18.83333 - 18.33494.

Cuadro 14. Variables del clima utilizadas como referencia para modelar la distribución actual y futura de *C. arabica*.

(Bio1) Temperatura promedio anual	(Bio10) Temperatura promedio en el trimestre más caluroso
(Bio2) Rango medio diurno (temp max – temp min; promedio mensual).	(Bio11) Temperatura promedio en el trimestre más frío
(Bio3) Isotermalidad (Bio1/Bio7) * 100	(Bio12) Precipitación anual
(Bio4) Estacionalidad en temperatura (coeficiente de variación).	(Bio13) Precipitación en el período más lluvioso
(Bio5) Temperatura máxima del período más caliente.	(Bio14) Precipitación en el período más seco
(Bio6) Temperatura mínima del período más frío.	(Bio15) Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
(Bio7) Rango anual de temperatura	(Bio16) Precipitación en el trimestre más lluvioso
(Bio8) Temperatura media en el trimestre más lluvioso.	(Bio17) Precipitación en el trimestre más seco
(Bio9) Temperatura promedio en el trimestre más seco	(Bio18) Precipitación en el trimestre más caluroso
	(Bio 19) Precipitación en el trimestre más frío

Fuente: worldclim (2019).

3.2.2 Modelado de la distribución actual de *Coffea arabica*

Las 19 variables climáticas fueron archivadas en formato *.grd para posteriormente ser exportadas como archivo ASCII (*.asc). Cada variable analizada contiene registros hechos en estaciones meteorológicas durante 30 años en el periodo de 1960 a 1990 (Hijmans *et al.*, 2005). Para obtener determinar la distribución actual y potencial de *Coffea arabica*, los datos meteorológicos fueron modelados mediante el software *Maxent* y su algoritmo de máxima entropía (Schroth *et al.*, 2009; Scheldeman y Van Zonne, 2011). Dicha modelación fue realizada con base a la identificación de ambientes similares a aquellos donde ya se ha encontrado la presencia de *C. arabica* como áreas de posible incidencia. Los datos de ocurrencia de *C. arabica* fueron obtenidos de 34 bases de datos pertenecientes a herbarios, colecciones botánicas, estudios florísticos y 52 registros realizados en el área de estudio. Con los datos de ocurrencia de *C. arábica* se realizó un análisis de presencia y ausencia potencial basada en la interacción con las 19 variables ambientales. En el área de estudio, se calcularon las similitudes entre los valores ambientales en cada celda específica y los valores del nicho de *C. arábica* (Scheldeman y Van Zonne, 2011).

3.2.3 Modelación del impacto del cambio climático y su impacto en la resiliencia

Para generar una evaluación rápida del impacto potencial del cambio climático en la distribución de las condiciones agroecológicas del café se procedió a detectar los cambios de distribución del café basadas en las condiciones climáticas actuales incluidas las áreas de distribución potencial y en las preferencias climáticas actuales de la especie bajo condiciones climáticas futuras. Se modeló el impacto del cambio climático con base a proyecciones climáticas para el año 2050 para tres modelos climáticos globales diferentes: CCCMA, HADCM3 y CSIRO (Hijmans *et al.*, 2005). Se verificó que los datos de condiciones actuales y futuras presentaran los mismos parámetros de propiedades raster, resolución y vértices. Los datos climáticos fueron extraídos de la base de datos de clima mundial (www.worldclim.org/CMIP5v1) e incluyen 19 variables bioclimáticas diarias, mensuales y anuales, así como datos combinados entre variables y de estacionalidad. Cada *raster* analizado presenta una resolución de 2.5 minutos y equivale a 5 kilómetros² (Scheldeman y Van Zonne, 2011).

Se generaron *rasters* binarios de presencia y ausencia en las áreas de distribución modeladas con las condiciones actuales y las proyecciones futuras las cuales fueron comparadas para identificar las áreas de distribución que el cambio climático afectará de manera severa, así como las áreas donde el impacto será menos severo y las nuevas áreas de ocurrencia (Scheldeman y Van Zonne, 2011). Los datos binarios generados fueron exportados al software Diva-Gis en donde fueron reclasificadas en cuatro situaciones a presentarse (Cuadro 15).

Cuadro 15. Clasificación de la distribución futura de *C. arabica* bajo el impacto del cambio climático.

Situación	Valores del índice	Impacto sobre la resiliencia del AES-café
(i) Áreas de alto impacto	-1	No resiliente
(ii) Por fuera del nicho realizado	0	
(iii) Áreas de bajo impacto	1	Resiliente
(iv) Nuevas áreas idóneas	2	

Fuente: Scheldeman y Van Zonne (2011).

Se cuantificó el número de fincas dentro y fuera de las áreas con bajo impacto, fuera del nicho y áreas de alto impacto. Debido a que el cambio climático actúa como conductor de cambio (Walker *et al.*, 2004; Gunderson, 2008; Rocha *et al.*, 2018) se consideró como resilientes a las fincas dentro de las áreas de bajo impacto y no resilientes a los ubicados en áreas fuera del nicho y áreas de alto impacto (Cuadro 15). Mediante un cuestionario estructurado, se midieron nueve variables (Cuadro 16) relacionadas con el fomento de la resiliencia (Altieri y Nicholls, 2014). Ver capítulo II

3.2.4 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva (tendencia central), análisis de frecuencias para variables dicotómicas y nominales. Se realizó un análisis de regresión lineal para identificar tendencias y análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre las condiciones actuales y las condiciones simuladas en los escenarios del cambio climático. Para lo anterior, se utilizó el paquete estadístico *Statistica*® 7.0.

Cuadro 16. Prácticas relacionadas con el fomento de la resiliencia en los AES.

Prácticas que fomentan resiliencia	Unidad de medida
Pendiente del terreno	%
Conservación de agua y suelo	%
Incorporación de materia orgánica al suelo	%
Textura	%
Materia orgánica del suelo	%
Nitrógeno total del suelo	%
Control de arvenses	%
Control de plagas y enfermedades	%
Asociación del cafetal y recursos forestales no maderables	Número de plantas

3.3 Resultados

3.3.1 Distribución actual de *Coffea arabica*

Las condiciones ambientales actuales en donde se distribuye *C. arabica* se dan principalmente en el área montañosa. Sin embargo, tomando como referencia la clasificación de altitud de World Coffee Research (2018) se presentó una frecuencia de fincas (n = 52) de 14 de altitud baja (27 %), 23 de altitud media (44 %) y 15 de alta (29 %) en un rango entre los 142 – 1367 msnm. Los AES muestreados se encuentran distribuidos en ambientes con temperatura media anual 21.4 °C

($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$), y en rangos de temperatura con una mínima de 19.2, y máxima de 24.5 $^{\circ}\text{C}$. Con relación a la precipitación, se determinó una media anual de 2845.9 mm (± 187.3 mm). Los valores mínimos de precipitación oscilaron con precipitación mínima de 2407 mm y máxima de 3267 mm (Cuadro 17).

Las condiciones ambientales permiten que el cultivo de café se asocie con especies arbóreas nativas de sombra tales como *Trema micrantha*, *Virola guatemalensis*, *Inga vera* y *Alchornea latifolia* (Sánchez *et al.*, 2017) las cuales a su vez están asociadas a tipos de vegetación con parámetros ambientales similares a las encontradas en el AES-café

Cuadro 17. Distribución de la temperatura y precipitación media anual según tres categorías de clasificación de la altitud.

Altitud (msnm)	N° de parcelas	Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitación media anual (mm)
Alta (>1000-1367)	14	20	2919.2
Media (>700-1000)	15	21.1	2922.86
Baja (142 - 700)	23	23.4	2641.21

Las especies arbóreas de sombra se asocian con la selva alta perennifolia la cual presenta una precipitación media anual mayor a 2000 mm y temperatura media anual entre 22 a 26 $^{\circ}\text{C}$; la selva mediana perennifolia con precipitación media anual superior a los 1500 mm y con temperatura promedio inferior a 18 $^{\circ}\text{C}$ y la selva sub-perennifolia con precipitaciones entre 1100-1300 mm anuales (Pennington y Sarukhán, 2005). Se puede considerar que la temperatura y la precipitación son influenciados por la altitud y la orografía porque a mayor altitud la temperatura disminuye y la precipitación aumenta (Figura 30).

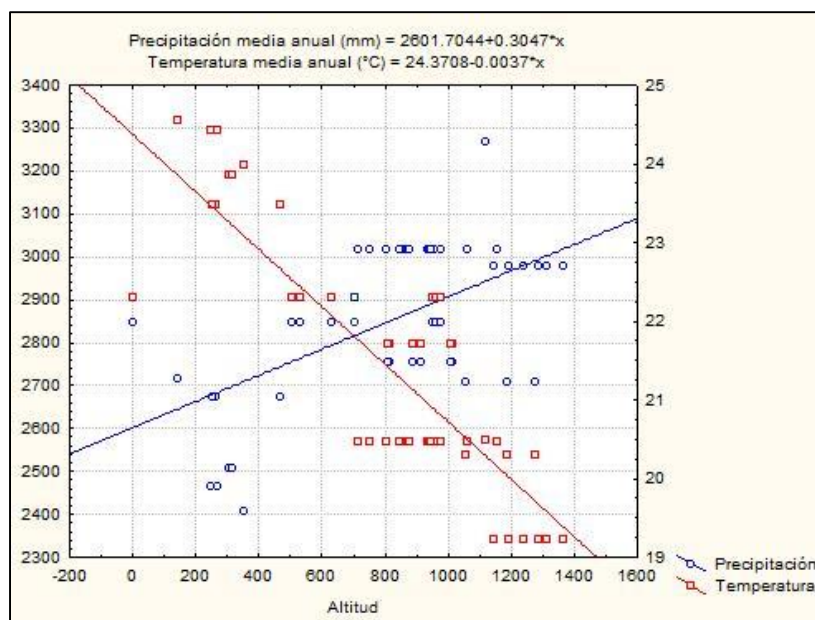


Figura 30. Influencia de la altitud sobre la disminución de la temperatura y el aumento de la precipitación en el gradiente altitudinal de las fincas muestreadas.

3.3.2 Cambios en la temperatura

A partir del 2050, las 52 fincas de café muestreados estarán siendo afectadas severamente por el cambio climático y se reflejará en variables como: la temperatura media anual, la temperatura máxima del periodo más caliente, la temperatura mínima del periodo más frío, la temperatura media en el trimestre más lluvioso, la temperatura promedio en el trimestre más seco, la temperatura promedio en el trimestre más caluroso y la temperatura promedio en el trimestre más frío (Cuadro 18), presentándose aumentos significativos $P > .05$ en 1.6, 2.3, 1.3, 1.5, 2.8, 0.2 y 1.5 °C respectivamente con relación a los valores actuales.

Cuadro 18. Comparación entre la temperatura actual y futura de las 52 fincas de café en el municipio de Tezonapa, Ver.

Escenario	Bio 1	Bio 5	Bio 6	Bio 8	Bio 9	Bio 10	Bio 11
Actual	21.4	30.1	12.4	22.7	19.3	25.5	18.6
Futuro	23	32.4	13.7	24.3	22.1	25.3	20.1
Valor P	.000109	.000109	.000111	.000117	.000109	.000109	.000109

Existe evidencia del aumento de la temperatura como consecuencia del cambio climático lo que podría repercutir en la productividad y distribución de *C. arabica* sobre todo si el área superficial

de las hojas se encuentra expuestas por mucho tiempo a temperaturas en valores sobre los 30 °C (Da Matta y Cochicho, 2006). Además, mayor tiempo de exposición a la radiación solar implica el desarrollo de clorosis y quemadura en la superficie foliar (Da Matta y Cochicho, 2006). Montoya y Jaramillo (2016) consideran que la temperatura óptima para el cultivo de café es entre 18 a 21 °C, por lo que temperaturas sobre este rango podrían causar problemas en el proceso de floración y fructificación. El aumento de la temperatura podría influir sobre una acelerada pérdida de hojas con su respectivo efecto negativo sobre el estado del cafeto. Además, la exposición prolongada del cafeto a temperaturas máximas de 28 °C disminuye el desarrollo de capullos florales y esta es inhibida totalmente a los 33 °C (Drinnan y Menzel, 1994). Otra consecuencia de las altas temperaturas es que promueve la malformación floral (Drinnan y Menzel, 1994).

3.3.3 Cambios en la precipitación

Con relación a la precipitación, se presentará una disminución significativa $P > .05$ en variables como: la precipitación mínima en el periodo más seco y la precipitación media en el trimestre más lluvioso de 6.135 y 25.5 mm. Sin embargo, en variables como: la precipitación máxima en el periodo más lluvioso, la precipitación media en el trimestre más seco, la precipitación media en el trimestre más caluroso y la precipitación media en el trimestre más frío se presentarán aumentos significativos de 215.58, 7.65, 22.18 y 6.61 mm (Cuadro 19).

Aunque se ha documentado que la precipitación es uno de los principales factores que afectan la productividad del café y que bajo los escenarios de cambio climático podría disminuir e influir en la producción del café cereza (Rivera *et al.*, 2013) los resultados del presente trabajo muestran que no existen cambios significativos. Sin embargo, la ausencia de precipitación podría causar en los cafetos déficit de agua, reflejándose en la pérdida de turgencia y aunado a la dinámica del tiempo, los efectos podrían ser severos sobre la planta, incluso ocasionarle su desecación total (Da Matta y Cochicho, 2006).

Cuadro 19. Comparación entre la precipitación actual y futura en los 52 AES.

Escenario	Bio 12	Bio 13	Bio 14	Bio 16	Bio 17	Bio 18	Bio 19
Actual	2846	544.65	60.250	1497.9	195.60	682.69	219.85
Futuro	2800.2	760.23	54.115	1472.4	203.25	704.87	226.46
Valor P	.19808	.000109	.000109	.169206	.001083	.000229	.163377

Ante un escenario de menor precipitación, y en donde el relieve lo permita, se podrían establecer sistemas de riego o prácticas de conservación de agua. Sin embargo, existe evidencia científica sobre la disminución del agua de riego disponible bajo el cambio climático, lo anterior podría impactar a diversos cultivos generando estrés hídrico particularmente en un país con un déficit hídrico. La región norte de China podría ser un ejemplo de estrés hídrico tal como lo expone Sun *et al.* (2018) quien indica que bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se espera una disminución entre el 34 y 37 % del agua de riego con un impacto directo en los cultivos extensivos.

3.3.4 Impacto del cambio climático sobre la resiliencia del agroecosistema café

A partir del 2050, el 86 % de los AES muestreados quedaron fuera del intervalo las condiciones para el cultivo de *C. arabica*, por lo que se pueden considerar como un AES no resiliente (Cuadro 20) debido a un efecto de panarquía representado por el cambio climático, lo anterior significa que el límite máximo de resistencia del AES-*C. arabica* fue rebasado y conducido a condiciones distintas y positivas para el cultivo de una especie adaptable a las nuevas condiciones.

La reducción del área propicia para el cultivo de *C. arabica* coincide con lo determinado por investigaciones realizadas en otras regiones productoras de café como Indonesia (Schroth *et al.*, 2015), Latinoamérica (Schroth *et al.*, 2009; Laderach *et al.*, 2016; De Sousa *et al.*, 2019). Schroth *et al.* (2015) y Africa (Capitani *et al.*, 2018) en las cuales se determinó que el área actual de cultivo de café se reducirá por los cambios ambientales ocasionados por el cambio climático.

Cuadro 20. Impacto del cambio climático sobre la resiliencia de los agroecosistemas después de 2050.

Condición	Impacto del cambio climático	Número de AES	Total	Rango de altitud (msnm)
	0	1		
Negativas para <i>C. arabica</i>	0.1	1		
	0.2	8	45	142 - 961
	0.3	26		
	0.4	9		
Medianamente favorables para <i>C. arabica</i>	0.5	6	6	944 - 955
Positivas para <i>C. arabica</i>	0.8	1	1	955-1118

Otro impacto del cambio climático será el surgimiento de nuevas áreas propicias climatológicamente para el cultivo de café (Figura 31). Sin embargo, las áreas nuevas podrían presentar la limitante de ser consideradas como áreas de protección ambiental o presentar condiciones agronómicas no óptimas como la presencia de suelos someros con baja fertilidad y con pendiente significativa, o por ser áreas remotas que dificultarían el transporte de insumos para el establecimiento de las plantaciones o la cosecha (Schroth *et al.*, 2009, Schroth *et al.*, 2015; Laderach *et al.*, 2016; Capitani *et al.*, 2018 y De Sousa *et al.*, 2019).

Sin embargo, el 12 % de AES resilientes se encuentra en el límite de cambio (0.5) y el 2 % bajo condiciones aún favorables para su cultivo (0.8). Debido a lo anterior, el AES-café con condiciones adecuadas para el cultivo de *C. arabica*, deben aplicar estrategias de adaptación para mantener el nivel de precariedad alejado del límite máximo de resistencia (Figura 31). Los AES dentro de la isolinia con condiciones climáticas adecuadas para el café son vulnerables a la erosión hídrica y eólica debido a que se encuentran en áreas marginales con pendientes entre 26-56.6 % y además presentan una textura franco-arcillosa-arenoso, franco arenoso y franco-arcillosa lo que en combinación podría conducir que el nivel de precariedad se mueva a un estado de cambio y evite así la resiliencia.

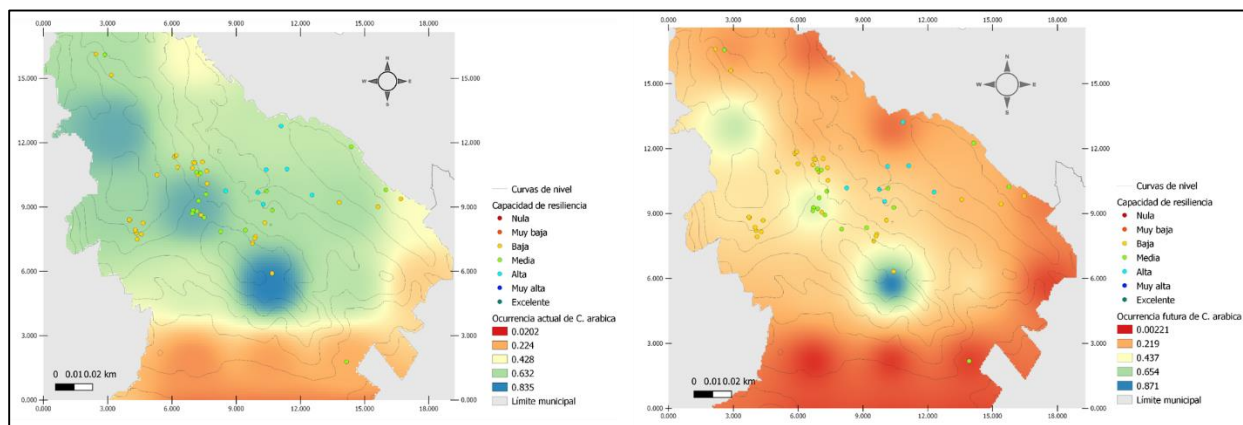


Figura 31. Modelación geo-espacial de las condiciones ambientales actuales (a) y condiciones futuras bajo la influencia del cambio climático(b).

Sin embargo, ya existen prácticas que fomentan la resiliencia, como el control de plagas y enfermedades en donde el 100 % prioriza la obtención de variedades de café tolerantes y en segundo lugar la fumigación química preventiva, el 100% de los productores realizan conservación de agua y del suelo mediante la incorporación de materia orgánica, pequeñas terrazas y acolchado

orgánico lo que podría estar relacionado con el nivel alto de materia orgánica del suelo ($5.7\% \pm 2.5$) y de nitrógeno (0.23 ± 0.03). El uso de prácticas sostenibles, permiten desarrollar AES resilientes tal como lo indica Hekelman *et al.*, (2018) quienes evaluaron el manejo orgánico y convencional del AES de arroz y determinaron que los sistemas orgánicos son mas resilientes climáticamente comparados con los AES-convencionales. Otra práctica positiva para la resiliencia es el chapeo, ya que el 100 de los productores realiza el control de arvenses en el AES-café de forma manual. Aunado a lo anterior, también se fomenta la diversidad mediante la asociación del cafetal con recursos forestales no maderables. Por ejemplo, el 86 % de los AES presentaron un promedio de 2 (± 1.46) especies de follajes, 5 (± 2.93) especies de herbáceas comestibles, 6 (± 4.42) especies de frutales y 12 (± 8.09) especies maderables. La diversificación del AES permite aumentar la resistencia ante perturbaciones externas, por ejemplo, Li *et al.*, (2019), determinó que AES diversificados presentaron un 14 % de ventajas ante perturbaciones como plagas y enfermedades comparados con AES no diversificados.

Las condiciones determinadas en los AES resilientes se encuentran en un nivel donde es necesario reforzar las prácticas ya ejercidas por el cafeticultor para mantener el nivel de precariedad alejado de los límites y evitar su transformación. Debido a lo anterior, una opción sería implementar estrategias basadas en el enfoque de la Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI), la cual permitiría orientar las acciones necesarias para fomentar la resiliencia deL AES-café y apoyar de forma eficaz al desarrollo y la seguridad alimentaria ante un ambiente de clima cambiante. Por lo que la ACI, podría conducir a un AES de café capaz de alcanzar objetivos como: 1) el aumento sostenible de la productividad y matener los ingresos agrícolas; 2) la adaptación y la creación de resiliencia ante el cambio climático y 3) la reducción, y/o absorción de gases de efecto invernadero (FAO, 2013; McCarthy y Brubaker, 2014; Makate *et al.* 2019).

3.4. Conclusiones

En los escenarios del IPCC para el AES-café. Después del año 2050, la temperatura tendrá un aumento significativo y reducirá la distribución actual del cultivo de café. Lo anterior impactará sobre la resiliencia de los AES debido a que el cambio climático actuará como un conductor que conllevará a los AES de café a un estado de cambio drástico por lo que en en esa condición la resistencia de un AES fue rebasada y por consiguiente, ya no puede presentarse la resiliencia por que el AES no logró adaptarse a las nuevas condiciones climáticas que además podrían beneficiar

el establecimiento de un nuevo cultivo, actividad pecuaria o actividad económica. Sin embargo, las fincas de café dentro del área con condiciones para el cultivo de café será necesario reforzar la estructura mediante el uso de prácticas agroecológicas o estrategias basadas en la ACI lo que permitirá mantener un estado de precariedad alejado del límite de resistencia del AES y así evitar que el AES sea conducido a un escenario de cambio.

3.5 Literatura citada

- Altieri M., y C. Nicholls. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático principios y consideraciones metodológicas. *In*: Nicholls C. y M. Altieri. (ed). Agroecología y cambio climático: metodologías para evaluar la resiliencia en comunidades rurales. REDAGRES, Lima, Perú. 7-21.
- Capitani C., W. Garedew, A. Mitiku, G. Berecha, B. Tesfau H. J. Heiskanen, P. Hurskainen, P. J. Platts, M. Siljander, F. Pinard T. Johansson, and R. Marchant. 2018. Views from two mountains: exploring climate change impacts on traditional farming communities of Eastern Africa highlands through participatory scenarios. *Sustainability Science* 14: 191-203.
- De Sousa K., M. Van Zonneveld, M. Holmgren, R. Kindt and J.C. Ordoñez. 2019. The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Nature Scientific Reports* 9: 1-9.
- Drinnan J.E., and C.M. Menzel. 1994. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica*). *Journal of Horticultural Science* 70: 25-34.
- Food and agriculture organization (FAO). 2013. Climate-smart agriculture source book. Addis Adaba, Ethiopia. 545 p.
- Folke C. 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16: 253-267.
- Gunderson L., and C.S. Holling. 2002. Panarchy understanding transformations in human and natural systems. Island Press. Michigan, United States. 507 p.
- Hallegatte S. 2014. Natural disasters and climate change: an economic perspective. Springer. Washington D.C. United States. Pp 77-173.
- Heckelman A., S. Smukler, and H. Wittman. 2018. Cultivating climate resilience: a participatory assessment of organic and conventional rice systems in the Philippines. *Renewable Agriculture and Food Systems* 33: 225–237. <https://doi.org/10.1017/S1742170517000709>
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Intergovernmental Pannel on Climate Change (IPCC). 2015: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación

- del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *In:* R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.). IPCC. Ginebra, Suiza, 157 p.
- Läderach P. J. Ramirez-Villegas, C. Navarro R., and C. Zelaya, A. Martínez V. and A. Jarvis. 2016. Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climate Change* 141: 47-62.
- Li J., L. Huang, J. Zhang, J. A. Coulter, L. Li, and Y. Gan. 2019. Diversifying crop rotation improves system robustness. *Agronomy for Sustainable Development* 39: 38.
- Makate C., M. Makate, N. Mango, and S. Siziba. 2019. *Journal of Environmental Management* 231: 858-868.
- McCarthy, N., and Brubaker, J.R., FAO, 2014. Climate-Smart Agriculture and Resource Tenure in Sub-Saharan Africa: A Conceptual Framework. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 26 p
- Montoya R.E.C., y R. Jaramillo A. 2016. Efecto de la temperatura en la producción de café. *Revista CENICAFE* 2: 58-65.
- Moukrim S., S. Lahssini, M. Rhazi, H. Mharzi A., M. M Mousthapa, and L. Razhi. 2018. Climate change impact on potential distribution of multipurpose agroforestry species: *Argania spinosa* L skeels as case study. *Agroforest System* 93: 1209-1219.
- Quante M. 2010. The changing climate: past, present, future. *In:* J.C. Habel, T. Assmann (ed). *Relic species: phylogeography and conservation biology*. Elsevier. Pp 9-56
- Rocha G. J., G. Peterson, O. Bodin, and S. Levin. 2018. Cascading regime shifts within and across scales. *Science* 362: 1379-1383.
- Shackleton R. T., R. Biggs, D.M. Richardson, and B.H.M. Larson. 2018. Social-ecological drivers and impacts of invasion related regime shift: consequences for ecosystems services and human wellbeing. *Environmental Science and Policy* 89: 300-314.
- Scheffer M., and S.R. Carpenter. 2003. Catastrophic regime shift in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 648-656.
- Scheldeman X. and M. van Zonneveld. 2011. Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas. Bioersivity International. Roma, Italia. 186 p.
- Schroth G. P. Laderach, J. Dempewolf, S. Philpott, J. Hagggar, H. Eakin, T. Castillejos, J. Garcia M., L. Soto P. R. Hernandez, A. Eitzinger, and J. Ramirez V. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico 14: 605-625.
- Schroth G., P. Landerach, D.S. Blackburn C., J. Neilson, and C. Bunn. 2014. Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environmental Change* 15: 1473-1482.

- Sousa K., M. Van Z., M. Holmgren, R. Kindt and J. C. Ordoñez. 2019. The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Scientific Reports* 9: 8828.
- Rivera S. M.R., I. Nikolsky G., M. Castillo A., V.M. Ordaz C., G. Díaz P., y R. Guajardo P. 2013. Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana* 31: 305-313.
- Sun S.K, C. Li, P.T. Wu, X.N. Xhao, and Y.B. Wang. 2018. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess plateau of Northern Shaanxi, China. *Ecological Indicators* 84: 811-819.
- Walker B., C.S. Holling, S.R. Carpenter, A. Kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9:5.

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

No se encontraron elementos suficientes para rechazar la hipótesis 1 debido a que el estado actual del conocimiento sobre la resiliencia de agroecosistemas es dominado principalmente por las ciencias relacionadas al medio ambiente. También, la generación de conocimiento ha evolucionado y sobresalen dos enfoques con los que la resiliencia de agroecosistemas ha sido abordada: en un principio por el enfoque agroecológico y en los últimos 15 años, una tendencia marcada desde el enfoque de sistemas socio-ecológicos en donde es notable estudios que intentan reforzar la dimensión social.

La hipótesis 2, es parcialmente aceptada debido a que los datos mostraron a los factores social y ambiental como los principales aportadores al índice de capacidad de resiliencia. Los indicadores sociales e institucionales son positivos y pueden estar asociados a los servicios y programas públicos disponibles. En el caso de los indicadores ambientales, el manejo bajo sombra de *C. arabica* ha mantenido en buenas condiciones a los elementos del agroecosistema. La dimensión económica la de menor aporte al índice de capacidad de resiliencia, y es consecuencia principalmente de la baja rentabilidad de la actividad cafetalera que se asocia con el bajo precio, la ausencia de crédito y seguro, y consecuentemente con el bajo poder adquisitivo del productor o de la región cafetalera.

Con relación a la hipótesis 3, esta se acepta parcialmente debido a que los escenarios modelados mostraron que después de 2050, las condiciones del clima cambiarán y aumentarán las áreas que estarán fuera de las condiciones óptimas para el cultivo del café. Lo anterior, representa un estado de cambio promovido por un aumento de la temperatura que ocasiona que el 86 % de las fincas de café muestreadas no presentan resiliencia por lo que bajo esas condiciones el productor estaría obligado a establecer una nueva especie agrícola.

CONCLUSIONES GENERALES

El estado actual del conocimiento sobre la resiliencia de agroecosistemas es dominado principalmente por las ciencias relacionadas al medio ambiente y con una notable tendencia a reforzar la dimensión social. También, la generación de conocimiento ha evolucionado y sobresalen dos enfoques en el estudio de la resiliencia de los agroecosistemas: en un principio por el enfoque agroecológico y en los últimos 15 años, una tendencia marcada desde el enfoque de sistemas socio-ecológicos el cual tiene su base teórica en los sistemas complejos adaptativos. Por lo anterior, se puede considerar que el concepto de resiliencia lejos de ser un fenómeno rígido, este está asociado a la flexibilidad, la cual, a su vez se sustenta en el dinamismo y la adaptación cíclica del AES.

Respecto a la capacidad de resiliencia, de seis factores (dimensiones) que fueron considerados, se determinó que el social y el ambiental son los dos principales que influyen positivamente sobre la capacidad de resiliencia, seguidos por el factor institucional y el de comunicaciones los cuales presentaron una combinación de frecuencias de indicadores tanto positivos como negativos para la capacidad de resiliencia. Además, el factor tecnológico y principalmente el económico fueron los que menor aporte presentaron respecto a la capacidad de resiliencia. Por lo anterior, es necesario mejorar el factor económico y es posible, que esto pueda influir positivamente sobre el factor tecnológico. También, el relieve del área de estudio, ejerce un efecto de panarquía que influye negativamente sobre la capacidad de resiliencia y principalmente sobre factores como el de comunicaciones e infraestructura.

Finalmente, los escenarios del cambio climático modelados demostraron que después del año 2050 gran parte del área que actualmente es propicia para el cultivo de café cambiará por lo que dichas áreas no serán óptimas. Lo anterior, representa un estado de cambio que rebasa el límite de tolerancia para *C. arabica* y esto provocará el establecimiento de nuevos cultivos adaptados a dichas condiciones presentadas por lo que los AES bajo cambio no podrían expresar resiliencia. Sin embargo, también se demostró que existe una pequeña proporción de fincas de café que quedan dentro de un área con condiciones propicias para el cultivo por lo que son consideradas como resilientes al cambio climático, pero que deben ser manejadas bajo estrategias precisas de adaptación respecto a las perturbaciones que se vayan presentando lo que les permitirá continuar siendo resilientes.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario utilizado en trabajo de campo

COLEGIO DE POSTGRADUADOS -CAMPUS VERACRUZ

El presente instrumento tiene el propósito de recabar información básica que permita identificar la capacidad de resiliencia del agroecosistema café. La información que se recabe por este medio será confidencial y tiene como fin aportar información cualitativa y cuantitativa a la investigación de tesis de Doctorado del **M. en C. Ismael Quiroz Guerrero**. Los resultados de la investigación estarán a su disposición si usted lo desea.

Fecha: _____ **Entrevistador:** _____ **Localidad** _____
Municipio _____ **Altitud:** _____ m.s.n.m. **Coordenadas:** _____ N _____ E

I. Perfil del entrevistado

Nombre: _____

1.2 Edad _____ 1.2.1 Productores entre 15-65 años: Presencia Ausencia

1.3 **Género:** M F 1.4 **Estado civil:** Soltero Casado Unión libre Divorciado

1.5 Escolaridad (años) (Kinder = 3 años; Primaria=6 años; secundaria= 3 años; preparatoria= 3 años; Universidad= 4.5 años).

0 años 1-6 años 6.1-12 años >12 años

1.6 Superficie total: _____ **1.7 Superficie con café:** _____

II. ASPECTO SOCIAL

2.1 Idioma que habla: Nahuatl () Español () Otro _____

2.2 Número de miembros de la familia: _____

2.3. Principal actividad económica o laboral de los miembros de la familia:

Padre: _____

Hijos: _____

Hijas: _____

Madre: _____

Otro: _____

—

2.4. ¿Tiene acceso a servicios de salud? SI NO ¿cuál? _____

2.5. ¿Considera que los escenarios de desastre (**Olas de calor, sequías o lluvias extremas**) son causadas por una divinidad? SI NO ¿por qué? _____

2.6 Carencias en calidad y espacios de vivienda SI NO

* viviendas con carencia en calidad de vida y espacios de vivienda si presentan al menos uno de los siguientes criterios*

- Piso de tierra
- Techo de vivienda de lámina de cartón/desechos
- Muros de: Embarro/embajarenque, carrizo, bambú, palma, lámina de cartón, metálica o asbesto; material de desecho.
- Número de personas por cuarto mayor a 2.5

III. ECONÓMICO

3.1 Ingreso per cápita mensual ***(*1 salario mínimo es = \$ 88.36 pesos*)***

< 1 Sal mínimo 1 Sal mínimo 2 Sal mínimos >2 salarios mínimos

3.1.1 ¿Cuánto gana por día? _____

3.2. Valor económico de la producción de café por hectárea: **(*1 salario mínimo es = \$ 88.36 pesos*)**

< 1 Sal mínimo 1 Sal mínimo 2 Sal mínimos >2 salarios mínimos

3.2.1. Rendimiento de café por hectárea _____ ton / quintales

3.2.2 Meses que dura su cosecha: _____

3.3. ¿La parcela está asegurada? SI NO

3.4. ¿Tiene acceso a crédito? SI NO

3.5. ¿Su parcela utiliza sistema de riego y acolchado? SI NO

3.6. ¿Utiliza maquinaria o siembra mecanizada? SI NO

3.6.1 ¿Cómo realiza la siembra? _____

3.7 ¿Hace uso de? *cultivos de cobertura* SI NO *Fertilizantes* SI NO *Abonos orgánicos* SI NO

3.8. ¿Para el control de arvenses, insectos plagas y enfermedades usted realiza?

Arvenses			Insectos plaga		
		Tipo de control			Tipo de control
Control químico	Si		Control químico	Si	
	No			No	
Control biológico	Si			Si	

	No		Control biológico	No	
Control manual	Si		Control manual	Si	
	No			No	

Enfermedades		
Tipo de control		
Control químico	Si	
	No	
Control biológico	Si	
	No	
Control manual	Si	
	No	

3.9 Variedades de café establecidos en la parcela:

Arábigas: _____

Resistencia al calor y sequía: SI NO

Robusta: _____

Liberica: _____

Resistencia al calor y sequía: SI NO

Edad de la plantación: _____

Nº podas / año: _____ Control de sombra: _____ podas/año

Destino de la cosecha: **Beneficio/¿cuál?:** _____ *intermediario, autoprocesamiento/tipo:* _____

IV. INSTITUCIONAL

4.1. ¿Tiene acceso a asesoría técnica? SI NO _____

4.2. ¿Usted pertenece a una organización, asociación o comité de cafeticultores? SI NO

¿Cuál(es)? _____

V. COMUNICACIÓN

5.1. ¿Tiene acceso a radio? SI NO ¿televisión? SI NO

5.2. ¿Tiene conexión a internet? SI NO

Dispone de teléfono SI NO

Indique el tipo: Casa () Celular () Caseta telefónica ()

5.2.3 En caso de un evento climático extremo que de estos medios le son más útiles para mantenerse comunicado-informado? 1er. _____ 2do. _____ 3ro. _____

VI. AMBIENTAL

6.1. Presencia de Erosión laminar o cárcavas en el suelo de la parcela: SI NO TIPO: _____

6.3. ¿La parcela presenta inclinación? SI NO % de pendiente: _____

0-9% 9.1-13.5% 13.6 – 22.5% >22.6%

6.4. ¿En la parcela existen más de una especie vegetal/animal? SI NO

6.2. ¿En la parcela existen policultivos? SI NO

Follajes: maicera, Dracena, camedor, tepejilote, velillo de plátano.

Otro: _____

Comestibles: Hierba mora, frijol, maíz, calabaza, tepejilote, quelites, chile de gato, gasparito.

Otro: _____

Comestibles frutales: naranja, malta, mandarina, chico zapote, plátano, guanábana, aguacate chinene, mango.

Otro: _____

Maderables: Manzanillo, comalillo, nogal, zacocote, lechudo, farolillo, bálsamo, tepiolo, zopilote, picho, ojoche, primavera, roble, rabo-lagarto, aretillo, chico-zapote, melina, caoba, cedro, Xochicuaitl, Vainillo,

Otro: _____

6.5. Calidad del suelo: Buena Media Mala

	Repeticiones									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.6 - CO₂ (ppm)										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Anexo 2. Actividades de toma de datos en campo.



A) Toma de datos mediante entrevista



B) Determinación de la pendiente mediante clinómetro



C) Toma de muestras de suelo para su análisis en el laboratorio



C) Toma de datos de estructura vegetal.