

Geomática aplicada al análisis de la producción de café cereza en el estado de Chiapas

Anzaldo C., Carrillo Z., González K. y Huerta B.



Contenido

1	Introducción	3
2	Subsistema económico: Producción agrícola	4
2.1	Antecedentes	4
2.1.1	Cultivos perennes y clima en México.....	4
2.1.2	Producción de café cereza a nivel nacional y en las entidades federativas	7
2.2	Caracterización de las unidades de producción agrícola	13
2.2.1	Regionalización cafetalera del estado de Chiapas	13
2.2.2	Estructura y distribución de las unidades productoras de café.....	14
2.3	Disponibilidad de agua para uso agrícola	15
2.3.1	Cuantificación de demanda por uso de producción agrícola.....	16
2.3.2	Importancia del agua en la producción cafetalera	16
2.3.3	Estimación de volumen medio anual de escurrimiento natural.....	17
2.3.4	Cuantificación del grado de estrés hídrico (WTA)	17
3	Subsistema social: Población y desarrollo	19
3.1	Dinámica demográfica y desarrollo social de las localidades dedicadas al cultivo	19
3.1.1	Tamaño y crecimiento demográfico	19
3.1.2	Marginación y acceso a servicios básicos	19
3.1.3	Daños por fenómenos naturales.....	20
3.1.4	Problema principal	20
3.2	Análisis y modelado de la accesibilidad	21
3.2.1	Ubicación de las localidades y características de la red vial	21
3.2.2	Definición de áreas de servicio de las cabeceras municipales.....	22
4	Subsistema ambiental.....	24
4.1	La cubierta vegetal y uso de suelo en Chiapas	24
4.1.1	La diversidad florística en Chiapas	24
4.1.2	Los efectos del cambio de cubierta vegetal en el café	25
4.1.3	El impulso económico a la agricultura. El ejemplo del café y la palma africana	26
4.1.4	Herramientas de conservación	29
4.1.5	Análisis de cubierta vegetal y uso de suelo de los años 1974 y 2011 en Chiapas	32
4.2	Caracterización del cultivo de café en Chiapas.....	35
4.2.1	Descripción botánica del café	35
4.2.2	Requerimientos agroecológicos para el cultivo de café	36

4.2.3	Efectos de las variaciones climáticas en el cultivo de café	38
4.3	Análisis cualitativo multicriterio para la delimitación de zonas de aptitud.....	38
4.3.1	Delimitación de zonas aptas para cultivo de café en Chiapas	39
4.4	Modelos de distribución de especies (MAXENT)	41
4.4.1	Redistribución del cultivo de café con base en escenarios de cambio climático en Chiapas 44	
5	Conclusiones	46
	Referencias.....	48

1 Introducción

El estado de Chiapas se localiza en el extremo sureste del país en la frontera con Guatemala. Es una de las regiones con mayor biodiversidad en México, cuenta con más de 300 especies de plantas y una gran variedad de vida animal. Esta diversidad se ha visto reducida por cambios drásticos de la cubierta vegetal así como por cambios climáticos abruptos. Las actividades económicas más destacadas son el turismo y en el ramo agropecuario la producción de café, cacao y chile, entre otras.

El 30% del café de México es producido en Chiapas, generalmente en terrenos ejidales. Existen aproximadamente 115 000 unidades de producción (INEGI, 2007) con cerca de 233 000 ha plantadas, esto representa una fuente de empleo y recursos económicos para el estado. Además el 85% de los productores pertenecen a algún grupo indígena. Es por ello que resulta importante el estudio del cultivo ya que al ser una planta susceptible a cambios climáticos se ve amenazada por el crecimiento poblacional y la reducción de zonas aptas para su cultivo.

El objetivo de este estudio es identificar desde diferentes enfoques la manera en que el café se ve afectado por la modificación climática, el cambio de cobertura de suelo, la disponibilidad de agua para producción agrícola, así como llevar a cabo un análisis socio-económico que permita tener un panorama general de lo que el cultivo de café representa en el estado de Chiapas y las afectaciones que éste pueda sufrir.

Para ello se consideraron tres diferentes subsistemas: el económico, el social y el ambiental (ver figura 1.1), donde a partir de diferentes metodologías se realizaron modelaciones que permitieron comprender las características principales de las unidades de producción agrícola, la problemática social y las desigualdades territoriales que experimentan las localidades productoras, el cambio observado en la cobertura y su proyección al 2050, además, del modelado espacial de la distribución actual del cultivo y su proyección al 2050 con base en dos escenarios de cambio climático.



Figura 1.1 Modelo conceptual para el análisis de la producción de café en Chiapas

2 Subsistema económico: Producción agrícola

2.1 Antecedentes

2.1.1 Cultivos perennes y clima en México

La definición de los cultivos perennes se refiere a los árboles frutales, plantaciones o pastos cultivados cuyo periodo de desarrollo es mayor a un año, independientemente del número de cosechas o cortes que se realicen. Los cultivos perennes se caracterizan debido a que después de plantados pasan por una etapa de desarrollo, seguida de una etapa productiva de varias cosechas o ciclos productivos.

Los cultivos perennes como el café cereza, la caña de azúcar, el cacao y el limón, entre otros, adquieren gran importancia por sus características propias de costos, producción, generación de empleo, suministro de materias primas para el sector industrial, así como su exportación.

Estos cultivos tienen gran relevancia para el país, son una fuente de alimento y un medio de sustento para una gran cantidad de personas, contribuyendo de forma importante a la economía del país.

La dinámica y productividad de estos cultivos está determinada por la interacción de diversos factores de producción:

- Físicos: disponibilidad de agua, suelo, temperatura, topografía.
- Ecológicos: vegetación, plagas y enfermedades.
- Sociales: recursos, infraestructura, educación, política, instituciones, entre otros.

La suma de estos factores ha colocado a México como un país potencialmente productivo en donde es posible obtener una amplia gama de productos para diferentes usos en diversas épocas del año.

Un factor importante dentro de la dinámica de la producción agrícola es el clima. Su influencia en un cultivo determinado no sólo depende de las características climáticas de la localidad en que esté situado, sino también en gran medida de las condiciones en que se desarrolla la producción.

El clima se refiere al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra. Está determinado principalmente por cuatro factores: la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. Debido a las condiciones favorables, el país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales se clasifican, según su temperatura, en templado, tropical y subtropical; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en: húmedo, subhúmedo, seco y muy seco (figura 2.1).



Figura 2.1 Grupos y subgrupos de climas de México

El clima templado se divide en húmedo y subhúmedo; en el primero de ellos se registran temperaturas entre 18° y 22°C y precipitaciones en promedio de 2 000 a 4 000 mm anuales. Respecto al templado subhúmedo, se encuentra en el 20.5% del país, observa en su mayoría temperaturas entre 10° y 18° C y de 18° a 22°C, sin embargo en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; registra precipitaciones de 600 a 1 000 mm en promedio durante el año. Los principales cultivos perennes que se desarrollan en clima templado son la alfalfa verde y los pastos cultivados.

El clima tropical se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero de ellos se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C y precipitaciones de 2 000 a 4 000 mm anuales. Por su parte, en el clima cálido subhúmedo se registran precipitaciones entre 1 000 y 2 000 mm anuales y temperaturas que oscilan de 22° a 26°, con regiones en donde superan los 26°C. En este tipo de clima se tiene la mayor cantidad de cultivos perennes en el país, entre los que se encuentran el café cereza, la caña de azúcar, la naranja, el aguacate, el limón, el cacao y el coco.

Finalmente, el clima subtropical se divide en seco y muy seco. Se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país; se caracteriza por la circulación de los vientos, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° C; el subtropical muy seco registra temperaturas en promedio de 18° a 22° C, con casos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio. El cultivo perenne más desarrollado en el subtrópico es el mango.

El cuadro 2.1 contiene los datos recabados dentro del marco del Censo Agropecuario 2007 para cultivos perennes de clima tropical, de éste se desprende la gráfica 2.1 donde se puede observar que las unidades

dedicadas al cultivo de café cereza son 350 209 que representan 44.7% del total de unidades para los cultivos de este segmento. Este cultivo viene seguido, en orden de importancia, por la caña de azúcar que cuenta con un total de 142 080 unidades de producción que representan 18.1%. En orden descendente respecto a la cantidad de unidades de producción los cultivos que siguen son naranja, aguacate, limón, cacao y coco.

Cuadro 2.1

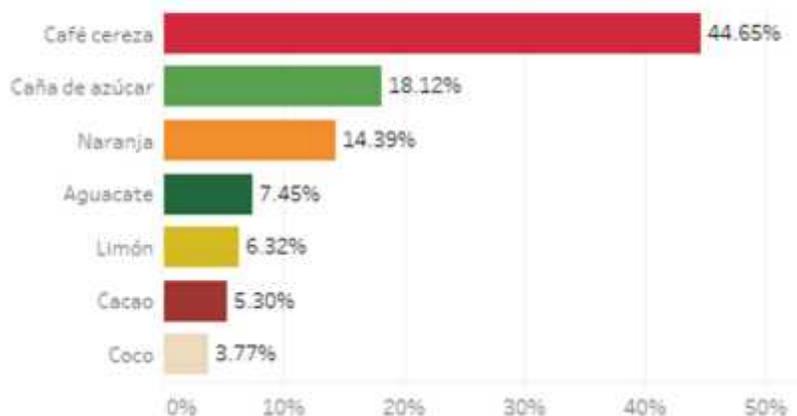
México: Unidades de producción con principales cultivos perennes en clima tropical, 2007

Cultivo o plantación	Unidades de producción (número)	Superficie plantada (hectáreas)	Superficie en producción (hectáreas)	Volumen cosechado (toneladas)
Total clima tropical	784,270	2,220,272	2,074,565	54,921,575
Café cereza	350,209	718,126	681,288	1,154,730
Caña de azúcar	142,080	680,247	633,766	46,913,494
Naranja	112,883	359,142	333,997	3,570,733
Aguacate	58,400	121,044	102,186	1,131,021
Limón	49,583	148,782	138,235	1,870,188
Cacao	41,531	93,911	91,031	46,117
Coco	29,584	99,018	94,061	235,292

Fuente: INEGI, Censo Agropecuario 2007.

Gráfica 2.1

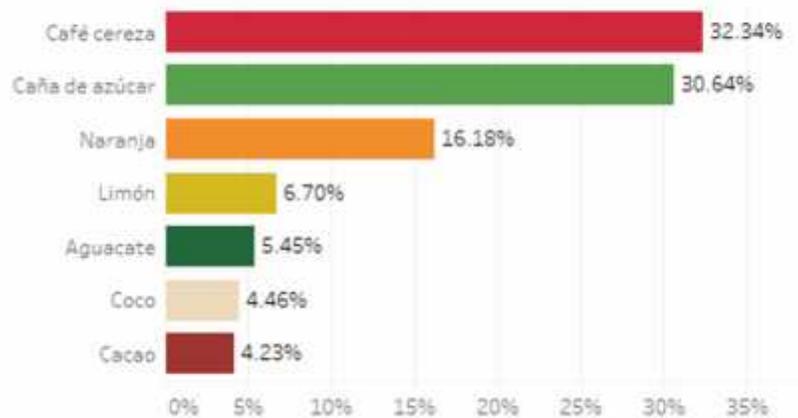
México: Distribución porcentual de las unidades de producción con principales cultivos perennes en clima tropical, 2007



La distribución porcentual de la superficie plantada de los diferentes cultivos de clima tropical puede ser vista en la gráfica 2.2 siendo el café cereza el cultivo perenne con la mayor cantidad de hectáreas con un total de 718 126, el 32.3% del total. La caña de azúcar se encuentra muy cerca con 680 247 hectáreas plantadas, lo que representa 30.6%. En tercer lugar se aprecia el cultivo de naranja que representa un poco más del 16.2% del total.

Gráfica 2.2

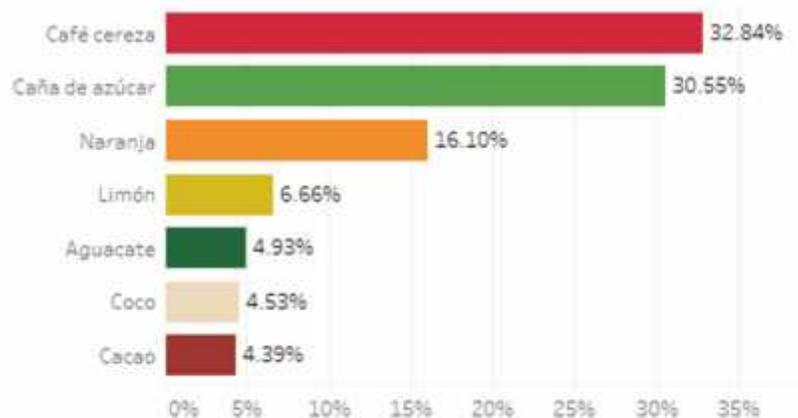
México: Distribución porcentual de la superficie plantada con principales cultivos perennes en clima tropical, 2007



La superficie en producción de los diferentes cultivos se incluye en la gráfica 2.3, en la cual se aprecia que el café cereza es el cultivo perenne de clima tropical con la mayor participación en términos de hectáreas en producción con un total de 681 288 hectáreas, lo que constituye el 32.8% del total nacional, este cultivo es seguido de cerca por el cultivo de caña de azúcar que totalizó 633 766 hectáreas en producción que equivale al 30.6%, las hectáreas en producción de cultivo de naranja fueron 333 997 hectáreas, con el 16.1%. Los cuatro cultivos restantes son limón con un 6.7%, aguacate con un 4.9%, coco con un 4.5% y cacao con un 4.4%.

Gráfica 2.3

México: Distribución porcentual de la superficie en producción con principales cultivos perennes en clima tropical, 2007



2.1.2 Producción de café cereza a nivel nacional y en las entidades federativas

El café cereza requiere para su cultivo un clima cálido pero con alto nivel de humedad; el sol no debe llegar directamente a la planta, por ello se ven plantados junto a los cafetos, árboles de diferente especie cuyas hojas protegen y dan sombra; su altitud debe ser entre los 1 000 a 1 300 msnm. El café necesita para crecer un suelo rico y húmedo, que absorba bien el agua y drene con rapidez el exceso de

precipitación. Los mejores suelos son los formados por un pequeño manto de hojas, materia orgánica de otra clase y roca volcánica desintegrada. Aunque las heladas dañan enseguida las plantas del café, éste se cultiva en regiones frías; las temperaturas de crecimiento oscilan entre 13 y 26°C. Las plantaciones de café ocupan altitudes comprendidas entre el nivel del mar y el límite de las nieves perpetuas tropicales, que se encuentra a unos 1 800 m.

El cafeto empieza a producir después de cuatro años de plantado. Su vida productiva puede ser mayor a los 40 años. Su producción se da una vez al año, dependiendo de la zona y la altura es la época de corte, en México inicia en septiembre y concluye en marzo.

La producción cafetalera se concentra en cuatro zonas: las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la zona Centro-Norte y la del Soconusco en Chiapas, en el sureste mexicano.

El cuadro 2.2 presenta el comparativo de las cifras de producción de café cereza a nivel nacional entre los años 1991 y 2007. En este se observa una disminución de más de 40 mil unidades de producción y 132 mil ha plantadas, lo que significa una pérdida de 10.6% y 15.6%, respectivamente, mientras que la superficie en producción y el volumen cosechado se redujeron, a su vez, 6.9% y 40.7 por ciento. Esto se tradujo en una fuerte pérdida del rendimiento por ha, cuyo nivel descendió de 2.7 toneladas en 1991 a 1.7 toneladas en 2007.

Cuadro 2.2
México: Producción de café cereza a nivel nacional, 1991-2007

Año	Unidades de producción (número)	Superficie plantada (hectáreas)	Superficie en producción (hectáreas)	Volumen cosechado (toneladas)	Rendimiento (toneladas/ha)
1991	391,616	850,393	731,525	1,947,047	2.7
2007	350,209	718,126	681,289	1,154,730	1.7

Fuente: INEGI, Censos Agropecuarios 1991 y 2007.

El cuadro 2.3 muestra el número de unidades de producción, la superficie plantada y en producción, el volumen cosechado y el rendimiento de café cereza por entidad federativa en 2007. Con relación a las unidades de producción destaca Chiapas con 115 098 unidades productivas; Veracruz con 79 840, Oaxaca con 53 148 unidades y Puebla con 38 063. En conjunto estas cuatro entidades representan el 82.3% del total de unidades de producción, en tanto que las 28 entidades restantes participan con el 17.7 por ciento (ver figura 2.2).

Cuadro 2.3

México: Producción de café cerza por entidad federativa, 2007

Entidad federativa	Unidades de producción (número)	Superficie plantada (hectáreas)	Superficie en producción (hectáreas)	Volumen cosechado (toneladas)	Rendimiento (ton/ha)
Nacional	350,209	718,125.9	681,288.5	1,154,729.7	1.7
Chiapas	115,098	233,506.4	222,068.9	338,213.4	1.5
Veracruz	79,840	156,977.8	151,922.1	304,231.5	2.0
Oaxaca	53,148	145,325	136,303	203,183.4	1.5
Puebla	38,063	58,321.6	55,374.3	125,715.8	2.3
Hidalgo	25,709	33,790.6	30,905.8	49,401.5	1.6
San Luis Potosí	19,980	27,524.6	24,967.8	38,461.8	1.5
Guerrero	12,245	39,209.9	37,046.8	54,752.8	1.5
Nayarit	3,393	15,793.1	15,340.4	24,756.7	1.6
Colima	816	1,798.1	1,740.6	3,421.6	2.0
Tabasco	616	718.4	657.5	1,319.9	2.0
Jalisco	534	3,473.5	3,364.3	5,784.6	1.7
México	317	701.3	687.6	1,060.1	1.5
Tamaulipas	245	542.4	512.6	3,169.9	6.2
Morelos	45	93.7	88.2	312.3	3.5
Querétaro	44	100.2	93.1	137.4	1.5
Michoacán	28	60.6	55.6	140.9	2.5
Quintana Roo	28	63.5	60.9	384.6	6.3
Sinaloa	16	34.4	17.1	135.6	7.9
Yucatán	8	18.3	18	29.4	1.6
Chihuahua	7	15.2	15.2	22.2	1.5
Guanajuato	7	16.4	14.4	28	1.9
Campeche	6	12.4	12.4	18.1	1.5
Zacatecas	5	10	5.1	8.3	1.6
Nuevo León	4	8.1	6.4	9.4	1.5
Distrito Federal	2	4.1	4.1	16.5	4.0
Aguascalientes	1	1	1	1.5	1.5
Baja California Sur	1	2.1	2.1	3.2	1.5
Durango	1	2.1	2.1	3.1	1.5
Sonora	1	0.6	0.6	5	8.3
Tlaxcala	1	0.5	0.5	1.2	2.4
Baja California	0	0	0	0	
Coahuila	0	0	0	0	

Fuente: INEGI, Censo Agropecuario 2017.

Figura 2.2
 México: Unidades de producción de café cereza por entidad federativa, 2007



La superficie plantada de cafeto fue de 718 mil hectáreas, de las cuales el 94.9% se encontraba en producción.

Chiapas reportó una superficie plantada de 233 mil hectáreas que representaron una tercera parte del total nacional dedicado a este cultivo, seguida en importancia por Veracruz, Oaxaca y Puebla, que en conjunto concentraron un 50.2% de la superficie (ver figura 2.3).

Figura 2.3

México: Superficie plantada de café por entidad federativa, 2007 (hectáreas y porcentaje)



A nivel nacional se obtuvieron 1 millón 154 mil toneladas de café cereza que, comparadas con el total nacional de cultivos perennes cosechados, representaron el 0.8%. Del total de la producción poco menos del 30.0% se produjeron en Chiapas. Entre Veracruz, Oaxaca y Puebla se distribuyó el 54.9%, lo que significó que 840 kilos de cada tonelada producida provenían de estas cuatro entidades federativas (ver figura 2.4).

Mapa 2.4
 México: Volumen cosechado de café cereza por entidad federativa, 2007 (toneladas y porcentaje)



El rendimiento promedio por hectárea a nivel nacional fue de 1.7 toneladas, Chiapas y Oaxaca con 1.5 estuvieron por debajo de este promedio. En contraste, Veracruz y Puebla tuvieron rendimientos por arriba de 2.0 toneladas (ver figura 2.5).

Mapa 2.5
 México: Rendimiento de café cereza por entidad federativa, 2007
 (toneladas por hectárea)



2.2 Caracterización de las unidades de producción agrícola

2.2.1 Regionalización cafetalera del estado de Chiapas

De acuerdo con el Programa Institucional del Instituto del Café de Chiapas 2013-2018, el estado cuenta con trece regiones o zonas productoras (ver figura 2.6). Cada región cafetalera tiene una sede que usualmente es una cabecera municipal donde las actividades relacionadas con el café (comercialización, infraestructura, presencia de bancos e instituciones) son más representativas.

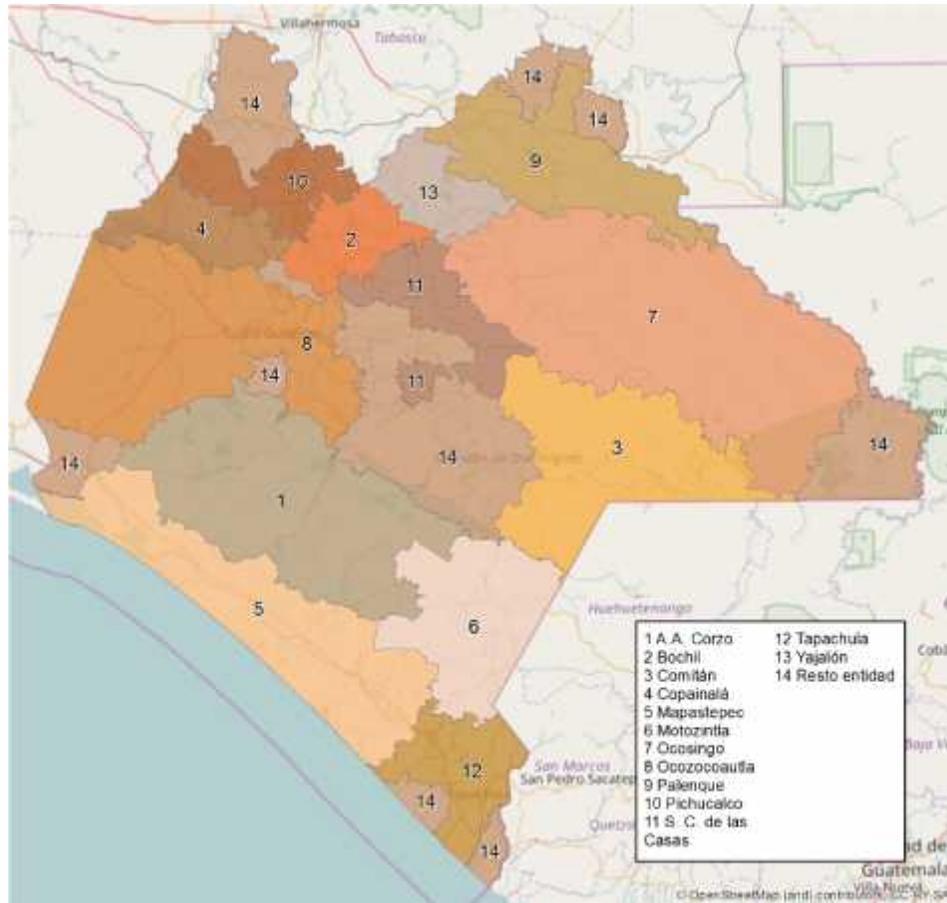


Figura 2.6 Regiones cafetaleras de Chiapas

2.2.2 Estructura y distribución de las unidades productoras de café

Las superficies dedicadas a la producción de café en el estado se centran en su gran mayoría en pequeñas parcelas de hasta una ha con el 61.5% de los predios, de 1.01 a 5 hectáreas con el 35.6% y solamente el 2.9% de los predios tienen más de 5.01 hectárea, lo que significa que la mayoría de los productores son habitantes rurales de escasos recursos.

En las regiones del norte de estado como San Cristóbal de las Casas, Pichucalco, Copainalá, Yajalón y Palenque esta fragmentación es mucho más acentuada, donde más del 70 por ciento de los productores tienen predios menores de una ha y los productores con más de 5 ha no superan el 1%. En cambio en las regiones del sur como Ángel Albino Corzo, Mapastepec, Tapachula y Motozintla, la proporción de productores con menos de 1 ha no supera el 50% y la de productores con más de 5 ha va de 4% a poco más de 15% (ver figura 2.7).

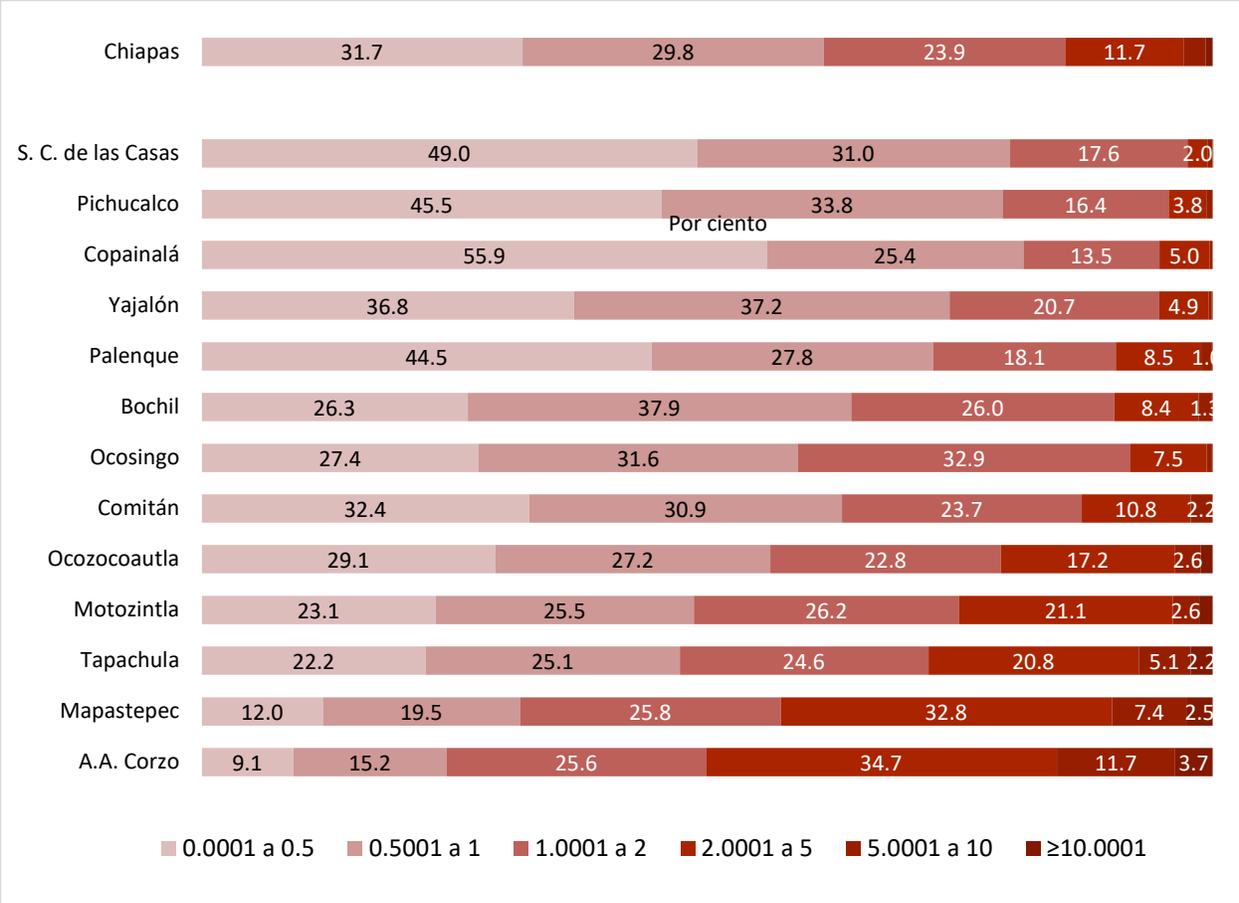


Figura 2.7 Distribución del número de productores d café por tamaño del predio.

2.3 Disponibilidad de agua para uso agrícola

Hay algo que puede afirmarse sin reservas: la existencia humana depende del agua. Tanto la geósfera como la atmósfera y la biósfera están ligadas a ella. El agua interactúa con la energía solar para determinar el clima; transforma y transporta las sustancias físicas y químicas necesarias para toda forma de vida en la Tierra.

Aunque el agua puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su extracción, uso, tratamiento y disposición, lo cierto es que la disponibilidad de agua dulce no contaminada está disminuyendo de manera constante. En muchas partes del mundo, su demanda ya excede el abastecimiento y, a medida que aumenta la población mundial, también lo hace el requerimiento del vital líquido.

El agua es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios. El mayor uso del agua en México es el agrícola, siendo de hasta un 77% del volumen total de agua que recibe, principalmente para riego, con fuentes superficiales predominantemente. Con base en el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (el último a nivel nacional), la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.2 millones de hectáreas, de las cuales el 18% eran de riego y el resto de temporal.

La problemática del agua y su atención es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país. Es por esto que se utilizaran indicadores a escala de cuencas, para representar de mejor manera el grado de disponibilidad hídrica en la región.

2.3.1 Cuantificación de demanda por uso de producción agrícola

Los usos del agua varían mucho según el acceso, la cantidad, la calidad y las condiciones socioeconómicas. El estado de Chiapas no es la excepción, ya que el 82% del volumen total de agua concesionada es dirigido para uso agrícola, seguido por el abastecimiento a la población con el 17% del volumen total.

En el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) se registran los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. El REPGA tiene clasificados los usos del agua en diversos rubros. Cabe destacar que la regionalización de los volúmenes se realiza conforme a la ubicación del aprovechamiento inscrito en el REPGA y no al lugar de adscripción de los títulos respectivos. Para la estimación se consideró la demanda de todos los rubros de clasificación del REPGA, esto para determinar la situación real de la Cuenca Grijalva-Usumacinta.

Al utilizar la demanda de todos los rubros en el estado de Chiapas, es posible encontrar las zonas en que la inadecuada distribución de la misma ha afectado a los ecosistemas, que quedan al final en la distribución del agua que no se utiliza para abasto público, agrícola, industrial y generación de energía, y que muchas veces se ha repartido totalmente.

2.3.2 Importancia del agua en la producción cafetalera

El concepto de agua virtual, establece que cada producto, además del agua que lleva incorporada, requiere de un volumen mayor de agua en su proceso de producción. Por ejemplo, cuando se consume una taza de café, generalmente pensamos que consumimos 125ml de agua. No obstante, para crecer el grano se requiere de agua, que pudo ser agua de lluvia o riego, lo mismo que para los procesos de secado, tostado, molido y empaquetado. En promedio para una taza de café son necesarios 140 litros de agua durante todo su proceso de elaboración. (AgroDer, 2012)

Para la producción del café pergamino, existen dos tratamientos, seco y húmedo. El tratamiento más utilizado es el método húmedo, debido a que se consigue que los atributos intrínsecos del grano de café se conserven mejor y que la café cereza sea homogénea y tenga pocos granos defectuosos. De ahí que el café que se beneficia de este método se considere en general de mejor calidad y alcance precios más altos.

Este proceso consta de cuatro etapas, de las cuales requieren una considerable cantidad de agua, en la siguiente tabla se presenta la comparación de uso y cantidad de agua en los dos procesos anteriormente mencionados.

Tabla 2.1 Comparación de uso de agua en dos procesos de tratamiento del café. Ejemplo de procesos de 500 quintales maduro/día

Etapas	Tratamiento Húmedo	Tratamiento Seco
Recibo y clasificación	105,330 litros	5,000 litros
Despulpado y clasificación	42,000 litros	No agua

Remoción del mucilago	31,500 litros	No agua. No utiliza desmucilaginado
Lavado y clasificación	31,500 litros	15,000 litros recirculación del agua de 1er lavado y 2do lavado
Total litros por jornada	210,330 litros	20,000 litros
Total litros por quintal pergamino	1,893 litros	180 litros

Debido a este proceso de producción, es que el café es uno de los productos agrícolas con mayor requerimiento de agua virtual en México.

2.3.3 Estimación de volumen medio anual de escurrimiento natural

La estimación del volumen medio anual de escurrimiento u oferta hídrica de una cuenca, es obtenida al cuantificar la escorrentía superficial de la misma a partir del balance hídrico de la cuenca. Cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa cuenca (IDEAM, 204).

En México por medio de CONAGUA se cuenta con un total de 2,306 estaciones hidrométricas con registros históricos de hasta 60 años de antigüedad, de las cuales 165 se encuentran dentro de Chiapas, con dicha información fue posible estimar la oferta hídrica hasta el periodo 2013 y con el cual se realizó la cuantificación del grado de estrés hídrico.

Sin embargo, los volúmenes utilizados fueron comparados con los volúmenes publicados por el Sistema de Información Geográfica del Agua (SIGA), miembro descentralizado de CONAGUA y al observar discrepancias en los volúmenes, se decidió utilizar los volúmenes oficiales publicados por dicho organismo.

2.3.4 Cuantificación del grado de estrés hídrico (WTA)

La crisis de agua a la que en la actualidad se enfrenta el planeta encuentra solución en el ámbito académico con el desarrollo de diferentes métodos e indicadores que permiten evaluar el uso del recurso hídrico y facilitar su gestión (Barril-Farell, Turpin Marion, & Suppen Reynaga, 2013).

El grado de estrés es un indicador porcentual de la presión a la que se encuentra sometido el recurso hídrico y es comúnmente definido como el cociente entre el volumen total de agua concesionada y la renovable. El porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos respecto a la renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Se considera que si el porcentaje es mayor a 40% la presión es fuerte (CONAGUA, 2015).

La cuantificación del grado de estrés hídrico (WTA por sus siglas en inglés) de una cuenca i donde diferentes usuarios j (en este caso agrícola) extraen agua, se realiza a partir de la disponibilidad anual de agua (WA_i) y de las extracciones realizadas por los diferentes usuarios (WU_i) respectivamente para cada cuenca i :

$$WTA = \frac{\sum WU}{WA}$$

Si bien no se cuenta con datos suficientes para determinar las causas, este análisis sirve como punto de partida para ayudar a los tomadores de decisión e implementar políticas que ayuden a la regeneración del ciclo hidrológico y la identificación de zonas de amortiguamiento y programas de prevención. Asimismo sirve para ubicar zonas de acopio del café cereza para la producción de café pergamino.

No obstante, a este análisis es necesario agregar un enfoque que casi siempre está ausente, el enfoque holístico de manejo de recursos naturales o enfoque de sistemas, un paradigma complementario que permite observar como un todo al fenómeno de la gestión de recursos y de sus principales impactos. Un enfoque que implica también esfuerzos interdisciplinarios en la investigación y la educación, y de la participación de los principales actores: agricultores, trabajadores agrícolas, consumidores, responsables de la formulación de políticas públicas, entre otros.

3 Subsistema social: Población y desarrollo

3.1 Dinámica demográfica y desarrollo social de las localidades dedicadas al cultivo

3.1.1 Tamaño y crecimiento demográfico

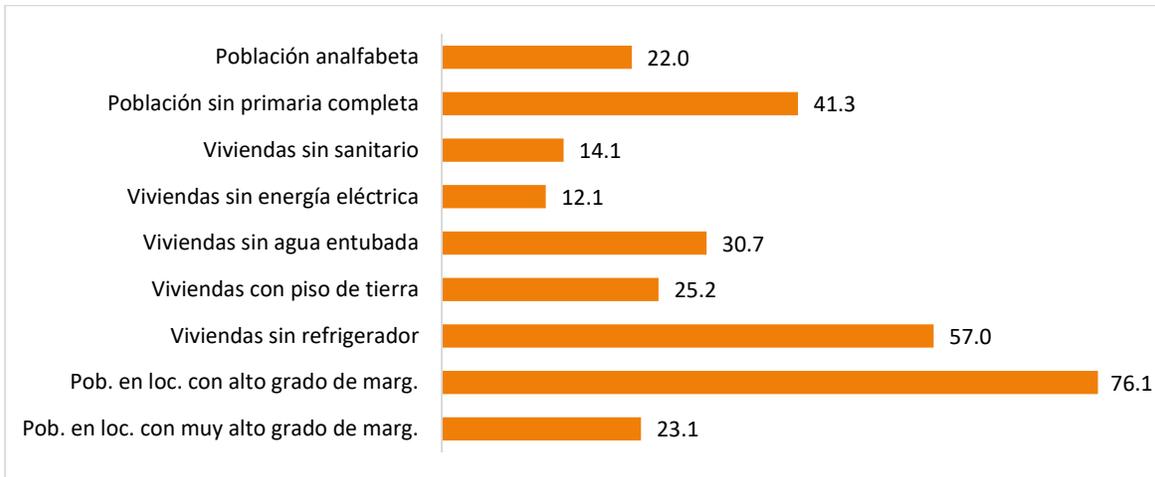
En 2014 el proyecto estadístico del INEGI denominado “Características de la localidades y del entorno urbano” aplicó el Cuestionario de localidad al universo de localidades rurales y a las menos urbanizadas del país, con el propósito de actualizar la información sobre disponibilidad y acceso a bienes, servicios y otros aspectos relacionados con el desarrollo de las localidades y el estudio de los asentamientos humanos. Los resultados permiten identificar a las localidades rurales del estado de Chiapas donde la principal actividad económica es el cultivo o cosecha de productos agrícolas y el café cereza se encuentra entre los tres principales productos.

El número de localidades agrícolas productoras de café en ese año ascendió a 2 885, cuya población de acuerdo con datos del Censo de 2010 era de 558 352 habitantes. Tres de cada cuatro habitantes de estas localidades residen en las regiones cafetaleras de Motozintla, Ocosingo, San Cristóbal de las Casas, Tapachula y Yajalón.

En la primera década de este siglo la población de estas localidades creció a una tasa promedio anual de 1.7%, tres décimas de punto por debajo del promedio de la entidad (2.0%). Las localidades con mayores ritmos de crecimiento corresponden a las regiones de Ocosingo (3.2%) y San Cristóbal de las Casas (2.5%), mientras que los crecimientos más bajos se observaron en las regiones de Mapastpec (-0.2%), Tapachula (0.5%), Palenque y Copainalá (0.7%).

3.1.2 Marginación y acceso a servicios básicos

En 2010, 22% de la población de 15 años y más de la región era analfabeta y 41.3% no había concluido la educación primaria, 14.1% de las viviendas carecían de sanitario, 12.1% de energía eléctrica, 30.7% de agua entubada y 57% de refrigerador, mientras que la proporción de viviendas con piso de tierra ascendía a 25.2%. De esta forma, el 76.1% de la población residía en localidades con alto grado de marginación y 23.1% en localidades con grado de marginación muy alto (ver gráfica 3.1).



Gráfica 3.1 Indicadores de marginación de las localidades productoras de café (por ciento).

3.1.3 Daños por fenómenos naturales

La proporción de población que reside en localidades que experimentaron algún daño ocasionado por fenómenos naturales ocurridos entre 2010 y 2014 ascendió, en el rubro de daño por sequía a 55.8%, temblor 35.8%, inundación por lluvia o desbordamiento 23.5%, ciclón o huracán 19.8%, helada o granizada 13.4% e incendio forestal 2.7% (ver gráfica 3.2).

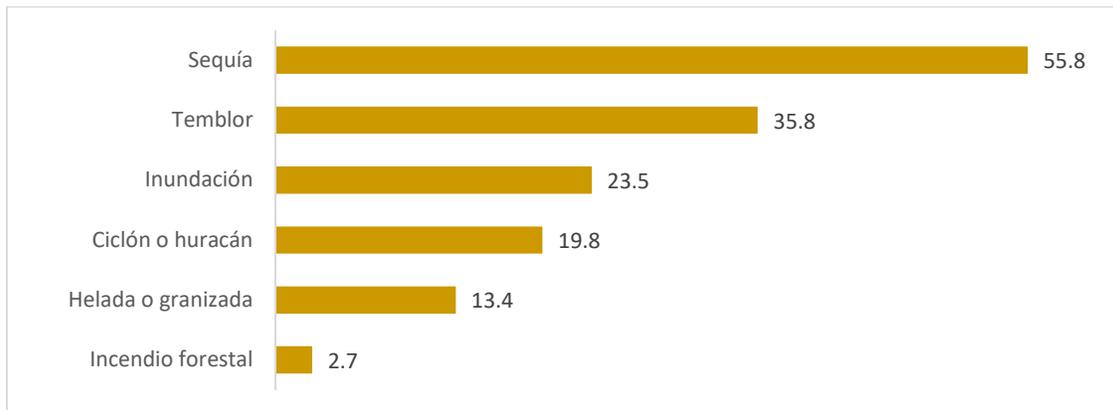
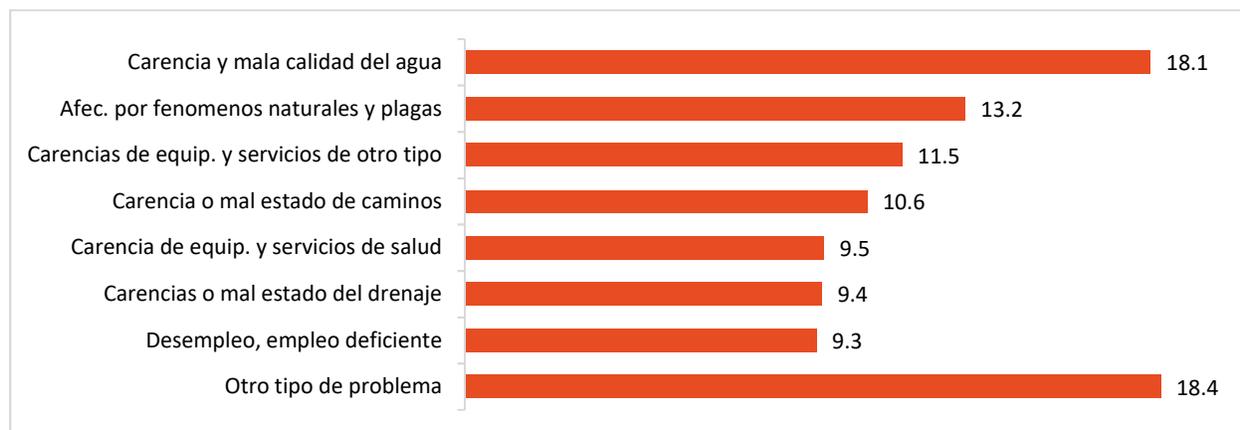


Figura 3.2 Porcentaje de población que reside en localidades que experimentaron algún daño ocasionado por fenómenos naturales.

3.1.4 Problema principal

Finalmente, respecto a la principal dificultad que enfrentan las comunidades en su conjunto y que afectan su desarrollo económico y social, se tiene que de las veinte clases de problemas socioeconómicos que sintetizan la diversidad de situaciones mencionadas durante las entrevistas, las mayores proporciones de población en localidades afectadas corresponden a situaciones de carencia y mala calidad del agua 18.1%, afectaciones por fenómenos naturales y plagas 13.2%, carencia de equipamiento y servicios de diverso tipo 11.5%, carencia o mal estado de caminos 10.6%, falta de equipamiento y servicios de salud 9.5%, carencia o mal estado del drenaje 9.4%, y desempleo o empleo deficiente 9.3%. Estos siete problemas

tipo agrupan a 81.6% de la población residente en localidades agrícolas productoras de café (ver gráfica 3.3).



Gráfica 3.3 Principal problema percibido en las localidades productoras de café.

3.2 Análisis y modelado de la accesibilidad

3.2.1 Ubicación de las localidades y características de la red vial

Del universo de 2 285 localidades agrícolas productoras de café, poco más de la mitad (1 451) se localizan a menos de un kilómetro de distancia de la Red Nacional de Caminos que integra las carreteras, vialidades y caminos de la entidad, donde reside 78.1 por ciento de la población. En tanto, 1 434 localidades se ubican a más de un kilómetro de la red vial y en ellas vive 21.9 por ciento de la población total de las localidades “cafetaleras” (ver cuadro 3.1).

Distancia	Localidades (núm.)	Loc. acum. (%)	Población (núm.)	Pob. acum. (%)
Hasta 100 m	645	22.4	271,642	48.7
De 100 a 250 m	261	31.4	96,354	65.9
De 250 a 500 m	207	38.6	36,808	72.5
De 500 a 1000 m	338	50.3	31,368	78.1
De 1 a 2.5 km	683	74.0	67,546	90.2
De 2.5 a 5 km	471	90.3	39,775	97.3
De 5 a 10 km	192	96.9	13,405	99.7
Más de 10 km	88	100.0	1,454	100.0

Cuadro 3.1. Localidades y población por rango de distancia a la Red Nacional de Caminos 2015

Considerando las características del segmento de la red vial más cercano a cada localidad, se observa que poco más de la mitad de la población (52%) reside en localidades asociadas a calles, avenidas y carreteras de dos carriles, pavimentadas fundamentalmente con asfalto; mientras que 47.9 por ciento de la población se ubica en localidades vinculadas a caminos de un solo carril, recubiertos básicamente de tierra (ver cuadro 3.2).

Vialidad	Recub.	Carriles	Loc. (%)	Pob. (%)
Calle	n.a.	2	1.7	3.8
Avenida	n.a.	2	1.2	2.7
Carretera	Asfalto	2	49.1	45.2
	Concreto	2	0.3	0.3
Camino	Grava	1	1.4	1.4
	Tierra	1	46.2	46.4
	Tierra	2	0.1	0.1

Cuadro 3.2. Localidades y población por características de la Red Nacional de Caminos 2015

3.2.2 Definición de áreas de servicio de las cabeceras municipales

La definición de áreas de servicio de las cabeceras municipales correspondientes a las localidades agrícolas productoras de café, con base en las especificaciones técnicas (longitud y velocidad) de los segmentos que integran la Red Nacional de Caminos, permiten estimar el tiempo óptimo de recorrido a través de dicha red (ver figura 3.1). Sin embargo, existe una gran diferencia entre los resultados de este análisis y los tiempos de traslado a las cabeceras municipales obtenidos a partir del Cuestionario de localidad.

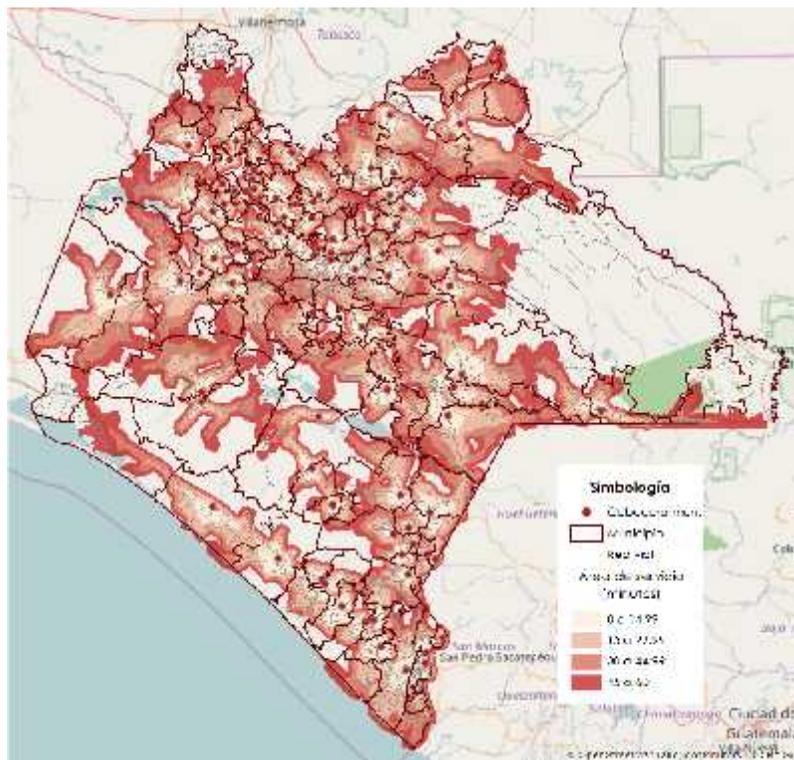
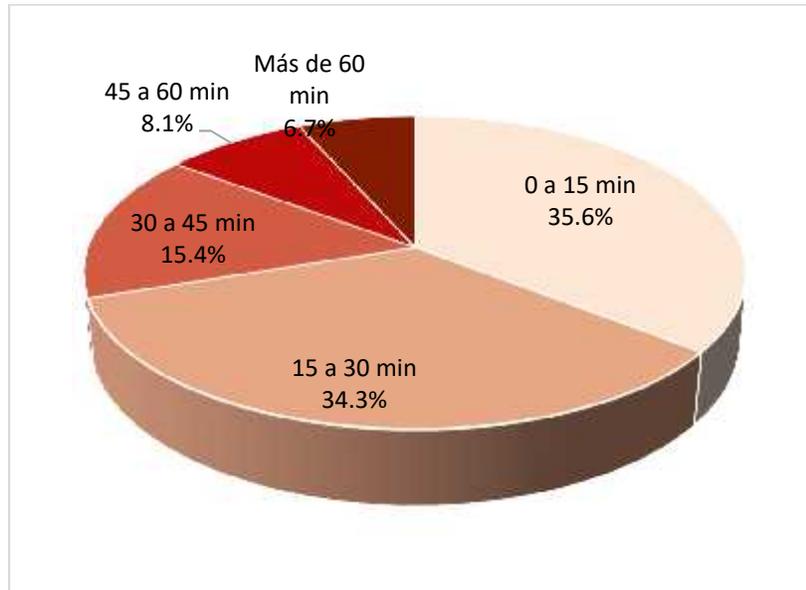


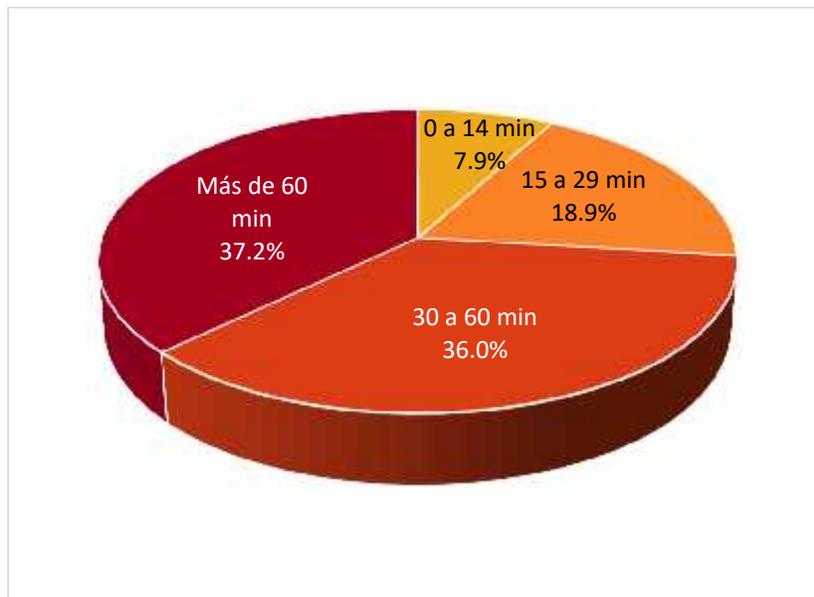
Figura 3.1 Mapa de polígonos de áreas de servicio determinados con base en las especificaciones de la Red Nacional de Caminos 2015.

En el caso de la estimación de los tiempos de traslado óptimos, se tiene que 69.9% de la población reside en localidades situadas a menos de 30 minutos de una cabecera municipal, 23.5% se encuentra entre 30 y 60 minutos, y sólo 6.7% se ubica a más de una hora de distancia (ver gráfica 3.4).



Gráfica 3.4 Distribución de la población por tiempo de traslado a la cabecera municipal más cercana, estimado con base en la Red Nacional de Caminos 2015.

Mientras que en el Cuestionario de localidad, la proporción de población situada a menos de 30 minutos de la cabecera municipal se reduce drásticamente a 26.9%, en tanto que las proporciones de población localizada entre 30 y 60 minutos, y a más de una hora, aumentan a 36% y 37.2%, respectivamente (ver gráfica 3.5). Lo anterior da cuenta de la amplia brecha que existe entre las condiciones de accesibilidad potencial y efectiva de la población.



Gráfica 3.5 Distribución de la población por tiempo de traslado a la cabecera municipal de acuerdo con el cuestionario de localidad 2014.

Adicionalmente, 30.1 por ciento de la población se encuentra en localidades que no disponen de transporte público foráneo, lo que limita las posibilidades de movilidad de sus habitantes y el acceso de éstos a bienes y servicios localizados en otras comunidades (ver gráfica 3.6).

4 Subsistema ambiental

4.1 La cubierta vegetal y uso de suelo en Chiapas

4.1.1 La diversidad florística en Chiapas

Chiapas es el segundo estado con mayor biodiversidad de México, lo cual está estrechamente relacionado con su ubicación dentro de la región tropical y su compleja morfología. Se estima que en este estado se distribuye el 40% de las especies de angiospermas de la flora arbórea mexicana (González-Espinosa *et al.*, 2005).

De acuerdo con las series de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 de INEGI, los tipos de vegetación que se distribuyen en Chiapas son: bosques de coníferas, bosque de coníferas y latifoliadas, bosque de latifoliadas, bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo, mezquital, vegetación hidrófila, selva caducifolia y subcaducifolia, selva perennifolia y subperennifolia.

En Chiapas, la vegetación predominante es la de bosque tropical caducifolio, este tipo de vegetación, también es la que más ha sido afectado por deforestación a nivel nacional, de manera que únicamente menos del 30% de la cobertura original persiste en el país (Rocha-Loredo *et al.*, 2010). La deforestación en Chiapas es la mayor en hectáreas por año (42 466 ha/año) a nivel nacional, sin embargo, la deforestación es un proceso cambiante, que no se da de manera constante a través del tiempo ni con la misma intensidad, sino que depende del requerimiento de las causas que lo originan (Céspedes- Flores & Moreno- Sánchez, 2010).

Las causas del cambio de cubierta vegetal pueden asociarse con factores naturales, como plagas e incendios, pero principalmente ocurren por factores antrópicos, como la expansión de la agricultura y la ganadería, la tala clandestina, los incendios provocados, así como, el crecimiento de las urbes y la ampliación de infraestructura.

Algunas de las consecuencias del cambio de cubierta vegetal en los ecosistemas son la pérdida de la biodiversidad, alteraciones a los ciclos biogeoquímicos, reducción de nutrientes en el suelo, así como, un impacto negativo en los servicios ecosistémicos que brinda la vegetación. A su vez, estos cambios contribuyen con el incremento de gases de efecto invernadero y a la reducción del almacenamiento de agua, por lo tanto, se relacionan positivamente con el incremento de temperatura, lo cual puede modificar el microclima local y regional, pudiendo llegar al extremo de provocar desertificación. Estas afectaciones provocadas por el cambio de cubierta vegetal, además podrían tener efectos negativos para la cubierta vegetal que aún persista en la región.

En las regiones tropicales durante los últimos años se han registrado anomalías relacionadas con el fenómeno de "El Niño", a lo que se sumaría el incremento de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera como causa de la deforestación, para impactar el clima regional (Rocha–Loredo et al., 2010). Se reconoce que los gases de efecto invernadero cumplen un papel importante en el incremento de temperatura, debido a que las ondas largas que remite la Tierra son retenidas por estos gases. El CO₂ es el gas que se encuentra en mayores concentraciones en la atmósfera, por supuesto, en mayores concentraciones de las que la flora existente puede absorber para su proceso metabólico en el que produce oxígeno y glucosa. Es importante señalar que las principales fuentes de la emisión de este gas son la quema de combustibles fósiles y la deforestación para cambio de uso de suelo (Pérez et al., 2006).

La pérdida de la vegetación, también tiene repercusiones en la fauna, pues en primera instancia es una reducción de su hábitat, por lo que los animales se ven en la necesidad de desplazarse a otros sitios no impactados, que cumplan las condiciones aptas para su alimentación y desarrollo general. La fragmentación y pérdida del hábitat, además implica contener en una menor área - en muchos casos concentrada a modo de isla- la diversidad de fauna, limitando el intercambio genético.

En los bosques de pino-encino y mesófilo de montaña de Chiapas se han reconocido grupos funcionales, es decir, conjuntos de especies que comparten atributos funcionales asociados con alguna condición abiótica de disturbio. Particularmente, se han reconocido grupos funcionales asociados con cambios en las condiciones de temperatura y precipitación. Sin embargo, este tipo de estudios no se ha llevado a cabo en los bosques tropicales caducifolios (Rocha–Loredo et al., 2010), en los que se pueden identificar especies resistentes a cambios de temperatura y precipitación, así como estimar la cantidad de especies que podrían adecuarse a cambios de esta índole y por lo tanto, también estimar e identificar las especies que resultarían más afectadas.

The Climate Insitute (2016), señala que los trópicos tienen una baja capacidad de adaptación ante perturbaciones ambientales, por lo tanto, son altamente vulnerables a eventos extremos, como el cambio climático. En consecuencia, se considera altamente probable que la biodiversidad de estos sitios resulte más amenazada. Los cambios ambientales, son provocados principalmente por actividades antrópicas de manera directa o indirecta. Específicamente, la implementación de la agricultura y la ganadería, promueven un cambio absoluto en la cubierta vegetal, ya que suprimen la vegetación original en las grandes extensiones en las que se establecen.

Una de las consecuencias de este cambio con mayor impacto en el estado es la disminución de los cuerpos de agua y la reducción de la infiltración de la misma, especialmente cuando se tienen como principales actividades la agricultura y la ganadería en las zonas rurales del estado. De modo que, tanto la escasez de agua, como el incremento de la temperatura, ponen en riesgo el ingreso económico de los productores y la producción de alimentos.

4.1.2 Los efectos del cambio de cubierta vegetal en el café

En México el café se produce principalmente bajo sombra y Chiapas es el mayor productor de café en el país, destacando como el primer lugar en producción de café orgánico a nivel mundial. El cultivo de café se lleva a cabo de manera intensiva principalmente para la variedad de café "robusta" (*Coffe acanephora*), mientras que para el tipo "arábiga" (*Coffea arabica*) se implementa el cultivo tradicional o rústico. *C. canephora* es un monocultivo establecido a pleno sol, ya que es una especie para el comercio mundial de café soluble con plantaciones de café que se extienden sobre una superficie exclusivamente de uso

agrícola. En contraste, *C. arabica* es un cultivo con manejo rústico o policultivo tradicional, es una mezcla de cultivos bajo la sombra de árboles del bosque templado y con un uso limitado de agroquímicos. Este tipo de sistema agrícola, genera un menor impacto en el ecosistema porque en él conviven cultivos y vegetación forestal original, lo anterior, debido a que la variedad arábica es un tipo de café sensible a cambios en la temperatura y a la exposición directa al sol, siendo esencial para su crecimiento la sombra que le generan los árboles de mayor altura. Cabe destacar que la especie arábica genera café de mayor calidad para el consumidor y es la más cultivada en el estado, principalmente por ejidatarios reconocidos como pequeños productores (Barrera & Parra, 2004).

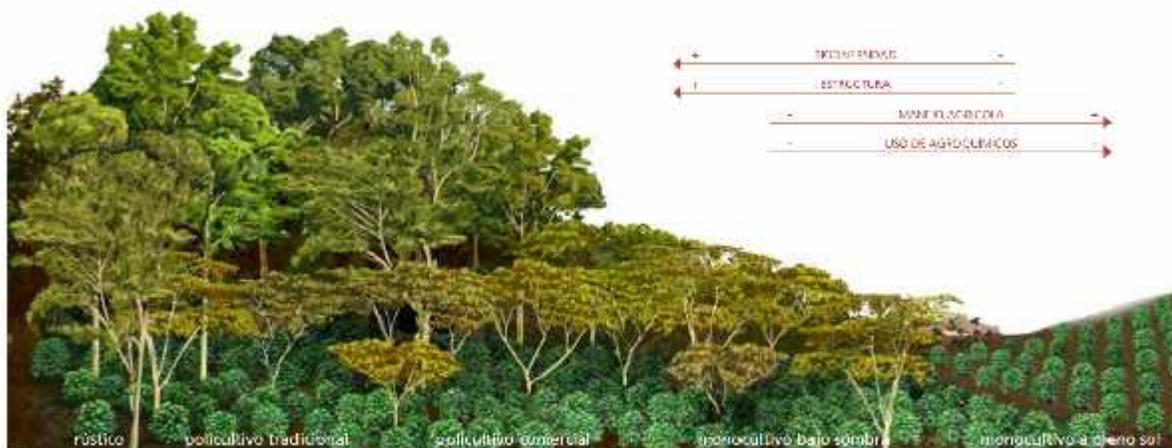


Figura 4.1 Relación entre el tipo de cultivo con la biodiversidad, estructura, manejo agrícola y uso de agroquímicos. Podemos observar que al realizar cultivos rústicos o policultivos (implementados en Chiapas para la variedad arábica) se conserva la biodiversidad y estructura del bosque, mientras que en los monocultivos (de la variedad robusta) se pierden estos elementos y se incrementa el uso de agroquímicos. Fuente: Conabio. 2015. Bosques, selvas y cafés de Chiapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Considerando la importancia que tiene el cultivo de arábica por su gran extensión para el resguardo de la biodiversidad, para mantener la generación de servicios ecosistémicos y para la generación de ingresos económicos en zonas rurales. Resulta altamente importante conocer las transiciones de cubierta vegetal que han ocurrido en las últimas décadas, ya que esto podría reducir los sitios aptos para el cultivo de este tipo de café, así como también podría indicar la tendencia de los productores, quienes probablemente se inclinaron a desarrollar un tipo de actividad económica de la que obtengan un mayor ingreso económico.

En cuanto a un posible incremento futuro en la temperatura, se puede sugerir que ocurrirá un cambio y pérdida de las condiciones adecuadas para el desarrollo de las plantaciones actuales, por lo que tendrán que desplazarse a mayores altitudes. Este desplazamiento, podría implicar la pérdida de otras cubiertas y estas pérdidas serían más alarmantes al tratarse de cultivos intensivos que requieren eliminar la cubierta original para su establecimiento. Un efecto similar de pérdida de cubiertas forestales, podría ocurrir en el caso de los productores con terrenos en zonas afectadas, en las que al no presentarse las condiciones óptimas para el cultivo de café deberán cambiar de cultivo, posiblemente implementando monocultivos más impactantes para la cubierta forestal original en comparación con el café tradicional.

4.1.3 El impulso económico a la agricultura. El ejemplo del café y la palma africana

Chiapas tiene una importante producción pecuaria y agrícola, la cuáles son de las principales fuentes de ingreso en la economía de las zonas rurales del estado (UTEP, 2010). Los principales cultivos cíclicos en el estado por su superficie cosechada son: maíz, frijol, soya, sorgo y chile verde. En cuanto a los cultivos perennes destacan algunos como: café cereza, caña de azúcar, mango, plátano y palma africana (SFA, 2011).

El cultivo de café ha sido apoyado anualmente por el gobierno a través de SAGARPA, durante el período del 2013 al 2015 se ha destinado apoyo económico para impulsar la producción de plantas en viveros, para adquirir la planta y renovar cafetales, para acompañamiento técnico, así como para infraestructura y equipamiento. Se pretende que el establecimiento de viveros sea para producir plantas tolerantes a la Roya (*Hemileia vastatrix*) del café y así, comenzar a usar estas plantas para renovar y repoblar los cafetales mexicanos.

Algunos de los programas implementados han sido el Procafé, que pretende contribuir al incremento de la producción de café en las unidades económicas rurales agrícolas mediante la integración de cadenas productivas e inversiones en los mismos rubros que ya se mencionaron anteriormente. El Programa de coberturas para café de ASERCA, se creó con el objetivo de proteger el ingreso económico de los productores de café de las fluctuaciones de los precios en el mercado internacional. Pero el apoyo económico para la producción de café no sólo se queda en el sector gubernamental, también el sector privado promueve el uso de un fideicomiso denominado FIRCAFE, con el fin de otorgar créditos o compensaciones por la caída del café, dicha compensación es para los productores que registran su venta de café a través del Sistema Informático de Caficultura Nacional (SICN) y va de acuerdo con la aportación que realicen. Sin embargo, el consumo es lo que marca el éxito de la venta de los productos y por lo tanto, de su redituabilidad, así que surgió una campaña bajo el concepto "¿Un cafecito?, que sea de México", como una iniciativa gubernamental con la finalidad de elevar el consumo de café nacional a través de resaltar la gran cantidad y diversidad de empleos que se crean al rededor del café.

Al parecer las inversiones que se han destinado al café no han sido muy redituables, ya que su precio y producción ha ido en decremento en los últimos años (Batz *et al.* 2016), de manera paralela se ha reconocido que Chiapas tiene un alto potencial para la siembra de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq.*). En este sentido, se calcula que 400,000 ha cumplen las condiciones para el cultivo de esta palma, además de las 38,525 ha en las que actualmente ya se siembra, que colocan a Chiapas como el primer productor a nivel nacional. El cultivo de palma se distribuye en cuatro regiones socioeconómicas, Soconusco e Istmocosta, al sur y al norte en Tulijá y Maya, en estas regiones también se cultiva café, siendo en la zona de Tulijá donde están más cercanos los cultivos de café y palma, pues comparten una precipitación apta mayor a los 1800 mm y una temperatura similar (ver figura 4.2). La palma se cultiva principalmente con fines de agrocombustible y se impulsó en el estado desde el año 1998 (Ávila & Ávila, 2015; FIRA, 2016).

México no abastece su consumo interno de aceite de palma, por lo que dicho cultivo ha sido impulsado a través de diversos apoyos otorgados por SAGARPA, por Agencias de Gestión para el desarrollo de proveedores, por la Secretaria del Campo aportando viveros y plantas para nuevos cultivos, así como por el Fondo Estatal de Desarrollo Comercial Agropecuario y Agroindustrial (FEDCAA). Este Fondo respalda financiamientos para el cultivo, de modo que la palma se ha establecido como una alta oportunidad de negocio (FIRA, 2016). Por todos los apoyos que recibe la palma africana, resulta una atractiva opción para los productores agrícolas, aunque se trate de una planta introducida que se siembra en monocultivo y bajo un manejo poco amigable con el ecosistema. Con lo anterior, pareciera que las actividades

económicas y de conservación son contrarias ya que el financiamiento para el desarrollo agrícola podría resultar contradictorio a la conservación, cuando promueve la expansión de áreas agrícolas.

En la figura 4.2 podemos identificar claramente que la tasa de crecimiento de consumo de palma africana o de aceite en México, evidentemente ha crecido a comparación de otros productos de consumo básico, por lo tanto, también se ha visto incrementada su tasa de importación para poder cubrir la demanda nacional.



Figura 4.2 Crecimiento de las importaciones y consumo de palma africana o de aceite en México durante el período del 2002 al 2006. Fuente: Monitor agronómico del estado de Chiapas, SAGARPA, 2009.

La palma africana es un cultivo perenne que puede tener una vida productiva de más de 50 años. Los aceites que se extraen y que son los que se comercializan, son utilizados para elaborar diversas grasas vegetales para la cocina, jabones y alimento para animales, por mencionar algunos. El mercado de la palma se ha ampliado, al comenzar a emplearla como materia prima para la producción de biodiesel, este fin es el que ha promovido el incremento de su producción en los últimos años. Por lo que se espera que el precio del aceite se incremente gradualmente durante los próximos años.

El uso del aceite de palma como biocombustible es más eficiente para la reducción de gases de efecto invernadero a comparación de otras alternativas de biocombustible, sin embargo, requiere una alta demanda de agua para incrementar su productividad, así como deforestación de grandes extensiones de territorio para implementar su cultivo. Por lo que cabe cuestionar el cultivo de esta planta introducida.

Finalmente, es posible plantear que el desarrollo socioeconómico a partir de la expansión de la agricultura puede considerarse contrario a los planes de conservación, por lo que se considera importante que exista un diálogo entre las secretarías que impulsan estas iniciativas, a manera de lograr un balance entre los programas y acciones que cada una propone.

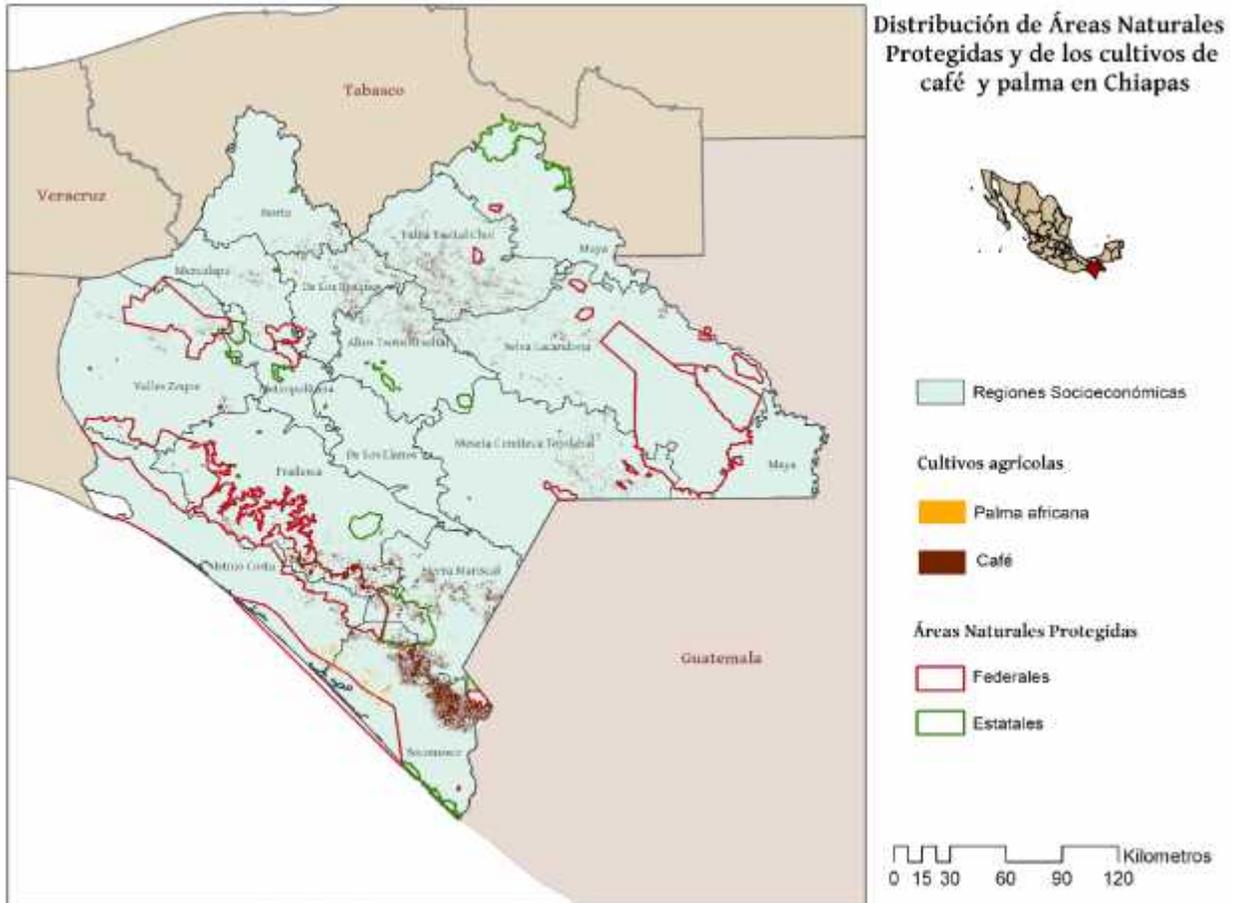


Figura 4.3 Mapa de distribución de Áreas Naturales Protegidas y cultivos de café y palma.

4.1.4 Herramientas de conservación

Al igual que en todos los estados del país, Chiapas tiene pérdida de cubierta forestal mayor a la que se reforesta, pero la brecha entre estas acciones es mayor en este estado, por lo que debe ser prioritario para intensificar las acciones que disminuyan la pérdida forestal y los efectos que ésta ocasionan (Céspedes- Flores & Moreno- Sánchez, 2010). La zona deforestada puede ser restaurada, pero si cambia de uso de suelo, será casi imposible lograr su recuperación ecológica. Una de las fallas corresponde a que muchas de las acciones de reforestación son secundarias, es decir, se planean para remediar lo que ya se dañó, sin embargo, para solucionar esta problemática de raíz lo que se requiere es impulsar la implementación de ordenamientos territoriales junto con planes de manejo, para tener un mejor control de las actividades económicas y de las cubiertas vegetales.

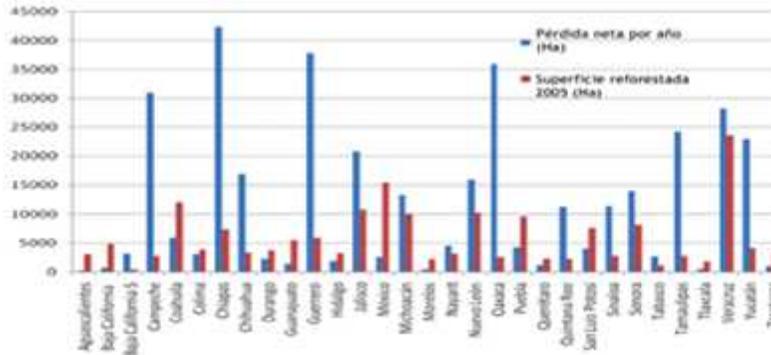


Figura 4.4 Reforestación y pérdida neta del recurso forestal por entidad federativa en México.
 Fuente: Céspedes- Flores & Moreno- Sánchez, 2010, pág. 12. "Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México", elaborada con datos de CONAFOR al año 2005.

En cuanto a la conservación, Chiapas cuenta con 25 Áreas Naturales Protegidas a nivel estatal y 23 a nivel federal, cubriendo una extensión de 1,274,447.33 ha en el estado. Estas áreas al estar reglamentadas para su aprovechamiento, son un límite para la expansión de la pérdida de cubierta forestal en su interior. Aunque dentro de algunas de estas zonas es posible realizar algún tipo de uso o aprovechamiento, incluso dentro de algunas se cultiva café o palma. Se considera que los posibles cambios de cubierta prospectivos que pudieran ocurrir, serían menores dentro de estas áreas por su carácter de conservación o en el mejor de los casos, estas áreas estarían excluidas de la pérdida de cubierta forestal.

En el año 1997 se creó el Fondo Bioclimático para gestionar los fondos del proyecto piloto en Chiapas de captura de carbono denominado Scolel Té, en esta ocasión se dirigieron a realizar prácticas agroforestales, en la que participaron alrededor de 300 cafeticultores y productores de maíz plantando árboles en 20 % de sus parcelas, con la finalidad de incrementar la captura de carbono (Herman *et al.*, 2004).

Otras herramientas para evitar la pérdida de cubierta forestal original impulsadas por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), ha sido la implementación desde el año 2003 de diversos programas como el de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) o Compensaciones por servicios ecosistémicos a partir de la ubicación de áreas prioritarias. Los PSA hidrológicos son una iniciativa que provee incentivos económicos a quienes conserven el bosque, tanto en zonas con alta infiltración de agua o parte de una cuenca hidrográfica, como en áreas con alto riesgo de desastres hidrológicos. Con un sentido similar, también se ha creado un programa federal de Pagos por secuestro de carbono, biodiversidad y servicios agroforestales (PSA-CABSA).

Los servicios ambientales de acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre y la Ley de Aguas Nacionales en sus artículos terceros, así como con la Ley General del Desarrollo Forestal Sustentable en su artículo séptimo, consisten en la regulación del uso y aprovechamiento de los elementos naturales y de los beneficios a la sociedad que de estos se derivan, tales como la regulación climática, el control biológico de plagas, la formación de suelo, la recarga de acuíferos, la captura de contaminantes, la generación de oxígeno, la conservación del ciclo hidrológico y ciclos biogeoquímicos, el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales, la protección a la biodiversidad y la recreación.

Las zonas prioritarias para otorgar la Compensación Ambiental por Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales, tiene como objetivo identificar las áreas forestales deterioradas que requieren ser urgentemente restaurada, ya que de esta manera se pretenden compensar los servicios ambientales que estaban siendo afectados por el deterioro provocado por el cambio de uso de suelo. Para lograr la rehabilitación de estos servicios ambientales, se requiere la colaboración de las comunidades, ejidos o propietarios, dependencias y academia.

En la región de la Selva Lacandona existen varias ANP y como ya veremos en la sección de análisis de cubierta vegetal en el mapa de permanencias (figura 4.5), es uno de los sitios que ha mantenido en mejores condiciones su vegetación primaria. El año pasado, CONAFOR lanzó una convocatoria para asignar apoyos específicamente en esta región, para realizar proyectos de ordenamientos territoriales comunitarios, restauración, conservación y aprovechamiento forestal sustentable.

Este tipo de iniciativas a favor de la conservación, en caso de lograr desarrollarse de manera exitosa, podrían mejorar los escenarios futuros del cambio de cubierta vegetal y uso de suelo, en cuanto a la reducción de la cubierta forestal. Sin embargo, se debe mencionar que el incentivo que reciben a través de PSA por hectárea de cubierta forestal al año es mínimo, por lo que no compite con el ingreso que generan los cultivos.

La estrategia para impulsar la conservación de la cubierta forestal a partir de la cual los propietarios puedan recibir un mayor beneficio económico, es permitiendo que los propietarios realicen el manejo de su territorio de manera amigable con el ecosistema ya sea con un aprovechamiento forestal planificado o con la implementación de sistemas agroforestales orgánicos, que puedan complementar su ingreso de compensación y pagos por servicios ambientales y de esta manera, permitirles obtener un mejor ingreso económico y al mismo tiempo mantener los beneficios de la vegetación.

La consolidación de los PSA aún es un camino que se está recorriendo en México, debido a que tienen poco tiempo implementándose y a que resulta difícil valorar los servicios ambientales estimando un costo monetario a quienes reciben el beneficio o impactan los ecosistemas, también deben clarificarse los flujos de la recaudación de los pagos del usuario de los servicios en un fondo para gestionarlos correctamente y asegurar que lleguen a los propietarios que mantienen sus parcelas con cubierta forestal o a los sitios prioritarios para realizar acciones y restaurar los servicios ambientales. También, resulta esencial identificar las áreas prioritarias para cada servicio, tomando en cuenta las variables explicativas suficientes e integradoras, es decir, basarse en variables ambientales, sociales y económicas, para acertar en la planeación del destino de recursos.

Se debe sugerir que haya un mayor diálogo entre los programas productivos y forestales con los de conservación, ya que muchas veces tienen objetivos contrapuestos y por lo tanto sus acciones son opuestas al converger en un mismo sitio. Además, se deben evaluar las acciones realizadas durante los periodos de apoyo, contemplando que la finalidad sea una continuidad en la conservación de los sitios y en el mantenimiento de las zonas restauradas.

Se considera, que de manera inmediata debe comenzarse a mitigar la pérdida de la vegetación original, entendida como la prevención necesaria para evitar la deforestación y por lo tanto, el incremento de las emisiones de gases con efecto invernadero, así como los efectos que podrían provocarse a mediano y largo plazo. Mientras que para efectos que ya están ocurriendo u ocurrirán en un corto plazo, se requiere adecuación, es decir, planear acciones de restauración para disminuirlos y enfrentarlos.

4.1.5 Análisis de cubierta vegetal y uso de suelo de los años 1974 y 2011 en Chiapas

Bajo el contexto que se ha dado en cuanto a la relación de la cubierta vegetal con los servicios ambientales y el cultivo de café, se determinó considerar dentro de los objetivos de este estudio, el identificar los cambios de cubierta vegetal y uso de suelo que han ocurrido dentro del período de 1974 a 2011 en Chiapas, para conocer las tendencias de transiciones de cubiertas, la pérdida de cubierta vegetal y permanencias de cubiertas en el estado dentro de este lapso.

Para el análisis se utilizaron las series I y V de uso de suelo y vegetación del continuo nacional, escala 1:250 000 de INEGI, para realizar un procesamiento de todo el territorio de Chiapas en el Land Change Modeler for ecological sustainability (LCM) en IDRIS Selva. Debido a que el formato de las series son vectores, estas se transformaron a raster de 30×30m y posteriormente a un formato ASCII para poder ser importado a IDRISI y llevar a cabo el análisis de cambio en el LCM. Los tipos de cubierta que se tomaron en cuenta para realizar el análisis fueron: vegetación primaria, vegetación secundaria, cuerpos de agua, agricultura, pastizales inducidos y otros, esta última categoría incluye vegetación de reducida extensión como asentamientos humanos y áreas sin vegetación aparente.

Como resultado del análisis de cambio de uso de suelo realizado en la sección del LCM de IDRISI Selva, a partir de la comparación de la serie de INEGI de 1974 con la serie del 2011, se obtuvieron los siguientes mapas complementarios de permanencias y cambios de las cubiertas vegetales y uso de suelo.

En el mapa de permanencias (figura 4.5) podemos observar que durante este periodo de casi cuarenta años la cubierta vegetal primaria que se ha mantenido se ubica en las zonas más altas de acuerdo a la topografía y en sitios donde existen áreas naturales protegidas como: en la Selva Lacandona al este, en la Sierra de Chiapas al sur y en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote al oeste. La vegetación secundaria se expande como una transición entre la vegetación primaria y pastizales, mientras que la agricultura que al parecer comenzó a implementarse principalmente en la zona centro, sigue manteniéndose con ese uso de suelo, en muchos casos con vecindad a vegetación primaria.

En el siguiente mapa de cambios de cubierta vegetal y uso de suelo de la figura 4.6 se observa en rojo intenso las pérdidas de cubierta vegetal por haber implementado agricultura o pastizales, suprimiendo completamente la vegetación original en los sitios en que se establecieron. La reducción de cubierta vegetal primaria indicada en el mapa, hace referencia a cambios de esta cubierta a otra cubierta que mantiene vegetación pero de transición, como vegetación secundaria, por lo que se considera que genera una menor degradación al cambio que se mencionó inicialmente.

La recuperación de cubierta vegetal es mínima en comparación con la pérdida, como ya se venía mencionando en una sección anterior que la reforestación es menor a la deforestación, en este mapa de cambios se evidencian y ubican espacialmente en el territorio estatal. También se identificó un incremento en los cuerpos de agua, el cual se visualiza que ocurrió principalmente en la presa denominada La Angostura o Doctor Belisario Domínguez.

La pérdida de vegetación primaria ha sido de poco más de millón y medio de hectáreas, 1 582 876.53 ha es la cifra exacta que se estimó de acuerdo a la diferencia del área de este tipo de cubierta de los dos años comparados, de lo que se puede estimar una pérdida de 42 780.45 hectáreas anuales, dicha vegetación en su mayoría es de tipo arbórea por lo tanto implica deforestación. De seguir con una

tendencia de este tipo, la reducción de vegetación primaria imposibilitará el establecimiento de sistemas productivos agroforestales como los cultivos tradicionales de café arábica bajo sombra.

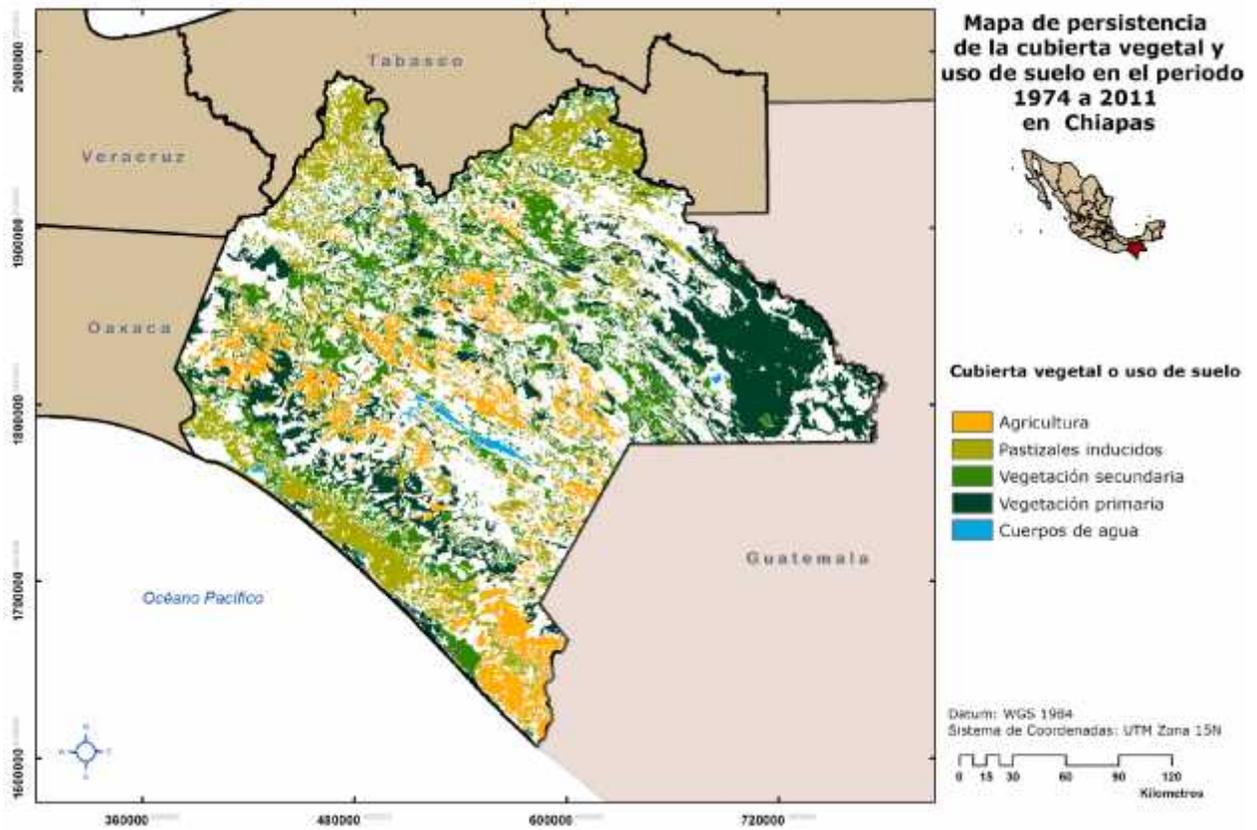


Figura 4.5 Mapa de permanencias de la cubierta vegetal y uso de suelo en Chiapas durante el periodo 1974 al 2011.

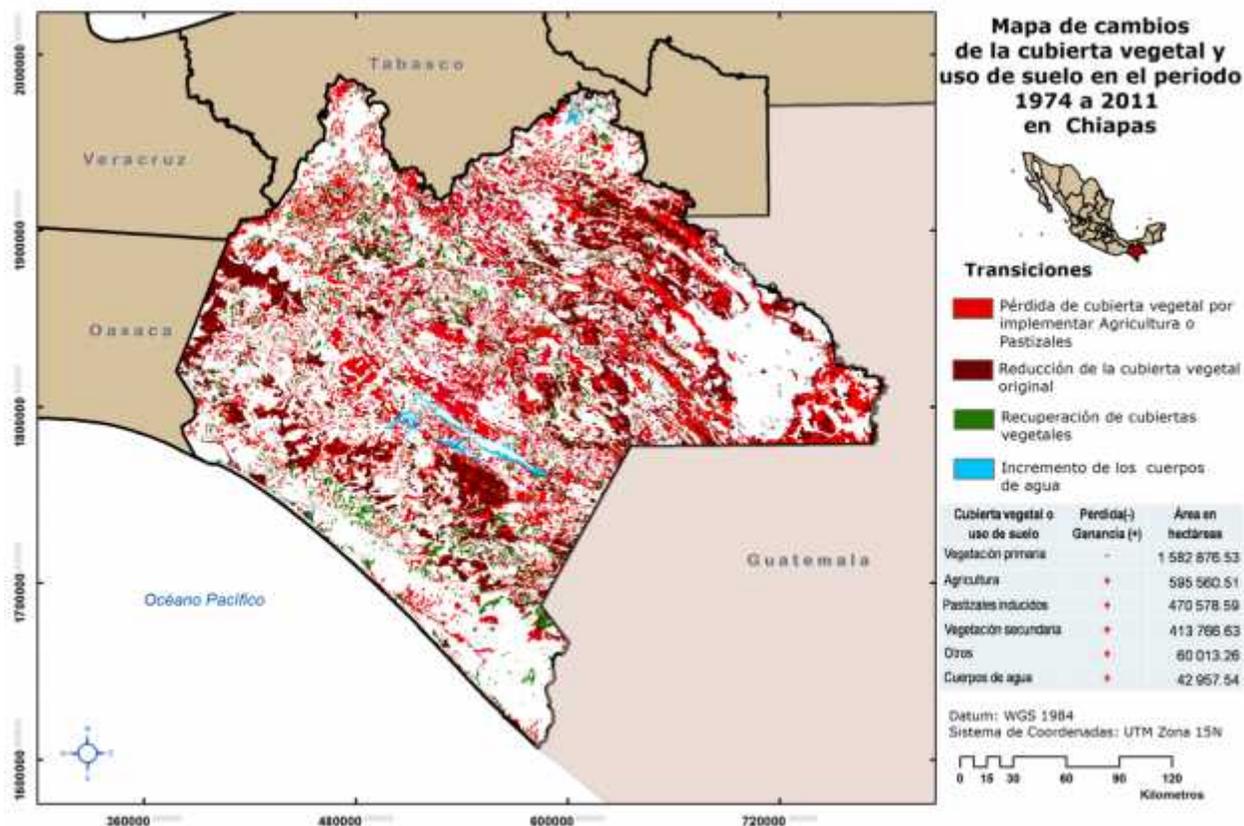


Figura 4.6 Mapa de cambios de la cubierta vegetal y uso de suelo en el estado de Chiapas durante el periodo de 1974 al 2011.

Realizar un análisis prospectivo resultaría útil para determinar qué zonas serán aptas en un futuro para el cultivo de café bajo sombra, de acuerdo con la cubierta forestal que aún persista. La realización de un modelo de este tipo en el LCM se basa en redes neuronales artificiales, así que se trata de una herramienta predictiva que tiene capacidad de aprendizaje, entrenamiento basado en iteraciones y selección de variables correlacionadas, mostrando una potente calibración automática.

El estudio de Pérez-Vega *et al.* (2011), identificó que la aproximación por redes neuronales parece ser más apropiada para producir mapas del cambio potencial a comparación de otros softwares como DINAMICA, aunque este último tiene mayor flexibilidad para predecir modelos en prospectiva de múltiples escenarios.

El LCM, también tiene una sección para la validación de variables explicativas a partir del coeficiente de correlación V de Cramer, que oscila entre el cero y el uno. Cuando el valor es alto, se interpreta con un buen potencial explicativo, aunque no garantiza un buen modelo por la complejidad de las relaciones, pero las variables son asociadas con la distribución de las categorías de cubiertas y uso de suelo. De modo que un V de Cramer bajo, es un indicador para descartar variables. Para facilitar la selección de variables, la prueba también genera un valor P , como indicador de la probabilidad de una variable. La variable no es rechazada cuando el valor de P es menor de 0.005 y de lo contrario la variable es rechazada, ya que indica que se está comportando igual que el azar. Se recomienda una V de Cramer igual o mayor a 0.15, para considerar una variable como útil y con valores de 0.4 o mayores debe considerarse como buena variable

explicativa (Eastman, 2012). La elección de las variables es esencial, ya que el éxito del modelo dependerá del potencial de las variables elegidas para explicar la ubicación de las cubiertas y usos en prospectiva.

Las variables que proponemos que pueden ser utilizadas para este tipo de modelos prospectivos de cubierta vegetal y uso de suelo, debido al coeficiente de correlación V de Cramer que obtuvimos para el cambio de cubiertas en todo el estado y de nuestro periodo de estudio son: pendiente (0.1886), crecimiento de la densidad de población (0.2046), distancia a vialidades (0.2079), distancia a localidades (0.2266) y elevación (0.2553), en todos los casos se obtuvo una $P < 0.005$.

Con estas variables en conjunto se pueden realizar submodelos de transiciones potenciales a partir de un PerceptronMulti-Layer (MLP). Cada submodelo contiene un conjunto de transiciones que se consideran semejantes, por ejemplo, se pueden agrupar las transiciones en dos submodelos denominados degradación y recuperación vegetal. El MLP es capaz de modelar relaciones complejas entre variables, sin embargo, no se conoce por el usuario exactamente cómo lo hace, debido a que define sus parámetros de manera automática y esto dificulta la integración de conocimiento experto (Pérez-Vega *et al.*, 2011). A partir de estos submodelos de transiciones potenciales se genera el modelo prospectivo de cambios de cubierta vegetal al año futuro que se indique.

Para este estudio se tenía planeado generar un mapa predictivo al año 2050 del cambio de cubierta vegetal y uso de suelo, con las variables y submodelos que anteriormente se mencionaron, sin embargo sólo se pudo generar el submodelo de recuperación vegetal con una tasa de precisión del 57%, mientras que para el submodelo de degradación, al parecer, hizo falta el hardware necesario para el procesamiento, debido a que aparecía un error que indicaba el requerimiento de un equipo de mayor capacidad, también se cree que pudo haber sido el software utilizado el que tenía fallas.

Podemos concluir de manera general para este apartado de cubierta y uso de suelo en Chiapas, que la reducción de vegetación estatal es crítica en el país y esto advierte que se está ocasionando una gran pérdida de diversidad florística que puede tener repercusiones en los servicios ambientales que brindan a diferentes escalas. En específico, el cultivo de café tradicional de la variedad arábica se beneficia de servicios ambientales que provee la diversidad florística y la estructura del bosque a nivel local, por su capacidad de retención de agua, regulación de temperatura y la sombra que brinda al cultivo. Estos servicios están siendo afectados principalmente por la disminución de la vegetación primaria que está cambiando de uso de suelo tras la extensión de la agricultura y pastizales inducidos. Mientras que la mayor extensión de cubierta vegetal conservada se ubica en la región de la Selva Lacandona.

4.2 Caracterización del cultivo de café en Chiapas

4.2.1 Descripción botánica del café

La planta del café viene de tierras africanas, posiblemente desde Etiopía hasta Uganda. Al llegar a Europa el café comenzó a expandirse con el colonialismo, cultivándose en las regiones ubicadas entre el trópico de Cáncer y el de Capricornio (Contreras y Hernández, 2008). Perteneció a la familia de las rubiáceas (Rubiaceae), que en su mayoría está compuesto por árboles y arbustos tropicales y engloba unos 500 géneros y más de 6.000 especies. El café pertenece al género *Coffea* del cual existen más de 100 especies todas leñosas. Las hojas del género *Coffea* son elípticas y puntiagudas las cuales se organizan por pares a lo largo de las ramas.

El fruto se desarrolla en el curso de los seis o siete meses siguientes a la aparición de la flor; cambia desde el verde claro al rojo y cuando está totalmente maduro y listo para la recolección, al carmesí. Al fruto maduro se le dice cereza, uva o capulín, suele encerrar dos semillas rodeadas de una pulpa dulce, recubiertas de una película o cascarilla muy delgada que se le llama pergamino. La semilla del café contiene una compleja mezcla de componentes químicos; algunos de ellos no se ven afectados por el tueste, pero otros, en particular aquellos de los que depende el aroma, son producto de la destrucción parcial del grano verde por la torrefacción. Los compuestos que extrae el agua se clasifican en componentes de sabor no volátiles y componentes de aroma volátiles. Uno de los no volátiles es la cafeína, entre los volátiles hay ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas, ésteres, aminas y unos compuestos de azufre llamados mercaptanos. Las plantas de café producen la primera cosecha de rendimiento pleno cuando tienen en torno a cinco años de edad. Posteriormente mantienen una producción constante durante quince a veinte años. Algunas plantas rinden entre 900 gramos y 1.3 kilogramos de semillas de valor comercial al año (Contreras y Hernández, 2008).

Las dos especies más importantes desde el punto de vista económico son *Coffea arabica* L. (café arábica) y *Coffea canephora* (café robusta). *C. arabica* supone más del 60% de la producción mundial, frente a *C. canephora* que abarca prácticamente el resto (Rojo, 2014).

Ya que el café es una planta tropical que generalmente se distribuye entre los 25° de latitud norte y los 25° de latitud sur. Es por ello que necesita unas condiciones ambientales un tanto específicas para poder ser considerado un café de calidad. La temperatura, precipitación, iluminación, pendiente así como la composición del suelo son importantes para su desarrollo, en cada una de sus fases fonológicas, ya que las necesidades del cultivo en cada fase son muy específicas. Las condiciones influyen directamente en la incidencia de enfermedades de cultivo van a ser muy importantes en la productividad del cultivo, en la incidencia de enfermedades así como la capacidad de la planta para resistir o tolerar el daño causado por ellas (Rojo, 2014).

4.2.2 Requerimientos agroecológicos para el cultivo de café

Los requerimientos climáticos y edáficos del cultivo dependen principalmente de la variedad de café que se cultive. En el siguiente apartado se describen los requerimientos agroecológicos de dos variedades: *Coffea arabica* L. (café arábica) y *Coffea canephora* (café robusta).

En cuanto a los datos climáticos y edáficos es difícil encontrar cifras comunes entre autores, es por ello que para este trabajo se tomó como referencias la base de dato Ecochrop de la FAO ya que fue elaborada a partir de varios datos publicados por diferentes autores logrando así el establecimiento de parámetros estándar.

4.2.2.1 *Coffea arabica* L. (café arábica)

Esta variedad crece mejor en climas subtropicales, libre de heladas y sin vientos fuertes; está muy bien adaptada a la altura por lo que generalmente se encuentra a altitudes que van desde los 1000 hasta 2400 msnm en los trópicos, aunque en altas latitudes se cultiva por debajo de los 600 m siempre y cuando haya una buena distribución estacional y períodos secos cortos; La calidad del café generalmente va ligada a la altitud donde se ha cultivado, las mejores calidades se ubican entre 900 y 1,200 m (Ruíz *et al.*, 2013)

En cuanto a las necesidades lumínicas ligadas a las distintas fases fotosintéticas, el café arábica necesita periodos menores a 12 horas de luz, de otra forma se inhibe la floración lo cual resulta en un decremento de la producción por inhibición del fruto (Benacchio, 1982).

La variedad *C. arabica* es mejor adaptado a la altura por lo que se puede localizar desde los 1000 msnm hasta los 2400, siempre y cuando haya una buena distribución estacional y períodos secos cortos (Ruíz *et al.*, 2013).

Requiere una precipitación uniformemente distribuida durante nueve meses, seguidos por tres meses secos, aproximadamente 25 a 50 mm de lluvia por mes, esto para inducir la floración del de la siguiente temporada de cultivo. Por lo que un desfase en la temporada de lluvias puede provocar la pérdida de la cosecha. La precipitación anual apta para esta variedad es de 720 a 4200 mm, con poca tolerancia a cantidades mayores de agua. Soportando una humedad relativa de media a alta de 70-85% (Ruiz *et al.*, 2013).

En cuanto a la temperatura las condiciones aptas para el crecimiento del cultivo van de los 13°C a los 30°C con temperaturas óptimas de 16-21°C. Benacchio (1982), menciona que una vez pasando los 27°C se comienzan a observar daños en la planta ya que la fotosíntesis neta comienza a declinar y se nulifica a los 34°C esto ocasiona que el número de botones florales tiendan a decrecer, cuando las plantaciones se sujetan a ambientes cálidos.

Este cultivo requiere sombra sólo en lugares donde las temperaturas son elevadas debido a los requerimientos de luz y temperatura. Sin embargo, puede ser cultivado sin sombra en ambientes donde la humedad relativa es elevada la mayor parte del año (Barandas, 1994).

Los suelos más aptos para el cultivo de esta variedad son los suelos franco y franco-arcillosos, aunque generalmente con que tenga un pH entre 4.5 y 7 y contenido alto de materia orgánica así como buena permeabilidad cumple con las condiciones necesarias para su siembra (Benacchio, 1982).

4.2.2.2 *Coffea canephora* (café robusta)

El café robusta generalmente se adapta mejor a altitudes más bajas que van de los 100 a los 900 msnm, además es más tolerante al calor y es posible encontrarlo a nivel del mar. Debido a que los ciclos vegetativos tanto en *C. Arabica* como en *C. Robusta* sólo varían por aproximadamente 10 días, las condiciones mencionadas de precipitación y luminosidad son casi las mismas. Para el caso del *C. robusta* las condiciones aptas de precipitación van de 900 a 4000 mm ya que se adapta mejor a precipitaciones intensas superiores a 2 000 mm. Según Morfín *et al.*, (2006) Arriba de 3 000 mm de precipitación la calidad del café se deteriora y pierde características de sabor.

Una diferencia notable de esta variedad con respecto al café arábica es la tolerancia al calor. A temperaturas más altas se favorece el crecimiento vegetativo. Así mismo el café robusta es mucho menos adaptable a temperaturas bajas que el café arábica ya que producen clorosis por la muerte de los cloroplastos, con lo que se detiene el crecimiento de la planta (Pérez y Geissert, 2006).

El rango de temperatura apto para el crecimiento de café robusta va de 12°C a 36°C, por lo que el decremento fotosintético comienza a partir de los 32°C, con lo que la maduración se detiene. En general el café robusta no es un cultivo de sombra debido a su resistencia al calor y a la altura y tamaño de sus hojas. Los suelos aptos para el café robusta son los mismos que para el arábica, con la diferencia de que el pH va de 4 a 8 (Ruiz *et al.*, 2013).

Estas características hacen del café robusta una variedad más resistente a las plagas, asimismo presenta una concentración mayor de cafeína y un mejor rendimiento por hectárea que el café arábica. Cabe mencionar que el sabor y la calidad no son las mismas.

4.2.3 Efectos de las variaciones climáticas en el cultivo de café

Existen diversas respuestas de las plantas a las variaciones climáticas, una de las más importantes que es considerada en los modelos de cambio climático y sus respectivos escenarios es el incremento de CO₂. Generalmente las plantas que se someten a ambientes enriquecidos de CO₂ muestran una respuesta positiva en cuanto a crecimiento, acumulación de materia seca y balance neto de asimilación de dióxido de carbono hasta un tiempo definido de exposición (Ruiz *et al.*, 1999). Un incremento de 300 ppm en el nivel de CO₂ muestra un incremento de la producción de biomasa para C. robusta, lo que significa un incremento fotosintético de 257% plántulas de C. arabusta incrementaron en promedio 175.5% su producción de biomasa (porcentaje de peso seco), producto de un incremento de 271% en la fotosíntesis (Nuñez *et al.*, citado por Ruiz *et al.*, 1999).

La precipitación también se ve significativamente alterada por las variaciones climáticas provocando lluvias atípicas escasas o en el caso extremo se alarga la temporada. Monroig (2001) menciona que, aunque el café muestra resistencia a la sequía, un periodo seco prolongado disminuye la cosecha del año siguiente y ocasiona deficiencias nutricionales por una menor difusión de elementos en el suelo. Si este coincide con el periodo de crecimiento acelerado del grano, puede aumentar el porcentaje de granos vanos y negros afectando el rendimiento y la calidad del café.

Otra variable importante en cuanto al crecimiento del café es la temperatura. Ruiz (1999) menciona que las temperaturas altas (por arriba de la temperatura umbral máxima del cafeto) aceleran la senescencia o pérdida de los frutos, disminuyen la fotosíntesis, reducen el crecimiento, la producción. Pueden causar anomalías en la floración y por consiguiente una producción baja del fruto. Además de la ocurrencia de enfermedades y plagas y afectaciones en la longevidad de la planta (Monroig, 2001). Temperaturas mayores a 30°C reducen la fotosíntesis y provocan aborto de flores.

4.3 Análisis cualitativo multicriterio para la delimitación de zonas de aptitud

Actualmente en México, como en otras partes del planeta, existe una crisis alimentaria, la cual se deriva de la aplicación de tecnologías inadecuadas y de la mala selección de sitios de cultivo. Esto provoca en una baja producción por lo que, es necesario el desarrollo e implementación de conocimientos para resolver estos problemas. Una forma de lograrlo es a través de la generación e instrumentación de metodologías para identificar las zonas con aptitud para el cultivo en este caso específico del Café en el estado de Chiapas. Estas metodologías deben considerar tanto los requerimientos del cultivo como las características particulares del entorno, para garantizar un uso adecuado del terreno, con alta producción y el menor impacto al ambiente (Ruiz, 1999).

Una herramienta importante para este tipo de estudios es el análisis multicriterio, el cual generalmente se define como: el conjunto de operaciones espaciales que sirven para lograr un objetivo teniendo en consideración simultáneamente la mayor parte de las variables, que intervienen en un fenómeno específico el cual se puede abordar tanto cuantitativa como cualitativamente (De Cos, 1996).

Dada la relevancia de la producción de Café en el desarrollo económico del estado de Chiapas, es necesario identificar las zonas con mejor aptitud de cultivo, lo que permitirá orientar las estrategias de desarrollo rural para garantizar una mayor producción, capitalización de los productores, un menor impacto al ambiente y una mejor capacidad de adaptación a la variación climática. En este sentido el objetivo de este trabajo fue generar y aplicar una metodología de análisis multicriterio elaborada de forma cualitativa como una alternativa para la zonificación y delimitación de las zonas con aptitud para dos variedades de café: *Coffea robusta* y *Coffea Arabica*.

4.3.1 Delimitación de zonas aptas para cultivo de café en Chiapas

Con el fin de identificar las zonas de aptitud para el cultivo de café se tomaron las siguientes variables; temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, porcentaje de pendiente, pH y Altitud; y se establecieron a partir la base de datos Ecocrop (FAO, 2000) los rangos de valores óptimos y aptos para cultivo de café en cada una de las variables como se muestra en la tabla 4.1.

Una vez delimitados los rangos de valores con los que se trabajó, se tomó como referencia la metodología propuesta por la FAO de Zonificación Agroecológica (ZAE). Donde cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de realizar recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos (FAO, 2000).

	<i>Coffea arabica</i>		<i>Coffea robusta</i>	
	Min	Max	Min	Max
Precipitación apta (mm)	750	4200	900	4000
Precipitación optima (mm)	1200	1800	1700	3000
Temperatura apta (°C)	13	30	12	36
Temperatura optima (°C)	16	21	20	30
pH del suelo apto	5	6	5	6.3
pH del suelo óptimo	4.5	7	4	8
Altitud apta (m.s.n.m)	1000	2400	100	700
Altitud óptima (m.s.n.m)	1200	1700	200	900
Pendiente Apta	0	60	0	60
Pendiente Optima	0	45	0	45

Tabla 4.1: Parámetros climáticos y edáficos para el cultivo de café

Se tomaron los valores aptos y óptimos para cada variedad tanto para *Coffea arabica* como par *Coffea robusta* el cultivo tomando en cuenta las necesidades de temperatura y precipitación dependiendo la fase fonológica en la que se encuentre el café en cada mes del año como se muestra en la tabla 2. A partir de datos en formato raster obtenidos del portal UNIATMOS de la Universidad Autónoma de México y la base de datos climáticos mundiales Worldclim, se extrajeron los valores aptos y óptimos de cada variable de la tabla 4.1 tomando en cuenta los límites de temperatura y precipitación por mes indicados en la tabla 4.2 Posteriormente con álgebra de mapas e intersecciones se obtuvieron las zonas óptimas y aptas de cultivo de café para el Estado de Chiapas.

Meses	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Ciclo Vegetativo	Crecimiento Vegetativo					Crecimiento Vegetativo						
	Crecimiento de hojas					Reposo Poda		Formación de yemas foliares				
Ciclo Reproductivo	Crecimiento de Organos Reproductivos					Crecimiento de Organos Reproductivos						
	Llenado del grano		Maduración del fruto			Inducción		Floración		Llenado de grano		
	Cosecha comercial											
Temperatura	En un rango óptimo de 18 a 22°C y apto de 14 a 30°C						No mayor a 30°C					
Precipitación												
Déficit hídrico	Sensible				Tolerante				Sensible			
	Uniformemente distribuida no mayor a 220mm mensuales				50 mm mensuales				Uniformemente distribuida no mayor a 220mm mensuales			

Tabla 4.2: Límites de temperatura y precipitación tomando como referencia las fases fenológicas del cultivo

En la figura 4.7 se muestran las diferencias en cuanto a la aptitud de las tierras para cultivo en diferentes zonas de Chiapas, esta información al ser meramente cualitativa será refinada para generar un modelo mejor a partir de mapas probabilísticos de distribución.

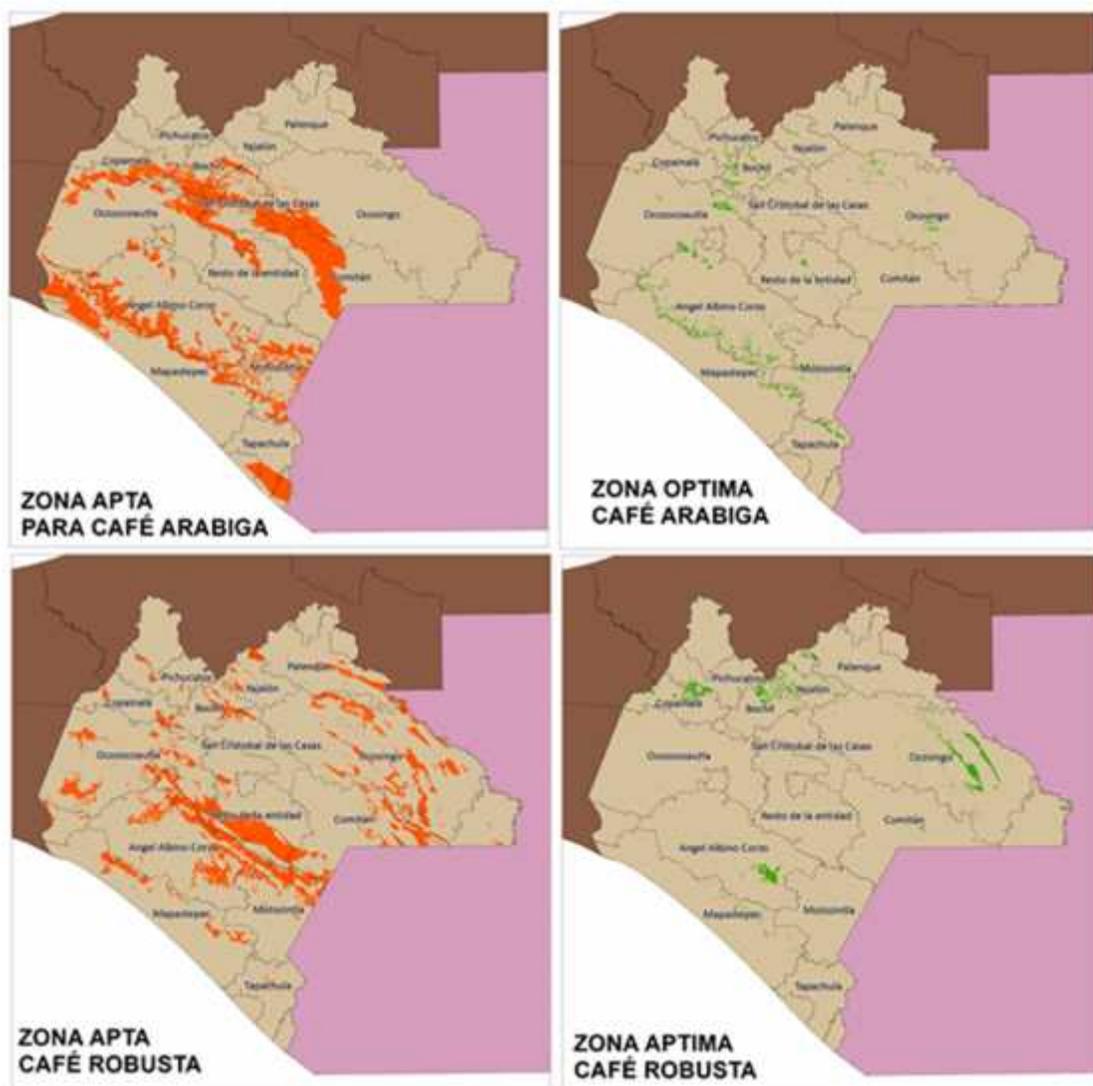


Figura 4.7 Mapas de zonas de aptitud para cultivo de café en Chiapas

4.4 Modelos de distribución de especies (MAXENT)

La base del análisis espacial de la distribución de especies son los datos de observación a partir de los cuales se realizará el modelo de distribución potencial (Scheldeman y Van Zonneveld, 2011).

El algoritmo MAXENT da como resultado una medida de similitud entre ambientes en cada pixel a los pixeles donde la especie ha sido observada, lo que puede considerarse como una aproximación a la distribución potencial. Para ello realiza una correlación logística que representa la probabilidad de distribución espacial de una especie con base en la correlación entre variables explicativas.

La regresión logística (RL) toma una variable que tenga un comportamiento binario, esto es que solo tenga dos formas de expresión, para el caso de la distribución espacial de especies la variable se describe como presencia o ausencia de la especie estudiada, en este caso el café en el estado de Chiapas. La RL describe el efecto que otras variables independientes tienen sobre ella dando como resultado para el caso del algoritmo MAXENT la probabilidad de que se presente o no la especie en un área determinada (García y García, 2016). Así mismo este algoritmo evalúa la influencia que tiene cada variable sobre la distribución espacial de la especie de la prueba Jackknife la cuál determina la contribución relativa de cada variable a los modelos generados. Los resultados son expresados con una medida conocida llamada “ganancia”, esta información es de suma importancia para observar los requerimientos ecológicos de cada especie en una escala de 0 a 1, esto permite evaluar qué variables resultan explicativas y cuales no y así poder refinar el modelo. Así mismo, el algoritmo estima la curva ROC/AUC la cual evalúa la habilidad predictiva de los modelos de distribución generados por medio de un gráfico, indicando el área bajo la curva (AUC), la cual representa la relación entre el porcentaje de presencia correctamente predicha (sensibilidad) y, uno menos el porcentaje de ausencias correctamente predichas (especificidad). El AUC mide la capacidad del modelo para clasificar correctamente a una especie como presente o ausente. Los valores de AUC pueden ser interpretados como la probabilidad de que, cuando se seleccione al azar un punto de presencia y uno de ausencia, el punto de presencia tendrá un valor mayor de idoneidad o probabilidad sobre el modelo (Palma y Delgadillo, 2014).

Para este estudio se utilizaron dos tipos de variables: las climáticas y las topográficas. Para el caso de las variables climáticas se utilizaron variables bioclimática descritas en la tabla 4.3, obtenidas de la base de datos climáticos Worldclim y para las topográficas se utilizaron datos de elevación y pendiente en porcentaje.

Clave	Descripción
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Intervalo promedio de temperatura diurna
Bio3	Isotermalidad
Bio4	Estacionalidad de la temperatura
Bio5	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Intervalo de temperatura anual
Bio8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo
Bio9	Temperatura promedio del trimestre más seco
Bio10	Temperatura promedio del trimestre más cálido
Bio11	Temperatura promedio del trimestre más frío
Bio12	Precipitación anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coef. De variación)
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio19	Precipitación del trimestre más frío

Tabla 4.3 Descripción de las variables bioclimáticas usadas en el modelo de distribución espacial del café en el estado de Chiapas

Para evaluar el aporte de cada variable el modelo de distribución espacial actual, se tomaron en cuenta la sensibilidad del modelo y la prueba jackknife para seleccionar las variables explicativas y evitar usar variables que correlacionen altamente entre sí, que puedan sesgar los datos. En la figura 2, se muestra la tabla de contribución de cada variable en porcentaje. Se observa que las variables bio2, bio6, bio7, bio10, bio13, bio15, bio16 y bio17 son las que contribuyen en mayor proporción al modelo, sin ser totalmente explicativas. La que mayor importancia tiene de manera aislada en el modelo es la variable bio10, lo cual se explica ya que como se observa en la tabla 2, los periodos de precipitación y calor van relacionados con el crecimiento vegetativo del café y posteriormente con la maduración del fruto.

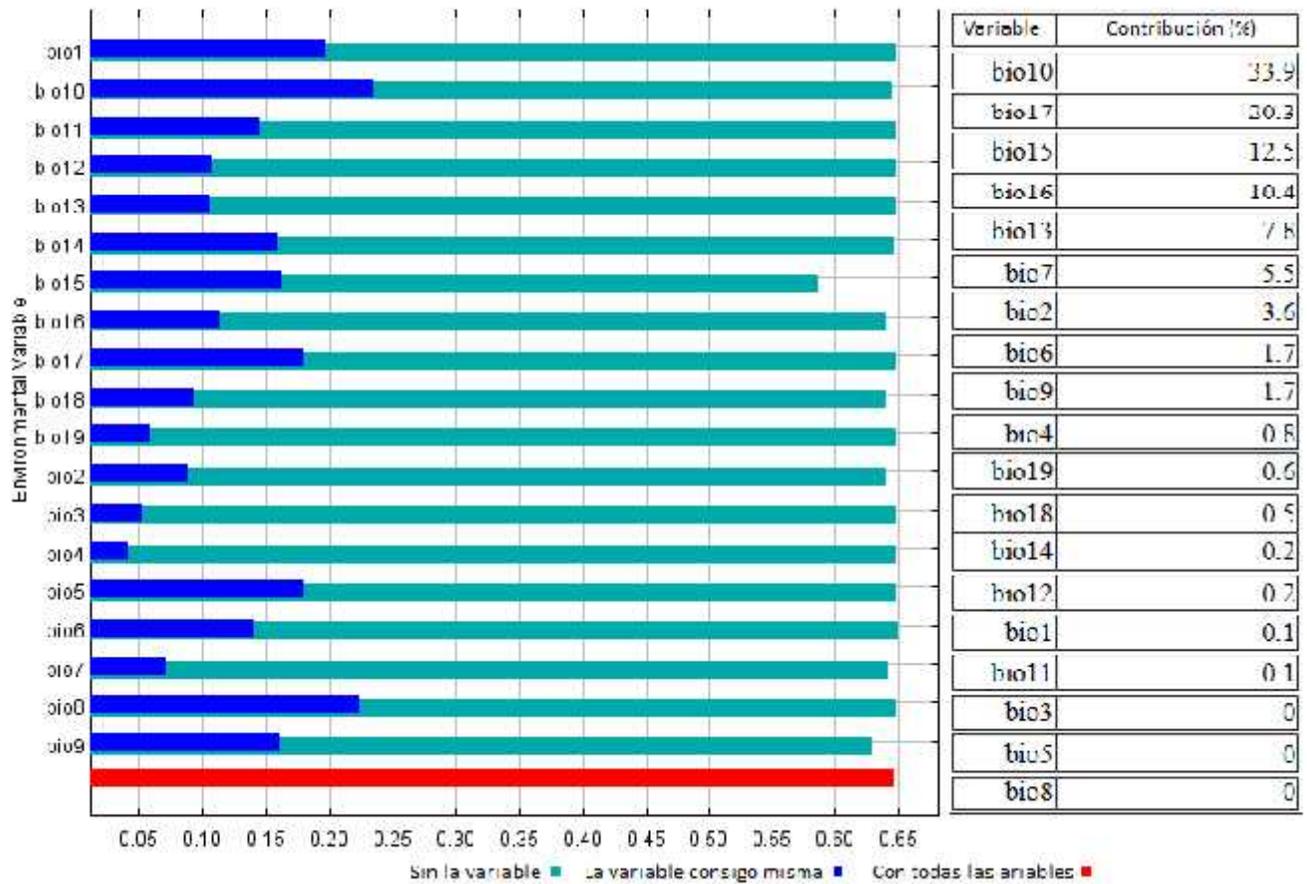


Figura 4.8 Resultados de la prueba Jackknife para evaluar la contribución de las variables en el modelo de distribución espacial del café.

Después de evaluar la contribución de las variables al modelo se volvió a correr sólo con las variables que se observaron como explicativas, las cuales están señaladas en la tabla 4.3. En el mapa de la figura 4.9 se observa como la probabilidad más alta de distribución espacial de café se sitúa en las regiones cafetaleras de Pichucalco, Yajalón, Bochil, Copainalá, Tapachula, Mapaztepec, Motozintla, Ángel Albino Corzo y Comitán. Lo cual significa que existe una mayor cantidad de variables que correlacionan y por lo tanto la presencia ahí del cultivo es altamente probable.

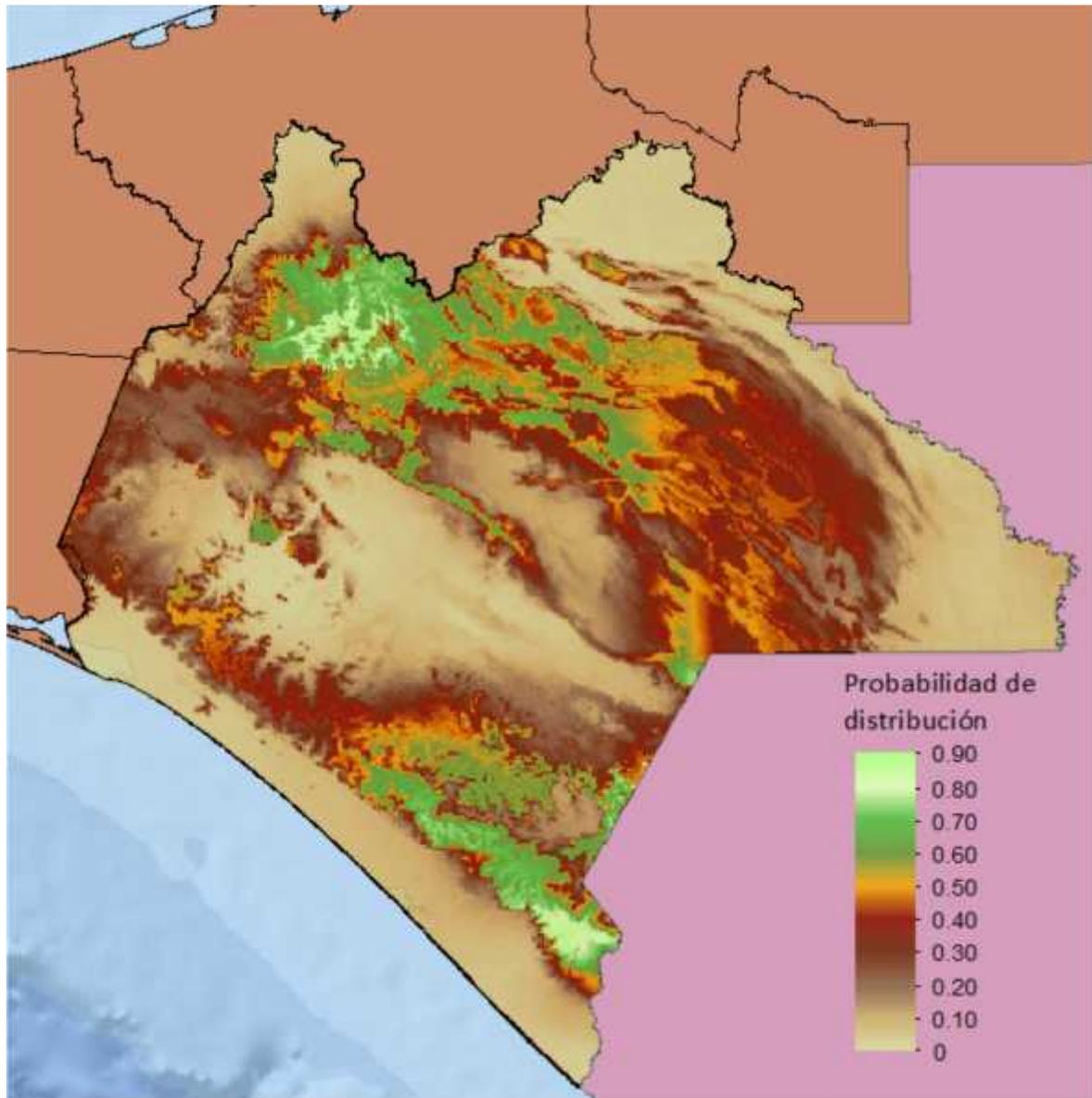


Figura 4.9 Mapa de distribución espacial actual del cultivo de café

4.4.1 Redistribución del cultivo de café con base en escenarios de cambio climático en Chiapas

Para el análisis del cambio de probabilidad de distribución espacial del cultivo se utilizaron dos modelos de circulación atmosférica y terrestre al año 2050: GDFL-M3 y HadGEM2-ES tanto para sensibilidad media (rcp 4.5) como alta (rcp 8.5), respectivamente. Estos escenarios fueron adaptados al relieve de la

República Mexicana en condiciones de doblamiento en las concentraciones atmosféricas de CO₂. Este estudio presenta un México muy afectado y vulnerable con incrementos en las temperaturas de entre 2 y 4°C, concretamente en el estado de Chiapas se da un incremento de temperatura de entre 3 y 4°C, con problemas crecientes de sequía y erosión y en el manejo de recursos hídricos (GAY et al., 2004).

El modelo HadGeM2-ES es un modelo de circulación terrestre por lo que considera la reducción de la cubierta vegetal, además considera un incremento logarítmico de la temperatura, un crecimiento poblacional, tecnológico e industrial constante. Los RCP (Representative Concentration Pathways) se refieren a la cantidad de gases de efecto invernadero que serán emitidas en el futuro, dependiendo de esta consideración será el tipo de escenario que se obtenga (GAY et al., 2004).

El modelo GDFL-M3 es un modelo de circulación atmosférica que considera mayormente el cambio de circulación atmosférica. Considera un incremento de temperatura, población e industria exponencial.

La razón de usar estos dos modelos es para poder tener un panorama general de las consecuencias de la variabilidad climática en escenarios extremos, donde se modifiquen de distintas maneras las condiciones a las que el cultivo está adaptado. Para ello se tomaron en cuenta 8 variables bioclimáticas (tabla 4.3), para este modelo no se tomó en cuenta la altitud debido a que tenía una correlación alta con la temperatura y la precipitación, lo que sesgaba el resultado.

La figura 4.10 muestra la distribución potencial del café y cada inciso representa un modelo climático con un escenario de sensibilidad media y uno de sensibilidad alta. Para el modelo de circulación general terrestre HadGem-ES2 se observa una tendencia del cultivo hacia zonas de mayor altitud, sin embargo, en el modelo RCP 8.5 además se observa un incremento en la probabilidad de distribución en zonas más altas a diferencia del modelo RCP 4.5 donde no se reduce tanto el áreas potenciales de distribución pero la probabilidad baja. De esto se concluye que el cultivo de café al año 2050 tendrá una reducción de las zonas agro-ecológicas aptas para cultivo, sin embargo, esto no representa una total desventaja, ya que al incrementarse el área de mayor probabilidad es posible que exista un mayor rendimiento por hectárea cultivada sobre todo en las regiones de Comitán, San Cristóbal de las Casas y Bochil. En la figura 3.b, la cual representa un escenario de alta sensibilidad es donde se observa más a detalle el fenómeno anterior, esto se debe a la que como menciona Ruíz et al (1999), generalmente las plantas que se someten a ambientes enriquecidos de CO₂ muestran una respuesta positiva en cuanto a crecimiento, acumulación de materia seca y balance neto de asimilación de dióxido de carbono hasta un tiempo definido de exposición.

Esto no sucede con el modelo GDFL-M3 ya que como se observa en la figura 3.B Y C, La probabilidad disminuye el área potencial de cultivo se reduce y por lo tanto para este escenario se observará un decremento de la productividad. Es debido a que este escenario considera un incremento de la temperatura exponencial por lo que el límite tolerable del café se sobrepasa y sólo en zonas muy altas es posible que sea cultivado. Además, considera una modificación en el periodo de lluvias a lo cual es muy susceptible el café. Las regiones cafetaleras más afectadas son: Ocosingo, Mapaztepec y Yajalón, de estas las dos primeras son las que actualmente tienen una alta producción de café. Una de las regiones más estable a nivel climático es Ocosingo ya que no se observa un cambio significativo en la probabilidad de distribución de dicha región.

En conclusión, la variabilidad climática puede afectar drásticamente la producción de café a un futuro cercano, aun en el escenario menos sensible esto representa una amenaza para los productores y

pobladores que dependen del cultivo. Aunado al cambio de cobertura vegetal y el decremento de calidad y cantidad de agua para consumo humano y agricultura, la situación se vuelve más difícil y genera un futuro desalentador para las próximas generaciones.

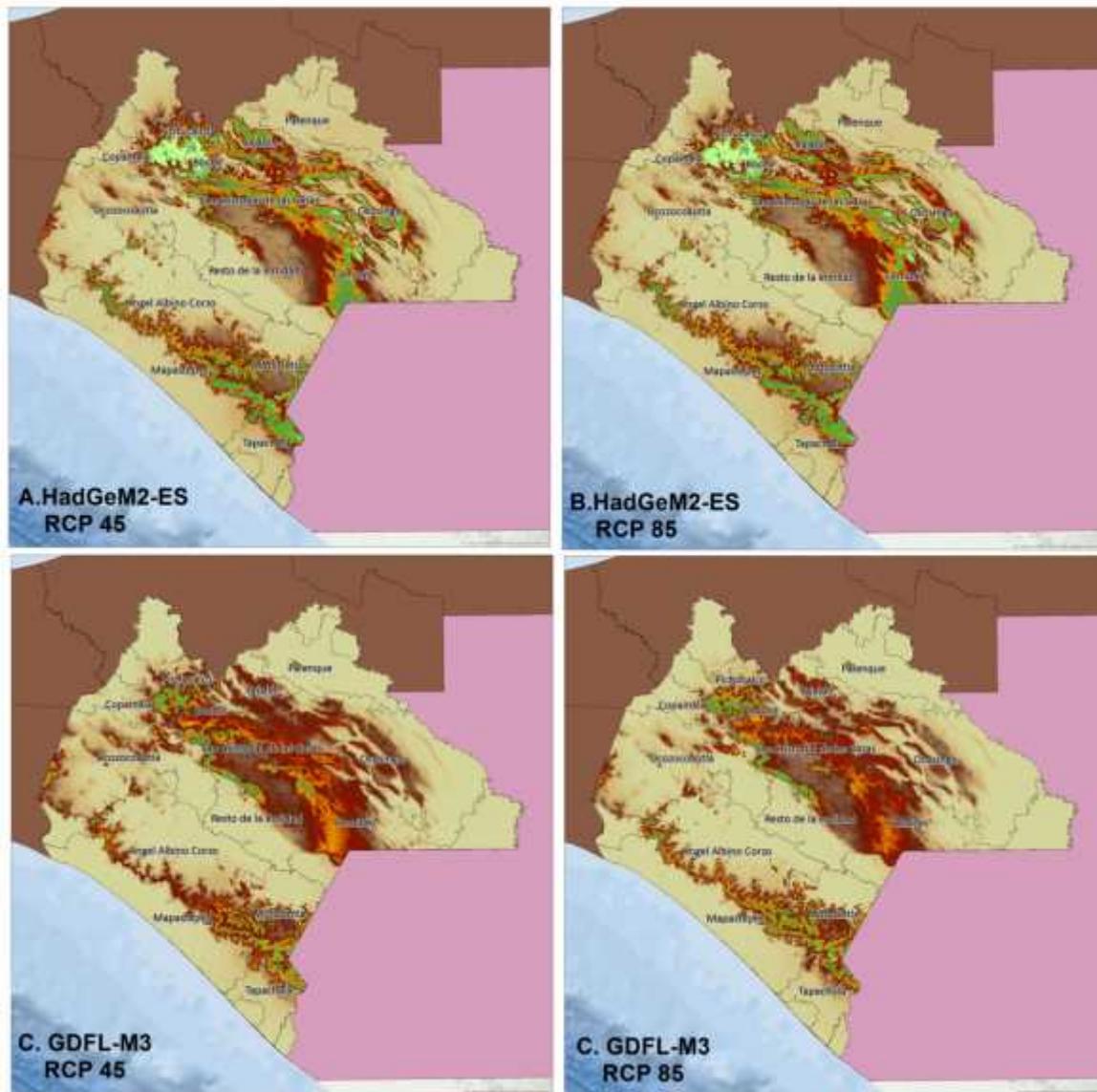


Figura 4.10 Mapa de distribución espacial prospectiva a 2050 de la distribución del café en Chiapas

5 Conclusiones

En las dos últimas décadas la producción de café en el estado de Chiapas se ha visto reducida de manera significativa. En 2007 el volumen cosechado de café fue 45% menor al observado en 1991. El sector cafetalero de la entidad se encuentra altamente atomizado, 61% de los sembradíos tienen superficies menores a una ha, 36% corresponden a predios entre 1 y 5 ha, y sólo 3% de las plantaciones tienen extensiones mayores a 5 ha. La escasez de recursos de los pequeños productores, aunada a la edad avanzada de los cultivos, la proliferación de plagas y enfermedades, el bajo nivel organizativo y la falta de

adopción de mejores prácticas agrícolas, representan las mayores dificultades que limitan el desarrollo productivo de las comunidades.

Otro factor importante es la reducción crítica de vegetación, esto advierte que se está ocasionando una gran pérdida de diversidad florística que puede tener afectaciones en los servicios ambientales que brindan a diferentes escalas. En específico, el cultivo de café tradicional de la variedad arábica se beneficia de servicios ambientales que provee la diversidad florística y la estructura del bosque a nivel local, por su capacidad de retención de agua, regulación de temperatura y la sombra que brinda al cultivo. Estos servicios están siendo afectados principalmente por la extensión del uso de suelo para agricultura y pastizales, al mismo tiempo que la vegetación primaria y secundaria ha sido disminuida. Esto afecta considerablemente la distribución del mismo.

Un problema importante a nivel ambiental, social y económico son las alteraciones en el ciclo del agua y la escasez de la misma. El estado de Chiapas se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Grijalva-Usumacinta, siendo el más largo de México. A partir del análisis de estrés hídrico se observó un porcentaje elevado de estrés en la zona alta de la cuenca del río Grijalva; si bien no se cuenta con datos suficientes para determinar las causas, este análisis sirve como punto de partida para ayudar a los tomadores de decisión e implementar políticas que ayuden a la regeneración del ciclo hidrológico y la identificación de zonas de amortiguamiento y programas de prevención. Asimismo, sirve para ubicar zonas de acopio del café cereza para para la producción de café pergamino.

Además, las variaciones climáticas que se han venido dando desde hace más de 40 años han mermado la producción de café. Al realizar la comparación entre el modelo de distribución actual y los elaborados a partir de los modelos climáticos HadGeM2-ES y GDFL CM3 se observa una tendencia del cultivo hacia zonas de mayor altitud, sin embargo, en el modelo RCP 8.5 además se observa un incremento en la probabilidad de distribución en zonas más altas a diferencia del modelo RCP 4.5 donde no se reduce tanto las áreas potenciales de distribución, pero la probabilidad baja. De esto se concluye que el cultivo de café al año 2050 tendrá una reducción de las zonas agro-ecológicas aptas para cultivo, sin embargo, esto no representa una total desventaja, ya que al incrementarse el área de mayor probabilidad es posible que exista un mejor rendimiento por hectárea cultivada.

Referencias

AgroDer. (2012). *Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. México, DF: WWF.

Ávila, L., & Ávila, A. (2015). Los agrocombustibles y el crecimiento verde en Chiapas, México. *Geonordeste*, 249-273.

Baradas, M. W. (1994) Crop requirements of tropical crops. In J.F. Griffiths (Editor), *Handbook of agricultural meteorology*. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202

Barrera, J., & Parra, M. (2004). *El café en Chiapas y la investigación en Ecosur*. El Colegio de la Frontera Sur.

Barril-Farell, C., Turpin Marion, S., & Suppen Reynaga, N. (2013). *Huella de Agua de uso público-urbano en México*. Ciudad de México: INEGI.

Batz, M., Albers, H., Ávalos- Sartorio, B., & Blackman, A. (2016). "Costos de mantenimiento, incertidumbre de precios, y el abandono en la producción de café de sombra: Costa de Oaxaca", México. *Gaceta de Economía*, 151-182.

Benacchio, S.S (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.

Céspedes- Flores, S., & Moreno- Sánchez, E. (2010). "Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México". *Investigación ambiental*, 5-13.

CONAGUA. (2015). *Estadísticas del Agua en México*. México, D.F.: CONAGUA.

Contreras, A. y Hernández, G. (2008). ¡Qué bien huele, mejor sabrá! La organización de productores del proyecto Biocafé. Instituto de Ecología A. C., México versión en línea <http://www3.incol.edu.mx/biocalfe/ARCHIVOS/libros/qbh/>

Eastman, R. (2012). *IDRISI Selva Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. Córdoba, Argentina: Clark Labs.

FIRA. (2016). Red de valor: Palma de aceite en Chiapas. Recuperado el 2016 de noviembre de 04, de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA): <https://www.fira.gob.mx/OportunidadNeg/DetalleOportunida.jsp?Detalle=46>

FAO. 2000. *ECOCROP*. Version en linea www.ecocrop.fao.org. FAO. Roma, Italia.

FAO. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Roma, Italia: FAO.

García García, J.A. and García, J.A.G. (2014). Metodología de la investigación bioestadística y bioinformática en ciencias médicas y de la salud. McGraw Hill.

González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., & Ruiz-Montoya, L. (. (2005). *Diversidad biológica en Chiapas*. D. F., México.

Herman, R., Barry, D., Kandel, S., & Dimas, L. (2004). *Compensation for environmental services and rural communities: Lessons from the Americas*. Fundación PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación Sobre desarrollo y Medio Ambiente).

IDEAM. (2004). Oferta hídrica superficial total. En H. Gonzalo Rivera, & E. Domínguez Calles, Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial (pág. 30). Bogotá, D.C.: IDEAM.

Monroig, M.F (2001). *El café y el cambio climático*. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas. Servicio de Extensión Agrícola. Mayagüez, Puerto Rico

Nuñez, M.A., J.F. Bierhuizen and C. Ploegman (1968). Studies on the productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Bot. Neerl.*, 17:93-102.

Palma-Ordaz, S. and Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México, *Botanical Sciences*, 92(4), p. 587. doi: 10.17129/botsci.135

Pérez, I., Carranza, G., Nava, Y., & Larqué, A. (2006). “La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal”. En J. Urbina, & J. (. Martínez, *Más allá del cambio climático. Las condiciones psicosociales del cambio ambiental global* (págs. 123-140). México: Semarnat-INE.

Pérez-Vega, A., Mas, J.-F., & Ligmann-Zielinska, A. (2011). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Elsevier*, 11-23.

Perfecto I, Vandermeer J. (2014). *Coffee Agroecology: A New Approach to Understanding Agricultural Biodiversity, Ecosystem Services and Sustainable Development*. London: Earthscan. 352 pp.

Rocha–Loredo, A., Ramírez–Marcial, N., & González–Espinosa, M. (2010). “Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la depresión central de Chiapas”. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*.

Ruíz Corral, J.A. (2013). *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. Versión en línea: http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Requerimientos%20Agroec%20de%20Cultivos%202da%20Edici%F3n.pdf

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). Carpeta de Difusión. *Convención Internacional del Café*. México.

Sánchez-Sáenz, C., Menezes de Souza, Z., Eiji Matsura, E., & Salomao de Freitas, N. (2010). “Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado”. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 41-50.

SFA. Subsecretaría de fomento a los agronegocios. (2011). *Indicadores Estatales Agroeconómicos*. SAGARPA.

The Climate Institute. (2016). *A Brewing Storm: The climate change risks to coffee*. Australia & Nueva Zelanda.

UNIATMOS (2016) versión en línea uniatmos.atmosfera.unam.mx

UTEP. Unidad Técnica Especializada Pecuaria Chiapas. (2010). *Informe Final*. INIFAP-SAGARPA.

Waller, J. M.; Bigger, M. y Hillocks, R. J (2007). *Coffee Pests, Diseases and Their Management*. CABE. 437 pp.

Worldclim (2016) Versión Online worldclim.org