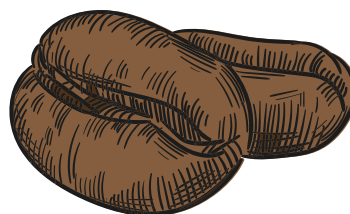


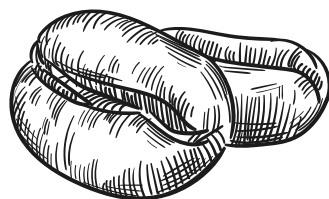
ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DEL PAISAJE CAFETALERO EN PUEBLA

UN ENFOQUE SOCIOECOSISTÉMICO



ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DEL PAISAJE CAFETALERO EN PUEBLA

UN ENFOQUE SOCIOECOSISTÉMICO



Miguel Barbosa Huerta
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE PUEBLA

María Del Rosario Orozco Caballero
PRESIDENTA DEL SISTEMA ESTATAL PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE LA FAMILIA

Ana Lucía Hill Mayoral
SECRETARIA DE GOBERNACIÓN DEL ESTADO DE PUEBLA

Melitón Lozano Pérez
SECRETARIO DE EDUCACIÓN DEL ESTADO DE PUEBLA

Sergio Salomón Céspedes Peregrina
**PRESIDENTE DE LA JUNTA DE GOBIERNO Y COORDINACIÓN POLÍTICA
DEL H. CONGRESO DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE PUEBLA**

Héctor Sánchez Sánchez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL SUPERIOR DE JUSTICIA DEL ESTADO DE PUEBLA

Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori
DIRECTOR GENERAL DEL CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE PUEBLA

Jesús Hernández Castán
AUTOR

Eduardo Cuesta Mejía
COLABORADOR-ILUSTRADOR

Idalia Eugenia Molina Cataneyra
DISEÑADORA EDITORIAL

Eduardo Jáuregui Sainz de Rozas
EDITOR DE ESTILO

FINANCIADO POR

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Oficinas registradas: Bonn y Eschborn Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40 53113 Bonn, Alemania Dag-
Hammaskjöld-Weg 1-5 65760 Eschborn, Alemania T +49 228 4460-0 C info@giz.de/www.giz.de

Proyecto "Manejo Integrado del Paisaje" (MIP)
Implementado por GIZ por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y
Desarrollo (BMZ)

2022, edición en español:
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP) B Poniente de la 16 de Sept. 4511,
Col. Huexotitla, 72534. Puebla, Pue.

ISBN: 978-607-8839-16-2

El presente material fue revisado técnicamente por el Mtro. en ciencias Gerardo Tapia Herbert Calderon.

La información contenida en este documento puede ser reproducida total o parcialmente por cualquier
medio, indicando los créditos y las fuentes de origen respectivas.

CONTENIDO

Contenido	2
Presentación.....	5
Introducción	7
El cafetal como socio-ecosistema productivo	9
La importancia del enfoque de paisaje en la producción de Café.....	11
Análisis cartográfico del paisaje cafetalero en Puebla	12
Análisis integrado de los referentes productivos.....	12
Conjunto Valle de Serdán.....	14
Conjunto Sierra Negra	34
Conjunto Sierra Nororiental	54
Conjunto Sierra Norte	74
Escenario estratégico para la toma de decisiones.....	94
Conjunto Valle de Serdán.....	95
Conjunto Sierra Negra	97
Conjunto Sierra Nororiental	99
Conjunto Sierra Norte	101
Reflexiones finales	103
Bibliografía	105



PRESENTACIÓN

El paisaje Cafetalero, entendido como un sistema donde interactúan el componente social (medio de vida campesino), el económico productivo (proceso de cultivo y su relación con el mercado) y el componente natural (condición general del ecosistema y diversidad biológica asociada), es un espacio dinámico que requiere de un análisis multidimensional para favorecer su territorialidad de manera efectiva, y en el cual fundamentar una toma de decisiones que conduzca hacia la reducción de la vulnerabilidad social y ecológica.

Dado que el Proyecto Manejo Integrado del Paisaje para la Conservación de la Biodiversidad en la Sierra Madre Oriental, desarrollado conjuntamente entre la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) por encargo del Ministerio Federal de Cooperación al Desarrollo (BMZ), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y diversos actores relevantes, busca que se logren modificaciones paulatinas en el modelo de desarrollo de unidades de paisaje específicas, tornándose hacia uno que armonice las dimensiones social, ambiental y económica; y ya que el proyecto presta asesoría técnica a representantes de instituciones sectoriales como la Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Puebla, se ha

conducido un primer estudio cartográfico referencial con perspectiva socioecosistémica en las regiones cafetaleras de la entidad.

El trabajo comprende desde la reinterpretación de los predios productivos de café como sistemas socioambientales, hasta el análisis de posibles escenarios de cambio climático en las zonas bajo estudio.

Se brinda una nutrida serie de mapas que permiten visualizar el estado actual de los principales elementos implicados en el funcionamiento del socioecosistema, tales como el tipo de suelo, la transformación de la cobertura vegetal, la pendiente y elevación, los instrumentos de gestión de recursos naturales presentes en el territorio, entre muchos otros. Cada mapa se acompaña de una interpretación fundamentada en referentes bibliográficos.

Se espera que los resultados aquí presentados aporten insumos para el diseño de acciones concretas en torno a la mejoría de la caficultura y el fomento de la resiliencia ante el cambio climático de dicha actividad, ya sea que éstas se adopten a nivel gubernamental, de las asociaciones de productores y/o de forma individual.



INTRODUCCIÓN

La caficultura en México tiene una historia de más de 200 años (Figueroa-Hernández *et al*, 2015). Hoy día son quince los principales estados del país donde se produce café (Cámara de Diputados, 2019), ascendiendo a más de 800 millones de toneladas que devienen de una superficie sembrada superior a las 700 000 hectáreas (Secretaría de Desarrollo Rural, 2020).

La producción de café en México se distribuye en cuatro grandes regiones, a saber (Flores, 2014):

La vertiente del Golfo, que engloba a los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, México y Veracruz.

La vertiente del océano Pacífico, comprendida por Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca.

La región del Soconusco, formada por una gran sección del estado de Chiapas.

La región centro norte de Chiapas.

Esta actividad brinda empleo a cerca de 540 000 productores (Secretaría de Desarrollo Rural, 2020), y representa el 1.3% de la producción de bienes agroindustriales del país (Cámara de Diputados, 2019).

Lo anterior permite la integración de cadenas productivas anexas, siendo cerca de tres millones de mexicanos los que dependen del café en algún grado (Figueroa-Hernández *et al*, 2015). Entre éstos destacan principalmente pequeños productores, ya que el 90% de las fincas en el país son el medio de vida y subsistencia de cafeticultores que posee menos de cinco hectáreas (Cámara de Diputados, 2019), muchos de los cuales, además, pertenecen a alguno de los 30 grupos indígenas vinculados a esta actividad productiva (Cámara de Diputados, 2018).

La caficultura también presenta una profunda relevancia ecológica, pues provee importantes

servicios ambientales como la conservación de la biodiversidad local, el mantenimiento de la cobertura vegetal y preservación de especies nativas, elementos que se asocian a plantíos bajo sombra diversificada (Rojas, 2012), lo que representa hasta el 90% de la superficie cultivada de México (Cámara de Diputados, 2018). Particularmente, este tipo de producción genera también beneficios asociados con la reducción de la erosión del suelo (Flores, 2014), además, en paisajes dominados por cafetales se han encontrado efectos significativos entre el uso de la tierra y la diversidad de abejas (Mérida, 2010), que en sí mismas mantienen diversas e importantes funciones ecológicas como la polinización, lo que se constituye en otros servicios ecosistémicos de elevada transcendencia.

Si bien los rangos de crecimiento de cafetales cambian según la variedad, en general estos van desde los 300 hasta los casi 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), abarcando además una gran diversidad de climas y suelos; la altura más propicia para la producción se sitúa entre los 600 y los 1200 msnm, lo que coincide con la zona de transición entre la región neártica y el neotrópico (ZTNN) (Flores, 2014), misma que presenta una importancia estratégica (nacional y global) para la conservación del capital natural y el valor de los servicios ecosistémicos (Miguez-Gutiérrez *et al*, 2013).

En la ZTNN convergen uno de los 35 hotspot globales de biodiversidad, “Sierra Madre del Sur-Eje Neovolcánico” con una de las cinco áreas silvestres de alta biodiversidad global (IUNC, 2013), generándose una riqueza excepcional de flora y fauna, que se asocia a una gran variedad de ambientes y condiciones ecológicas con diferentes orígenes espaciales y temporales (CONABIO 2008).

Además, esta región es una fuente global de endemismos (Suarez-Mota *et al*, 2014) y una gran fuente de patrimonio biocultural históricamente

manejado por comunidades indígenas. Como ejemplo, se ubican allí más de 3.6 millones de hectáreas relacionadas con 7 de 218 áreas globales de aves endémicas (Bird International, 2013), y uno de los ocho centros globales donde se han originado los principales cultivos alimentarios del mundo (Corinto, 2014).

Así, en muchos de los estados productores de café coexisten una marcada riqueza biológica con singularidades taxonómicas, y una actividad productiva estratégica (Cámara de Diputados, 2019) que se da en un 40% en áreas de selva alta y mediana, 23% en bosques, un 21% en selva seca y un 15% en ecosistemas críticos como el bosque mesófilo de montaña (Figuerola-Hernández *et al*, 2015).

Puebla se encuentra justo al centro de la ZTNN. Es la tercera entidad productora de Café a nivel nacional, además, es una de las pocas que produce bajo modalidades orgánicas y agroecológicas. Posee a su vez nueve regiones productoras, mismas que son (Secretaría de Desarrollo Rural, 2020):

- Xicotepec
- Huauchinango
- Zacatlán
- Huehuetla
- Zacapoaxtla
- Teziutlán
- Chignahuapan
- Quimixtlán
- Sierra Negra



Es precisamente en estas zonas que, en coordinación con la Secretaría de Desarrollo Rural y el proyecto de Manejo Integrado del Paisaje de la GIZ, se ha generado el presente estudio cartográfico referencial del paisaje cafetalero.

Se espera que el mismo sirva como medio para facilitar la toma de decisiones y fundamentar acciones conducentes a la mejora de la actividad, al mismo tiempo que propicie la conservación de los recursos naturales de la región.

EL CAFETAL COMO SOCIO-ECOSISTEMA PRODUCTIVO

La necesidad de encontrar soluciones a problemas complejos relacionados con la sostenibilidad ha generado ámbitos de colaboración entre actores sociales, influyendo particularmente en las relaciones ciencia-sociedad y ciencia-política (Horcea-Milcu, 2020).

La concepción de procesos aislados y relaciones lineales causa-efecto resulta insuficiente para el entendimiento de las dinámicas englobadas en la relación sociedad-naturaleza, misma que supone una dependencia de la primera hacia la segunda al intervenir en esta como medio de subsistencia, fungiendo al mismo tiempo como agente de cambio sujeto a las propias condiciones generadas. Lo anterior, conlleva a la necesidad de entender la sostenibilidad ambiental a través del enfoque socioecosistémico (Franco, 2012).

Los orígenes de esta forma de abordaje se orientan a la comprensión de situaciones de cambio e incertidumbre, pero han evolucionado hasta facilitar el diseño e implementación de intervenciones que fomentan la sustentabilidad (Horcea-Milcu, 2020).

El abordaje de los socio-ecosistemas, en otras palabras, de ámbito social y ecológico integrado, posibilita la identificación de propiedades particulares (emergentes) de autoorganización en los sistemas estudiados (Franco, 2012), así como de estadios de transición o estables en la evolución de los mismos. (Fischer *et al*, 2020).

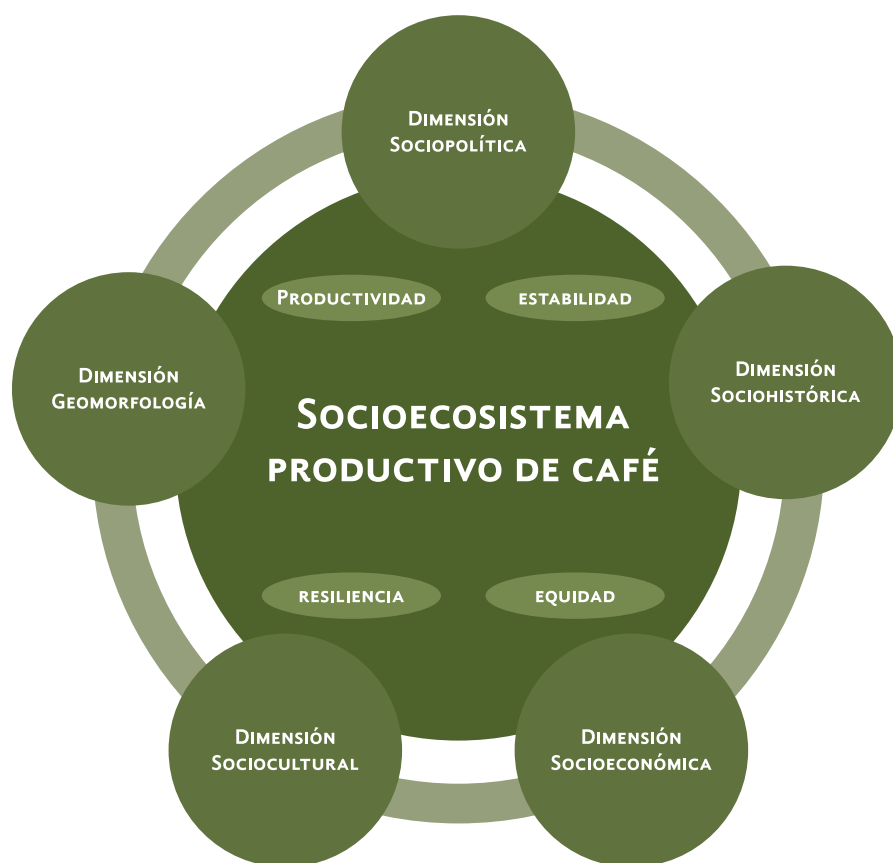
De esta forma, es posible entender e incidir de mejor manera en la relación sociedad-naturaleza, generando

cambios que resulten en modificaciones de las variables estructurantes de los socio-ecosistemas en cuestión (Franco, 2012).

Ya que la caficultura en México está predominantemente asociada a policultivos arbolados (Hernández-Martínez, 2018), las dos principales especies producidas en el país son el Arábica (*Coffea arabica*) y el Robusta (*Coffea canephora*) con el 97% y 3% de la superficie nacional, respectivamente (Cámara de Diputados, 2019), y dado que los espacios modificados en algún grado por el ser humano para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola (Agroecosistemas) (Cruz, S. y G. Torres, 2016) son actualmente considerados bajo el enfoque de socioecosistemas (Caro-caro y Torres-Mora, 2015), los cultivos de café en el país se pueden considerar claros ejemplos de sistemas socioecológicos.

En ese contexto, son al menos cuatro las propiedades clave que permiten caracterizar la sustentabilidad en un socioecosistema productivo de café, a saber: productividad, estabilidad (Capacidad de mantenerse en el tiempo), resiliencia (Capacidad de recuperar condiciones base) y equidad (Distribución equitativa de beneficios y riesgos) (Rendon y Monroy, 2017).

A su vez, estas propiedades se fundamentan en cinco dimensiones que interactúan a nivel territorial para configurarlas. Las mismas son: la dimensión geo-morfológica/ecosistémica, la dimensión sociohistórica, la dimensión socio política, la dimensión sociocultural y la dimensión socioeconómica, ver figura 1 (Rincón, 2018).



Fuente: Elaboración propia

Cada una de estas dimensiones cuenta con variables descriptivas propias. Así la dimensión sociopolítica puede ser abordada, por ejemplo, desde el entendimiento de las estrategias institucionales y la capacidad de relación entre actores; la geomorfológica mediante el estudio del relieve, clima, suelo, biodiversidad, hidrología, entre otras; la sociohistórica a través de los asentamientos, los patrones de transformación, etc.; la socioeconómica desde la propiedad de la tierra, la organización productiva; y la sociocultural mediante el análisis de

los grupos étnicos, la representaciones o creencias (Rincón, 2018).

De esta manera, es evidente que el enfoque socioecosistémico aplicado a los cafetales permite captar una mayor cantidad de elementos a ser analizados a fin de generar acciones transformadoras en la búsqueda de la sustentabilidad, lo que sin duda repercutirá en una mejor toma de decisiones por parte de los propios productores como por parte de los agentes gestores del territorio.



LA IMPORTANCIA DEL ENFOQUE DE PAISAJE EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Como se ha mencionado, una gran parte de la producción de café en el país se da bajo sistemas tradicionales o de sombra. Sin embargo, en años recientes México ha empezado a experimentar modificaciones a este patrón de producción.

En ese contexto, extensiones de monocultivos con aplicación de fertilizantes químicos, aunado a condiciones climáticas extremas, originaron la proliferación de roya hace algunos años, principalmente en plantíos de *Coffea arabica* (Huerta & Holguín, 2016).

Dicha situación indujo la introducción de plantas resistentes a la plaga, lo que generó tasas variables de recuperación de la producción. no obstante, las causas subyacentes del deterioro ambiental que influyeron en la proliferación de la enfermedad han quedado desatendidas. Para superar ello, es necesario reconocer que el contexto que influencia el crecimiento de los cafetales es el resultado de la expresión de las condiciones biofísicas del planeta en determinadas regiones, generándose así la diversidad de paisajes a los que el ser humano se adapta y transforma (Xotlanihua, 2021), muchas veces a través de la producción.

Un paisaje es entonces un sistema socioecológico consistente en ecosistemas naturales y/o modificados por el ser humano que está influenciado por diversas actividades económicas, culturales, patrones ecológicos e históricos, así como procesos políticos y de gobernanza. En un paisaje pueden existir varios tipos de uso de suelo, siendo gestionados por actores con objetivos muchas veces diversos, e incluso contrarios (Denier *et al*, 2017).

Es por lo anterior que algunos objetos de gestión pueden tornarse de mayor influencia en el paisaje.

Los cafetales son un elemento integral de los paisajes en Latinoamérica, lo que implica su influencia en aspectos socioambientales concretos (IICA, 2016).

Un paisaje cafetero se puede definir como aquel territorio o región donde se produce y cultiva café dentro de una intrincada relación social, cultural y ambiental (Rojas, 2012). Así, resulta en una manifestación de la relación sociedad-naturaleza que permite entender el orden interno en la que ésta se fundamenta (Xotlanihua, 2021).

El enfoque de paisaje posibilita el abordaje, desde una mirada amplia, del conjunto de factores en los que es posible fundamentar la cooperación entre múltiples actores, y de igual manera, permite orientar acciones coordinadas para enfrentar los retos del desarrollo sostenible (Denier *et al*, 2017).

Las diferentes prácticas dan lugar a huellas muchas veces permanentes en el paisaje (Zuluaga, 2014), lo que permite su categorización en por lo menos tres grandes grupos: paisajes naturales, paisajes domesticados y paisajes fabricados. Cada uno de éstos con mayor intensidad de uso energético y antropización que el anterior (Montero 2014).

Conocer cómo se modifica el uso del suelo, la cobertura del mismo y otros elementos de naturaleza espacial en los paisajes cafetaleros, permite a los actores locales y agentes gestores tomar decisiones en torno a la forma en que se emplea la tierra, la modificación de acciones, la adopción de medidas para reducir la vulnerabilidad, entre otros, lo que a su vez puede traducirse en condiciones económicas, políticas, sociales, ambientales e institucionales concretas (Guhl, 2004).

ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DEL PAISAJE CAFETALERO EN PUEBLA

Todo paisaje posee una composición y estructura de los elementos que contiene, lo que se conoce como patrón, así como una función que influencia y es influenciada por el mismo (Armenteras y Vargas, 2016).

Sobre ello inciden fuerzas de cambio o drivers del paisaje que resultan de la combinación de factores humanos y no humanos, mismas que responden al conjunto de contextos sociopolíticos, socioambientales y socioculturales (Montero, 2014).

Los usuarios del territorio, muchas veces como transformadores del paisaje, se enfrentan así a cambios en éste y deben tomar decisiones relativas al manejo de la tierra y sus recursos (McConnell, William, 2001).

Ya que las fuerzas o drivers de cambio a nivel de paisaje son múltiples, su abordaje debe ser multiescalar y multiespacial (Montero, 2014), siendo comúnmente un importante paso, la generación de descripciones del territorio a nivel cartográfico mediante sistemas de información geográfica (Guhl, 2004).

Para la cartografía de los paisajes son muchos los enfoques y métodos propuestos, pero en general éstos están orientados a la delimitación y clasificación mediante factores tales como la geología, clima, relieve, suelos, agua, vegetación, fauna, entre otros. Así una serie de mapas temáticos debe representar características fundamentales de los complejos paisajísticos (Salinas *et al*, 2019).

La cartografía de los paisajes es fundamental para la toma de decisiones orientadas a la planificación y ordenamiento del territorio, sobre todo si se toma en consideración la necesidad de incidir en las problemáticas ambientales y del desarrollo (Salinas *et al*, 2019).

Es por lo anterior que en el presente trabajo se realizó, a nivel cartográfico, un análisis integrado de los referentes productivos y demás elementos que bajo lo anteriormente comentado, inciden en el paisaje cafetalero del estado de Puebla.

Para ello, y bajo la orientación de los referentes bibliográficos hasta ahora comentados, se recopiló información disponible en plataformas oficiales a nivel país, así como en fuentes académicas que permitiesen establecer un análisis cartográfico referencial de cuatro regiones cafetaleras productoras en Puebla.

La información recopilada fue procesada mediante paquetería SIG empleando particularmente el programa ARCGIS-PRO para el corte y focalización de datos en las regiones de interés, generándose, a partir de procesamientos espaciales, una serie de productos de información (mapas) y tablas de cálculos en base a los metadatos disponibles.

Con estos insumos se realizó un análisis de aptitud mediante ponderación multicriterio (análisis multivariado); y se construyeron escenarios estratégicos para facilitar la toma de decisiones a futuro.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos.

ANÁLISIS INTEGRADO DE LOS REFERENTES PRODUCTIVOS

El análisis se presenta agrupando las diversas regiones cafetaleras del estado de Puebla en 4 grandes conjuntos definidos por su ubicación geográfica en la entidad. Estos son: Conjunto Valle de Serdán, que comprende sólo a la región cafetalera de Quimixtlán; el conjunto Sierra negra, que incluye la región cafetalera del

mismo nombre; el conjunto Sierra Nororiental, en este se encuentran las regiones cafetaleras de Xicotepec, Huauchinango, Zacatlán y Chignahuapan; y por último, el conjunto Sierra Norte donde están ubicadas las regiones de Huhuetla, Zacapoaxtla y Teziutlán.

Cada región está a su vez integrada por diversos municipios tal como es posible ver en la siguiente tabla.



CONJUNTO	REGIÓN	MUNICIPIO
Sierra Nororiental	XICOTEPEC	Xicotepec
		Jalpan
		Naupan
		Pahuatlán
		Tlacuilotepec
		Tlaxco
		Zihuateutla
		Pantepec
		Venustiano Carranza
	HUAUCHINANGO	Chiconcuatla
		Huauchinango
		Jopala
		Tlaola
		Tlapacoya
	ZACATLAN	Ahuacatlan
		Amixtlan
		Camocuatla
		Coatepec
		Hermenegildo Galeana
		San Felipe Tepatlan
		Tepango de Rodriguez
		Tepetzintla
		Zacatlán
	CHIGNAHUAPAN	Cuautempan

CONJUNTO	REGIÓN	MUNICIPIO
Sierra Norte	HUEHUETLA	Atlequizayan
		Caxhuacan
		Huehuetla
		Hueytalpan
		Huitzilán de Serdan
		Ixtepec
		Olintla
		Xochitlan de Vicente Suarez
		Zapotitlan
		Zongozotla
	ZACAPOAXTLA	Cuetzalan
		Jonotla
		Nauzontla
		Tuzamapan de Galeana
		Zacapoaxtla
		Zoquiapan
	TEZIUTLÁN	Acateno
		Atempan
		Ayotoxco
		Hueyapan
		Hueytamalco
		Teziutlán
		Tlatlauquitepec
		Yaonahuac
Valle de Serdán	QUIMIXTLAN	Quimixtlan
		Chichiquila
Sierra Negra	SIERRA NEGRA	Eloxochitlán
		Tlacotepec
		Ajalpan
		Coyomeapan
		Zoquitlán

Tabla 1. Ensamble territorial de los conjuntos de regiones cafetaleras estudiados

CONJUNTO VALLE DE SERDÁN

Como se mencionó, este conjunto está representado sólo por la región cafetalera de Quimixtlán. A su vez ésta se integra por los municipios de Quimixtlán y de Chichiquila, abarcando el primero el 60.4% de la región, el mismo municipio presenta la mayor superficie de localidades rurales de los dos, mientras que Chichiquila presenta la mayor superficie de localidades urbanas.

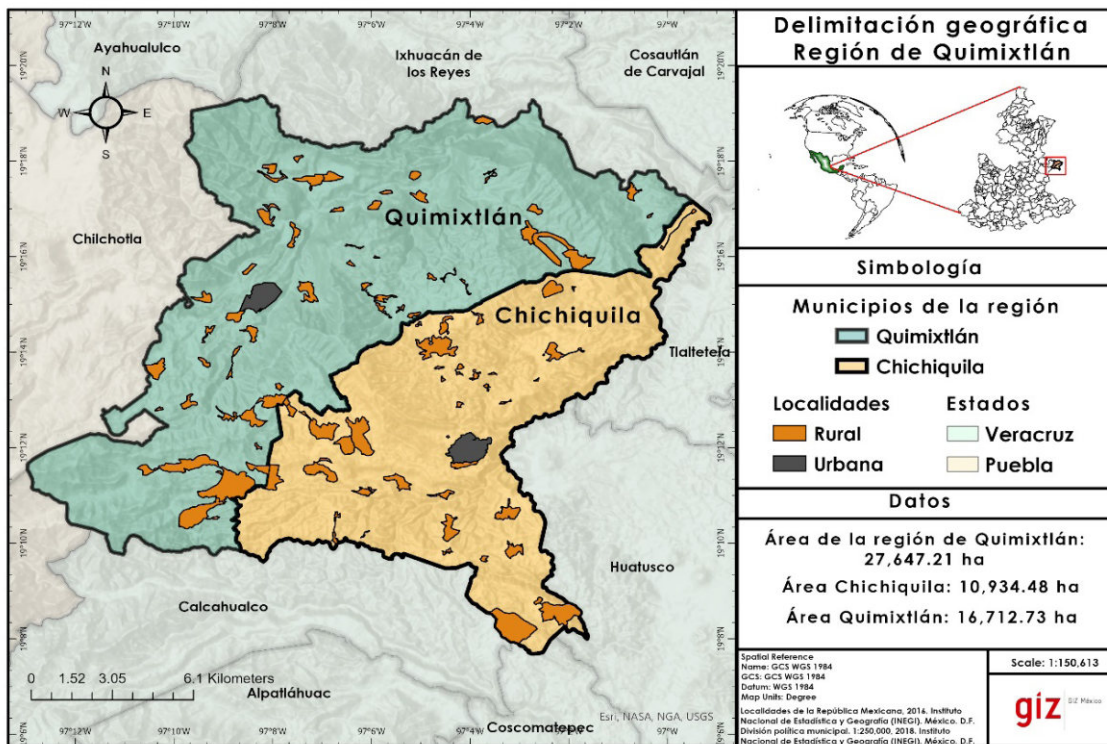


Figura 1. Delimitación Geográfica conjunto Quimixtlán

De acuerdo a los datos proporcionados por la Secretaría de Desarrollo rural del Estado de Puebla, estos dos municipios son el antepenúltimo y el penúltimo en cuanto a producción de café en la entidad, con 218.4 y 211.6 toneladas, respectivamente.



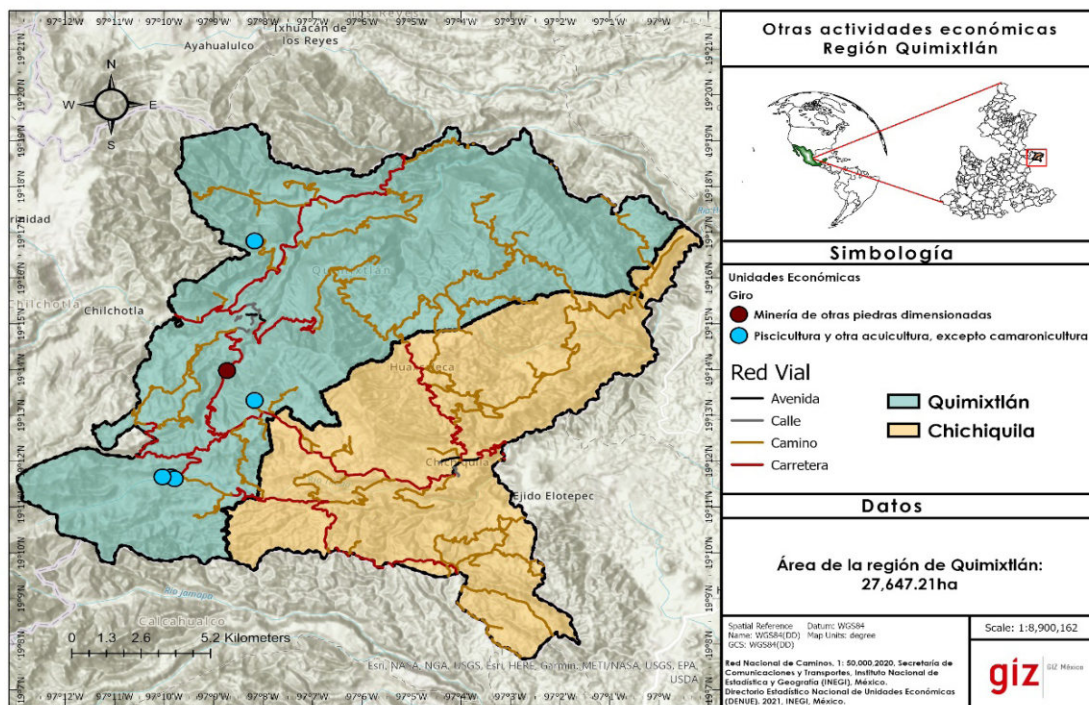


Figura 2. Otras actividades económicas conjunto Quimixtlán

El conjunto presenta además otras actividades económicas relacionadas con los recursos naturales, como son la minería de otras piedras dimensionadas y la piscicultura. La red carretera es poco densa en la zona, siendo los caminos las vías de mayor

presencia. Esto tiene implicaciones importantes tanto en el ingreso de insumos como en la capacidad de desplazamiento de los derivados de las actividades productivas que se dan en el área.

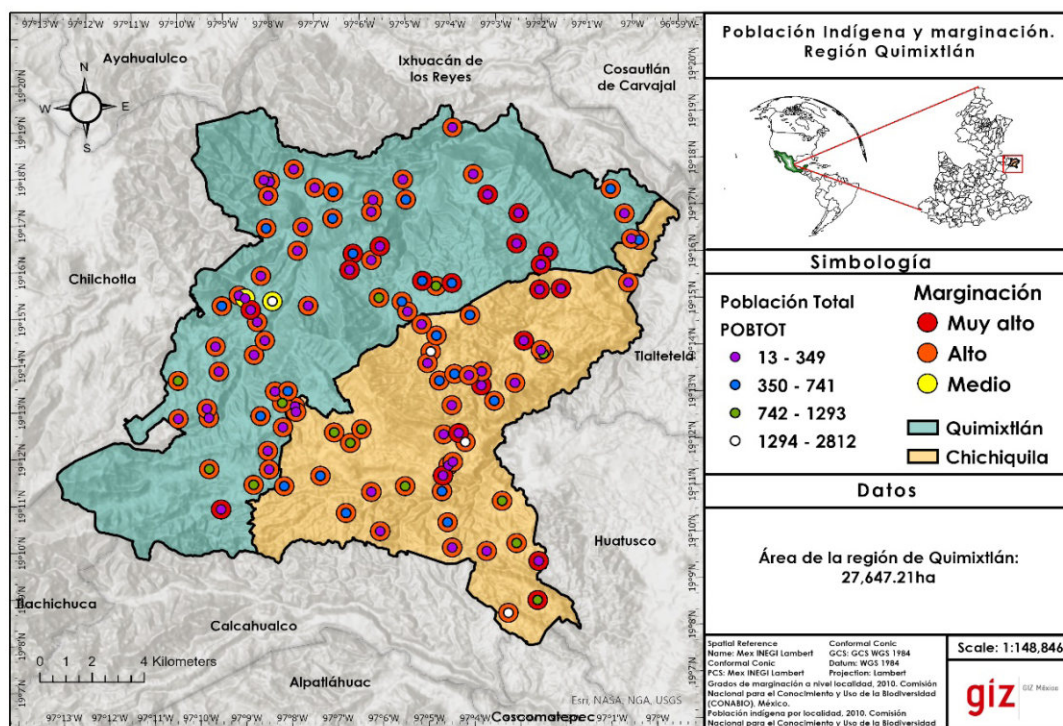


Figura 3. Población Indígena y marginación conjunto Quimixtlán

Se registran en el conjunto 45 412 hablantes de lengua indígena, el 54% en Chichiquila. En general se asocian a un grado de marginación medio a muy alto, distribuido prácticamente de forma homogénea en el territorio. La mayor concentración de hablantes de

lengua indígena se da en el municipio de Chichiquila. Esto es coincidente con lo reportado en otros trabajos (ver introducción), donde la producción de café se asocia a áreas con elevada presencia de grupos originarios.

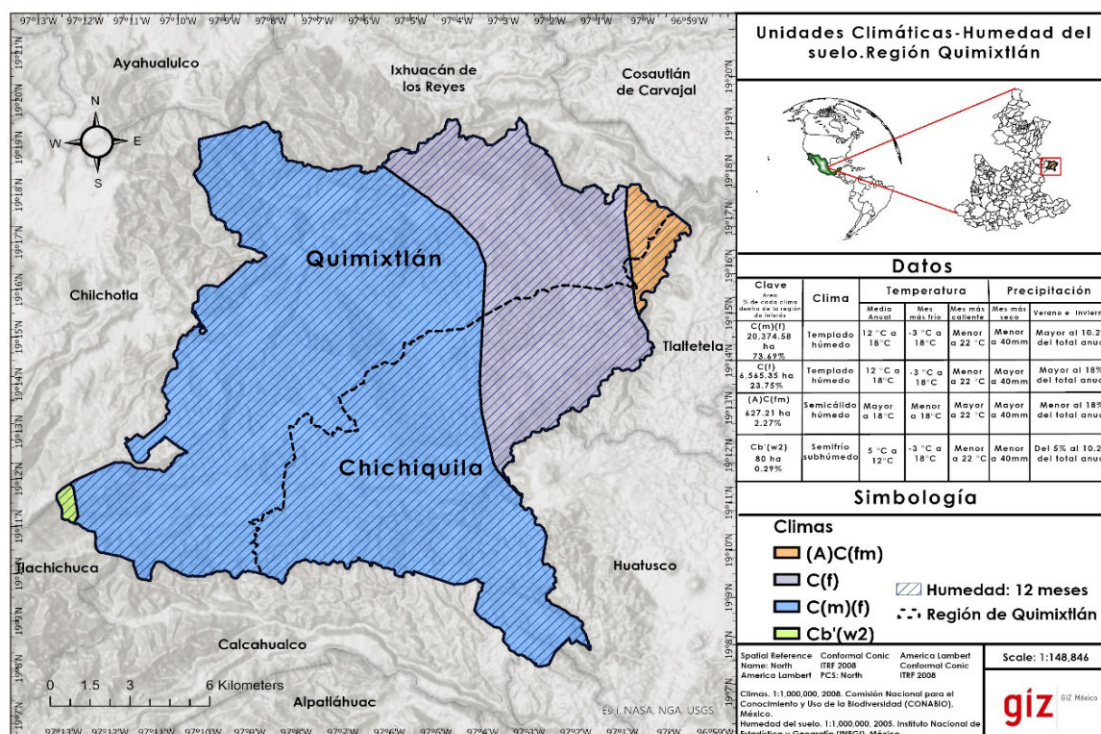


Figura 4. Unidades climáticas conjunto Quimixtlán

El área de estudio presenta cuatro climas, siendo la mayor parte (97.4%) dominado por condiciones templadas húmedas, aunque con una variación hacia el costado oeste de la zona, donde el porcentaje de la lluvia invernal es mayor al 18% del total anual. El clima menos representado es el semifrío subhúmedo

con apenas el 0.29% del área analizada, cuya presencia se circunscribe exclusivamente al municipio de Quimixtlán. La gran mayoría de este conjunto se ubica en la parte baja de los rangos climáticos óptimos para la producción de café (Solorzano y Querales, 2010).

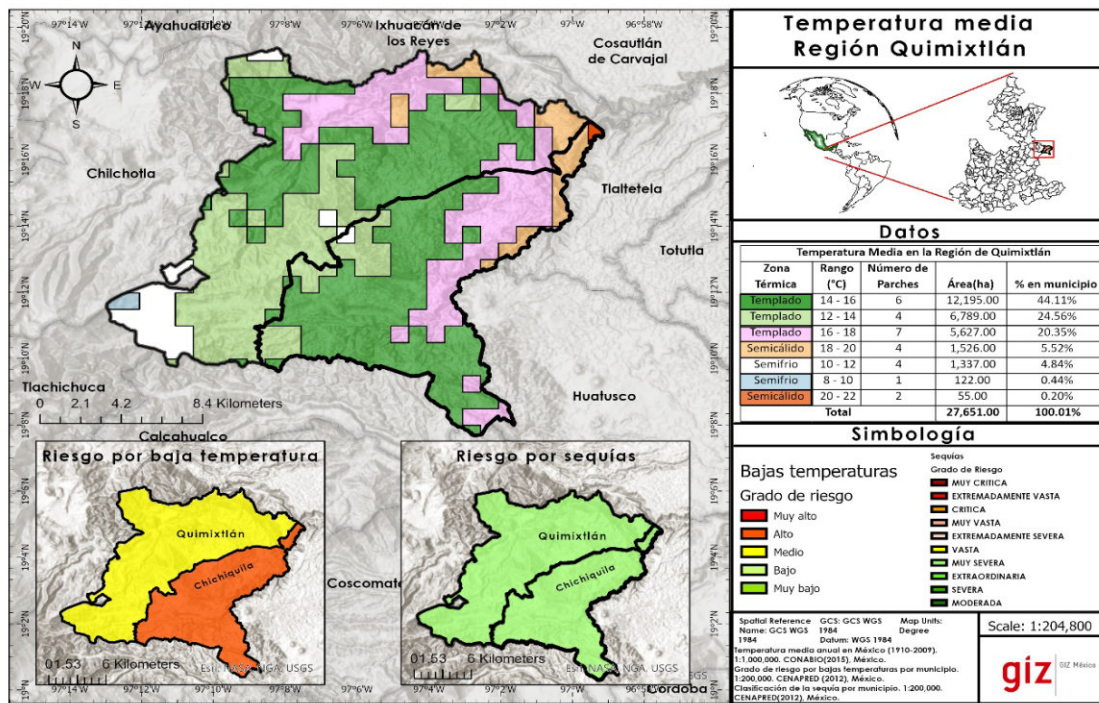


Figura 5. Temperatura media conjunto Quimixtlán

Respecto a la temperatura media en la zona, se presenta un rango que va de los 8 a los 22 grados centígrados, estando el área más fría en el suroeste del municipio de Quimixtlán y la más cálida en la porción noreste del conjunto. El rango de los 14 a los

16 grados de temperatura media es el que domina el área de análisis representando el 44.1% de ésta. El riesgo por bajas temperaturas es de medio a alto, y la totalidad del conjunto presenta un potencial riesgo muy severo por sequías.

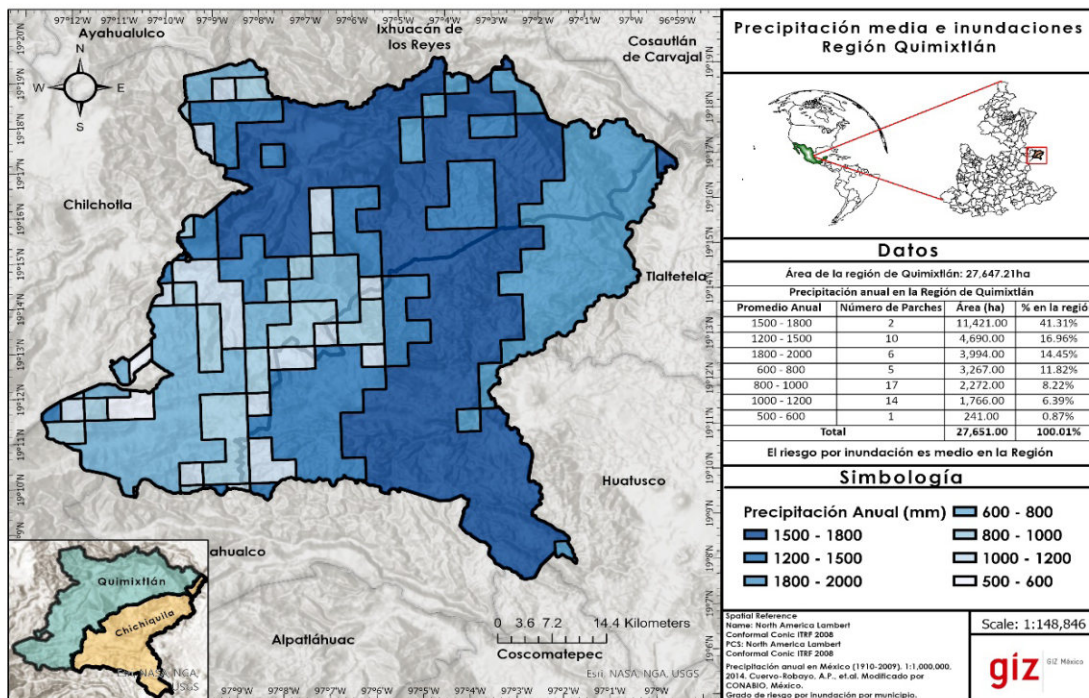
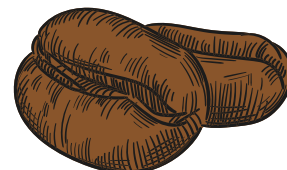


Figura 6. Precipitación media conjunto Quimixtlán

La precipitación anual va de los 500 a 2 000 milímetros de lluvia y la mayor parte del área de estudio (41.3%) presenta una precipitación de 1 500 a 1 800mm. Esta zona se ubica en la franja central del conjunto, de acuerdo a Solorzano y Querales (2010), esta pluviosidad es óptima para la producción de café.



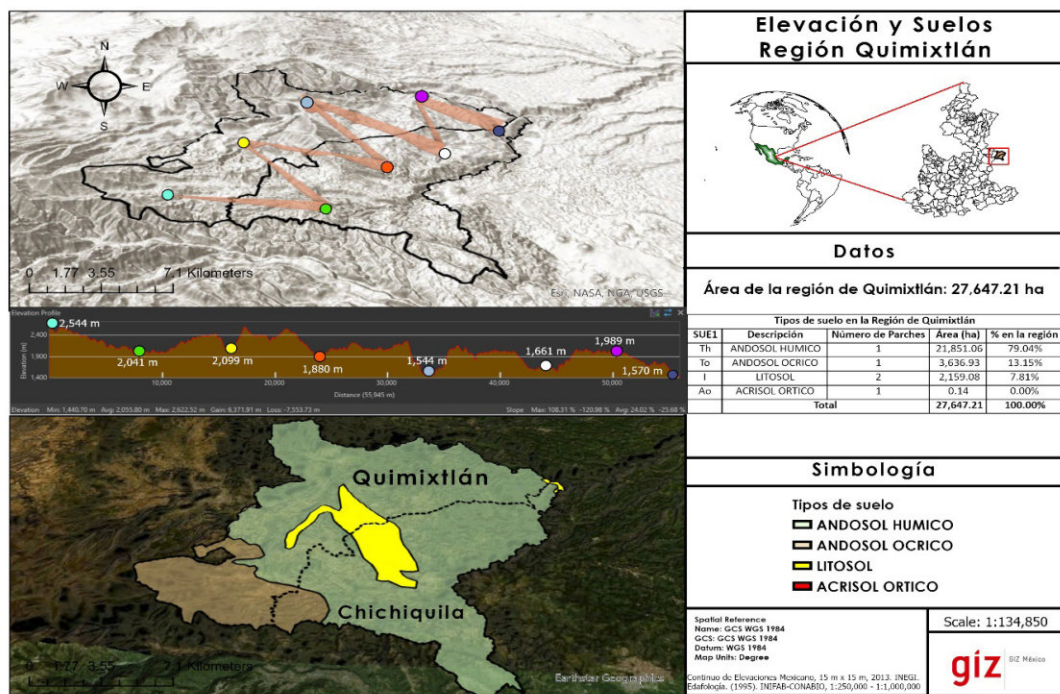


Figura 7. Elevación y suelos conjunto Quimixtlán

La elevación es mayor en la región suroeste del conjunto llegando a alcanzar más de 2500 metros, donde además domina la presencia de un suelo formado por andosol ocrico. Con excepción de un área discreta al centro de la zona de estudio, el resto

del suelo es andosol húmico (79%). Tal como la FAO (2008) indica, los andosoles tienen un alto potencial para la producción agrícola, lo que sin duda ha modelado la actividad productiva en la región.

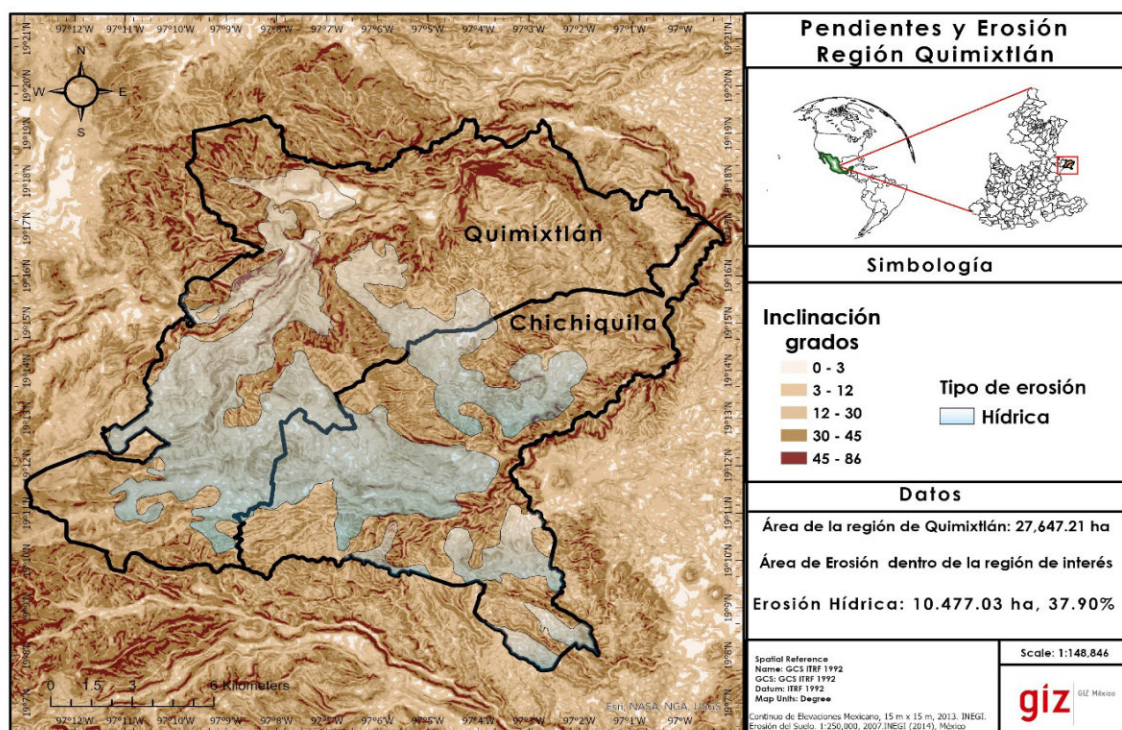


Figura 8. Pendiente y erosión, conjunto Quimixtlán

La zona de análisis presenta pendientes de entre los 0 y 86 grados. Las pendientes más pronunciadas se ubican en la porción noroeste del conjunto, particularmente en el municipio de Quimixtlán, aunque existe una franja de importante elevación en el margen sureste de la zona. En general el área presenta, tanto al centro como al sur, erosión de naturaleza hídrica. Esto en aproximadamente el 37.9% del territorio. Esta zona

es coincidente con los suelos de tipo andosol ya presentados. Dado que los andosoles en pendientes pronunciadas, como es el caso, podrían conservarse mejor bajo bosques (FAO, 2008), el cultivo de café asociado a sombra puede ser una opción productiva que además permita el mantenimiento del suelo y coadyuve en la reducción de la erosión hídrica presente en el conjunto bajo estudio.

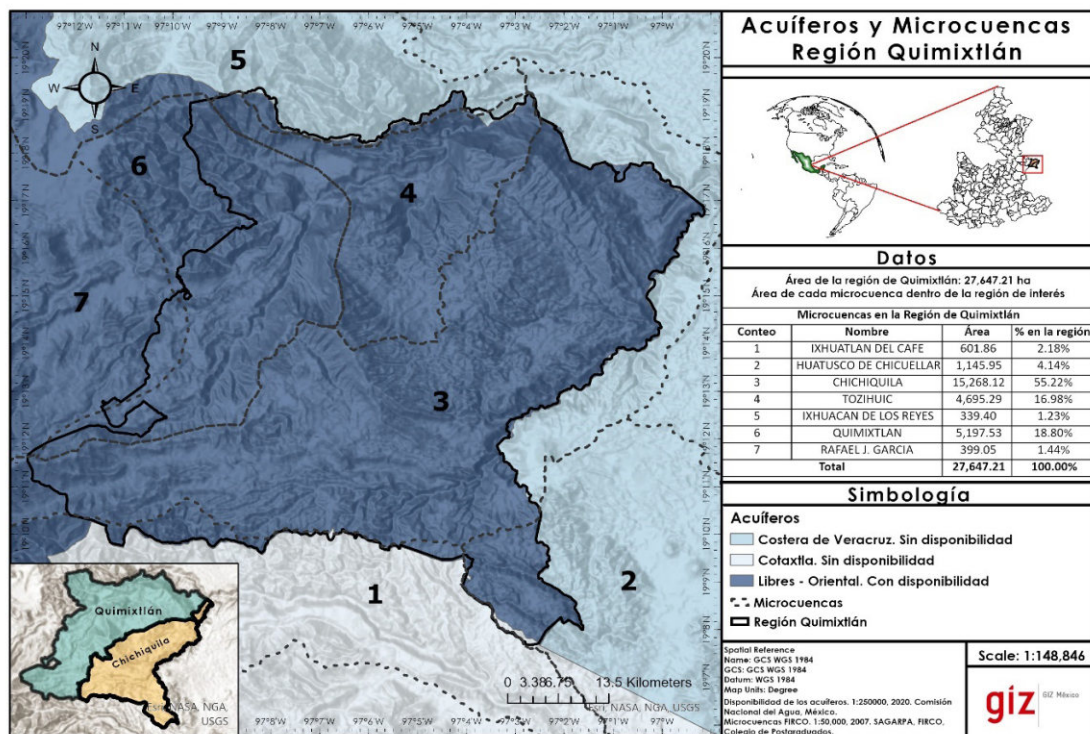
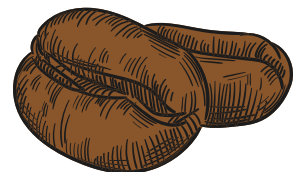


Figura 9. Microcuencas conjunto Quimixtlán

Igualmente, en el conjunto bajo análisis existen 7 microcuencas. La mayor es la de Chichiquila con una ocupación de 55.2% del área total del conjunto. A su vez, el 100% de la zona está ubicada en el acuífero de Libres, mismo que cuenta con disponibilidad hídrica.



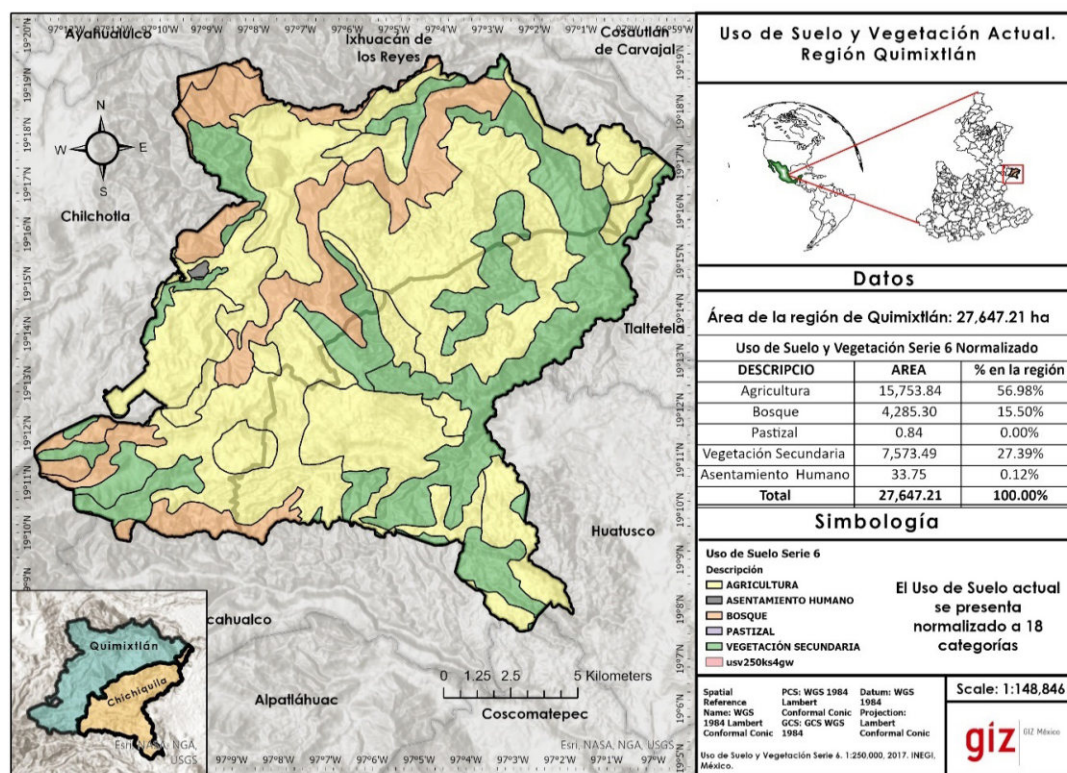


Figura 10. Uso de suelo actual conjunto Quimixtlán

Las condiciones hasta ahora descritas posibilitan la aparición de diferentes categorías de uso de suelo y vegetación en la zona. Domina la agricultura con el 56.9% del área, le sigue la vegetación secundaria con el 27.39% y el bosque con sólo un 15.5%. El 95% del bosque se ubica en la porción oeste del conjunto, particularmente en el municipio de Quimixtlán. Existe al centro-norte del conjunto una aparente

conexión estructural que permite asociar una importante sección de bosque. No obstante, hay remanentes aislados de este mismo tipo de vegetación al suroeste. Resulta así necesario generar esfuerzos que den pie a su conectividad para garantizar con ello el flujo de especies e incrementar a su vez el valor de importancia del área.

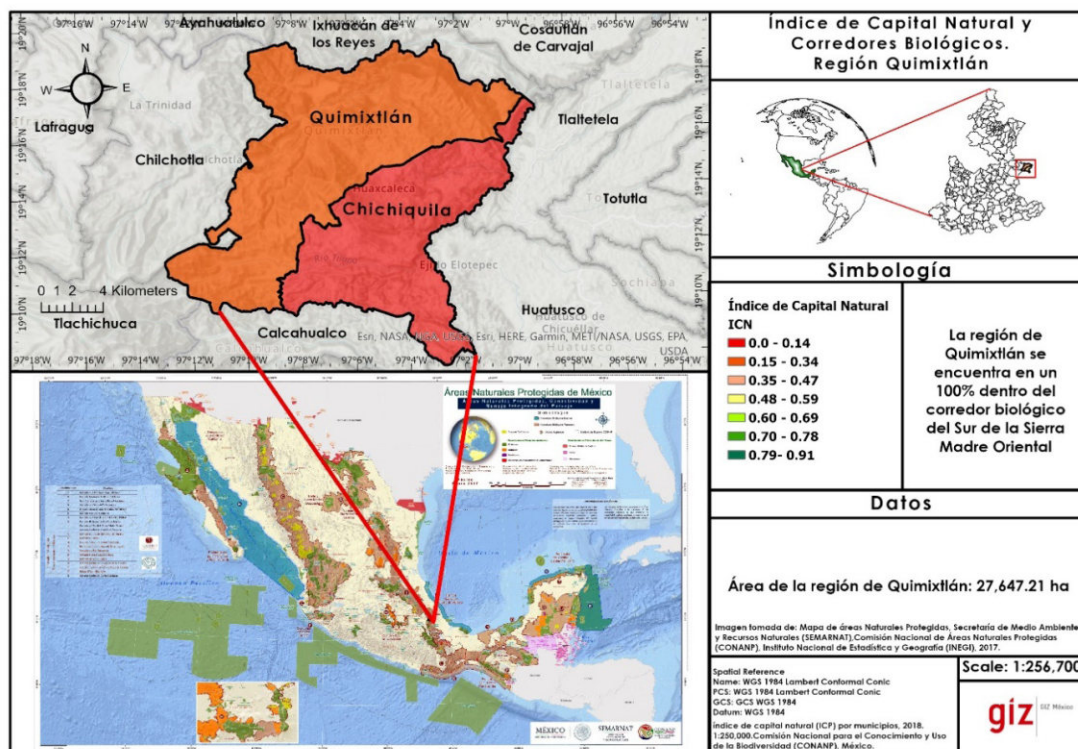


Figura 11. Índice de capital natural y conectividad conjunto Quimixtlán

En general el índice de capital natural (ICN), que representa una aproximación al estado de la biodiversidad en el área analizada, es bajo. No obstante, es importante remarcar que el 100% de ésta se encuentra contemplada dentro del corredor

biológico de la Sierra Madre Oriental. Por lo que a pesar de valor del ICN, el conjunto juega un papel importante para la conectividad y los flujos de especies entre el norte y el sureste mexicano.

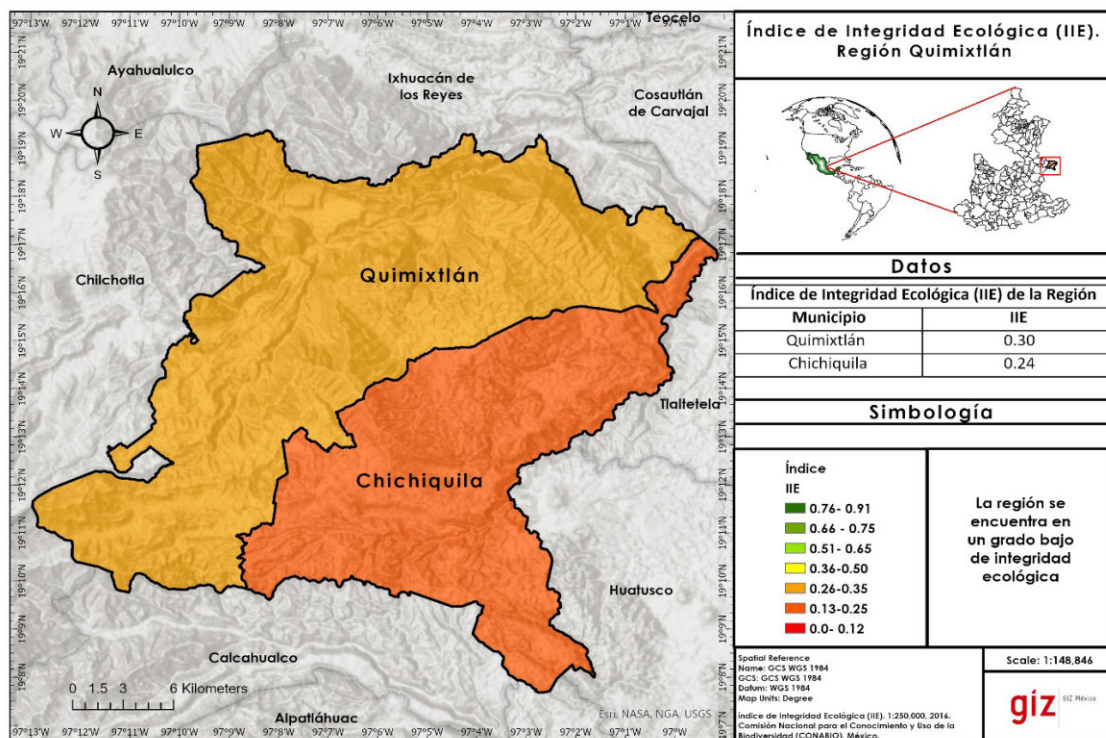


Figura 12. Índice de integridad ecológica conjunto Quimixtlán

La integridad ecológica, entendida como una medida del funcionamiento del ecosistema y el estado del hábitat en términos de su capacidad para sostener cadenas tróficas asociadas a la presencia de grandes mamíferos, es baja para la región de estudio; presentando sus valores menores en el

municipio de Chichiquila. Lo anterior puede tener importantes repercusiones en la conservación de especies dentro del área de análisis, lo que a su vez podría traducirse en servicios ambientales limitados para las comunidades que habitan el conjunto y las actividades productivas asociadas.

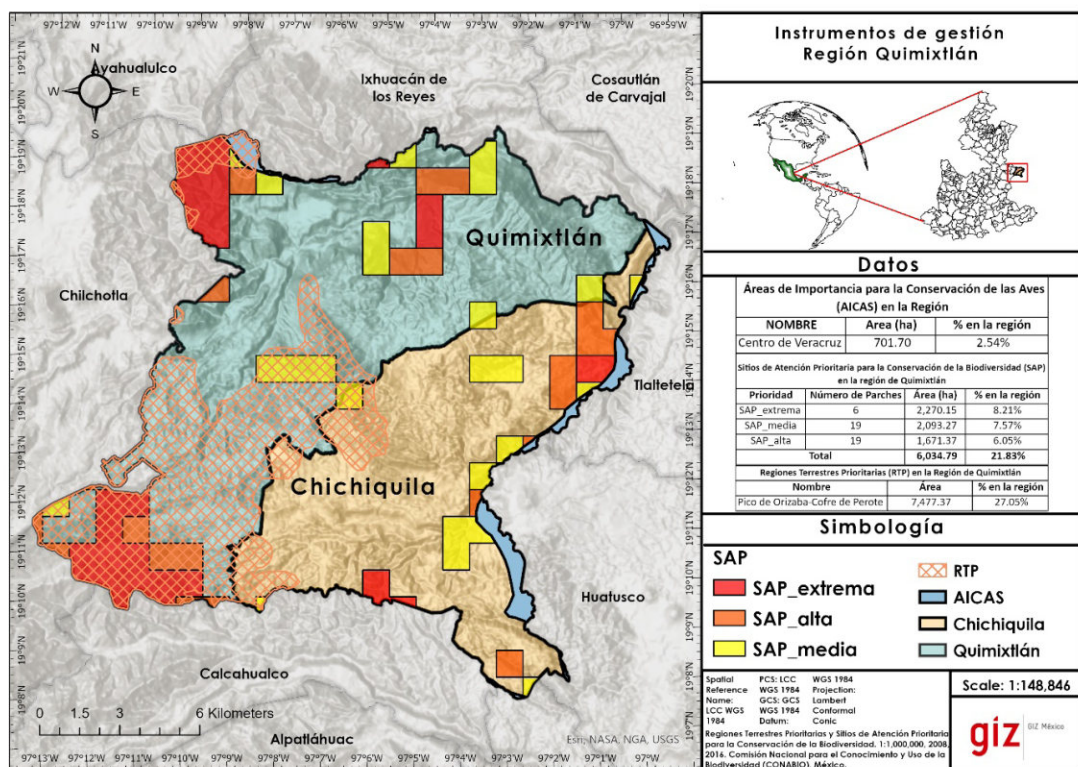


Figura 13. Instrumentos de gestión de recursos naturales conjunto Quimixtlán

El conjunto no presenta ningún instrumento de gestión, aunque sí cuenta con importantes zonas consideradas como “región terrestre prioritaria”. Éstas se ubican sobre todo en la fracción suroeste del área de análisis, principalmente en el municipio de Quimixtlán (27% de la superficie). De igual forma, es posible encontrar un 21% de la superficie total categorizada como sitio de atención prioritaria para la conservación de la biodiversidad; un 8% de ésta

bajo la categoría de atención extrema. Así como un 2% del área total categorizada como de importancia para la conservación de las aves, lo que da cuenta del importante valor de conservación en esta región. Si bien estas categorizaciones existen en el conjunto, no conllevan la existencia de programas o planes de manejo asociados a las mismas, por lo que mientras no existan otros instrumentos de conservación en la región su carácter es primordialmente indicativo.

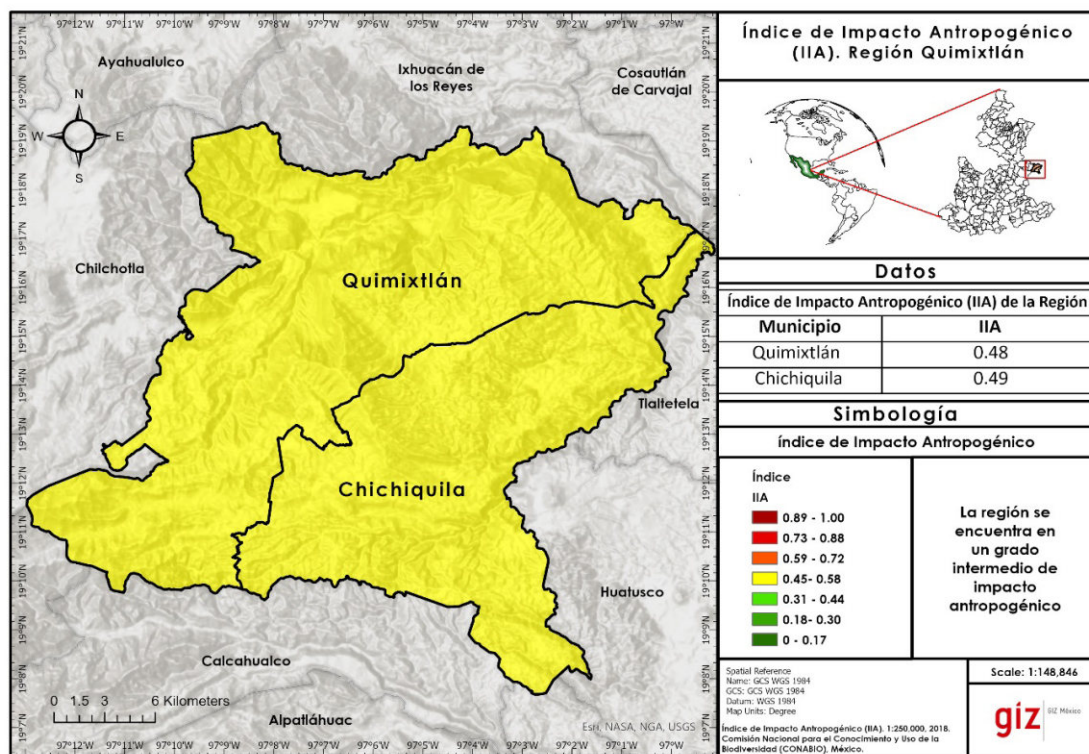


Figura 14. Índice de impacto antropogénico conjunto Quimixtlán

El índice de impacto antropogénico, mismo que presenta relación con la transformación antrópica de la zona, presenta valores medios en la totalidad del área de estudio. Estos son prácticamente iguales para los dos municipios que comprende el conjunto bajo análisis. Un índice de impacto antropogénico

medio, y uno de integridad ecológica bajo, como el ya presentado para el conjunto, sugieren la posibilidad de procesos tendientes a la insostenibilidad ambiental si es que éstos no logran adaptarse a los ecosistemas locales e influir en la restauración de los mismos.

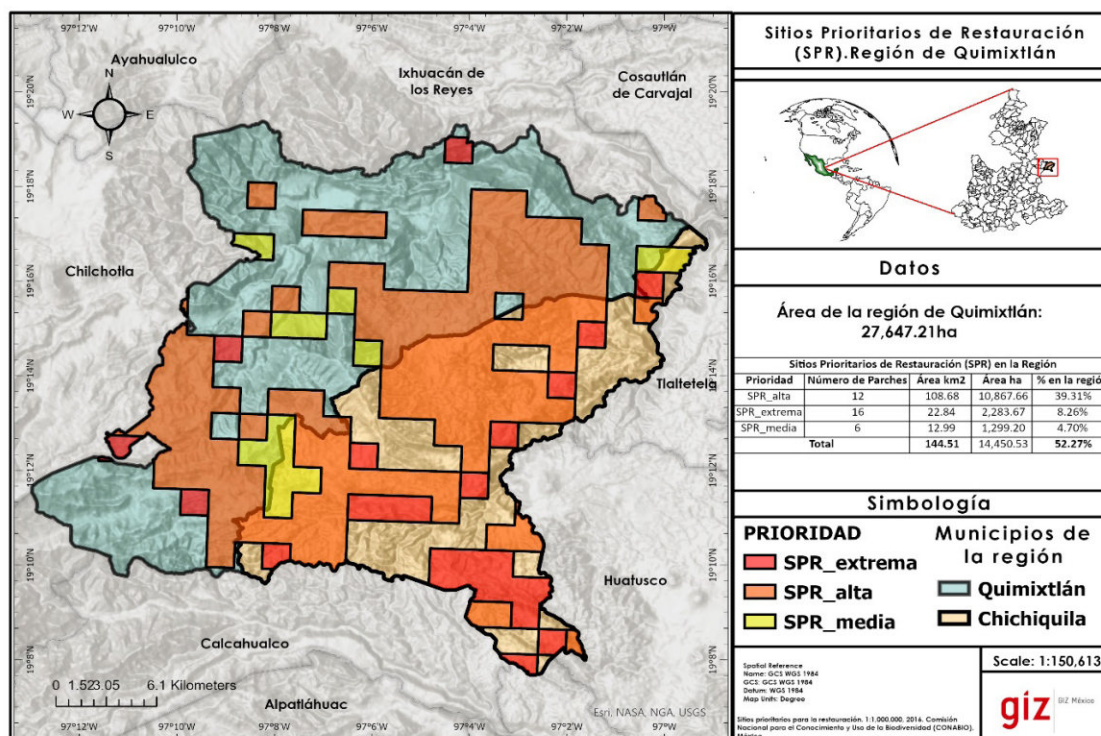


Figura 15. Sitios prioritarios de restauración conjunto Quimixtlán

De lo anterior deriva el hecho de que el conjunto cuenta con cerca del 52.2% de su superficie con grado medio a extremo de prioridad de restauración. Es decir, más de la mitad de la superficie bajo análisis requiere acciones restaurativas para que a largo plazo

se conserven las funciones ecológicas y servicios ambientales, así como la conectividad. Los sitios más críticos se encuentran en la porción sureste, particularmente en el municipio de Chichiquila.

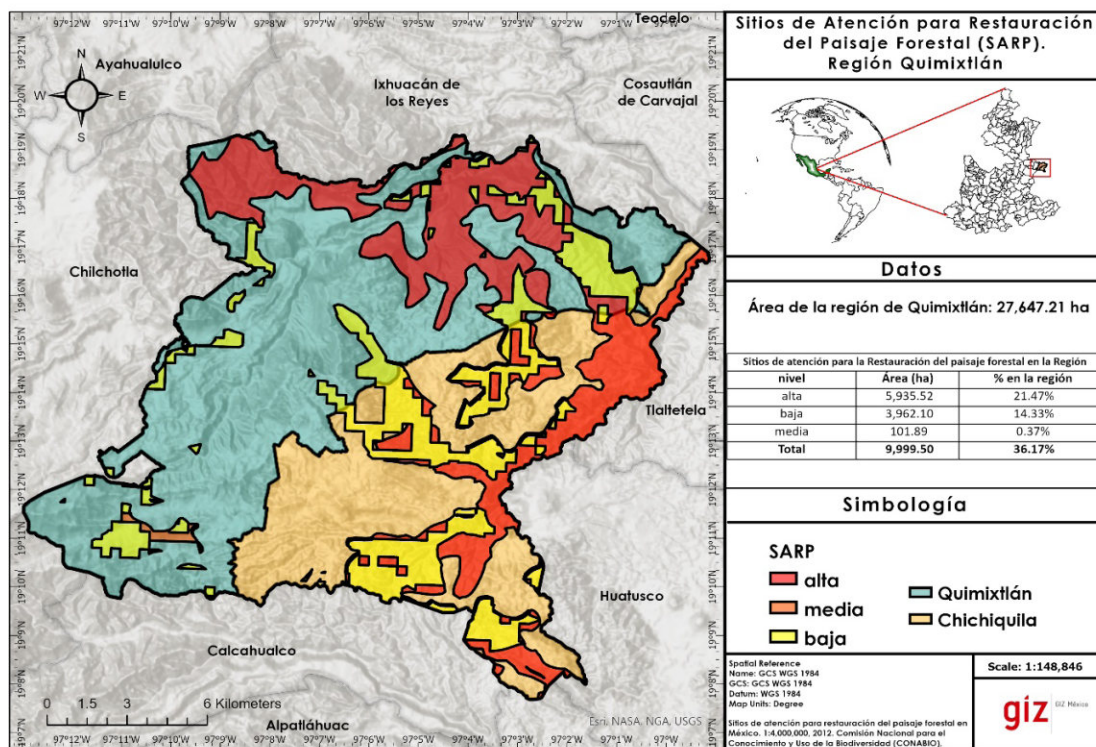


Figura 16. Sitios prioritarios de restauración del paisaje forestal conjunto Quimixtlán

De manera específica, también existe información referencial que permite determinar los sitios prioritarios para la restauración del paisaje forestal en la zona. Las acciones restaurativas contempladas para ello persiguen recuperar las funciones básicas de dichos ecosistemas, de lo cual se podrían desprender diversos servicios ambientales para la sociedad con un potencial impacto positivo en la productividad

(Liang, 2016). En la zona analizada, cerca de 10 000 ha o el 36% de la superficie presenta algún grado de prioridad de restauración del paisaje forestal. Si bien hay un rango de baja a alta prioridad en el área de análisis, cerca del 60% del área categorizada como importante para la restauración forestal presenta una prioridad alta, ello principalmente en el extremo norte y noreste.

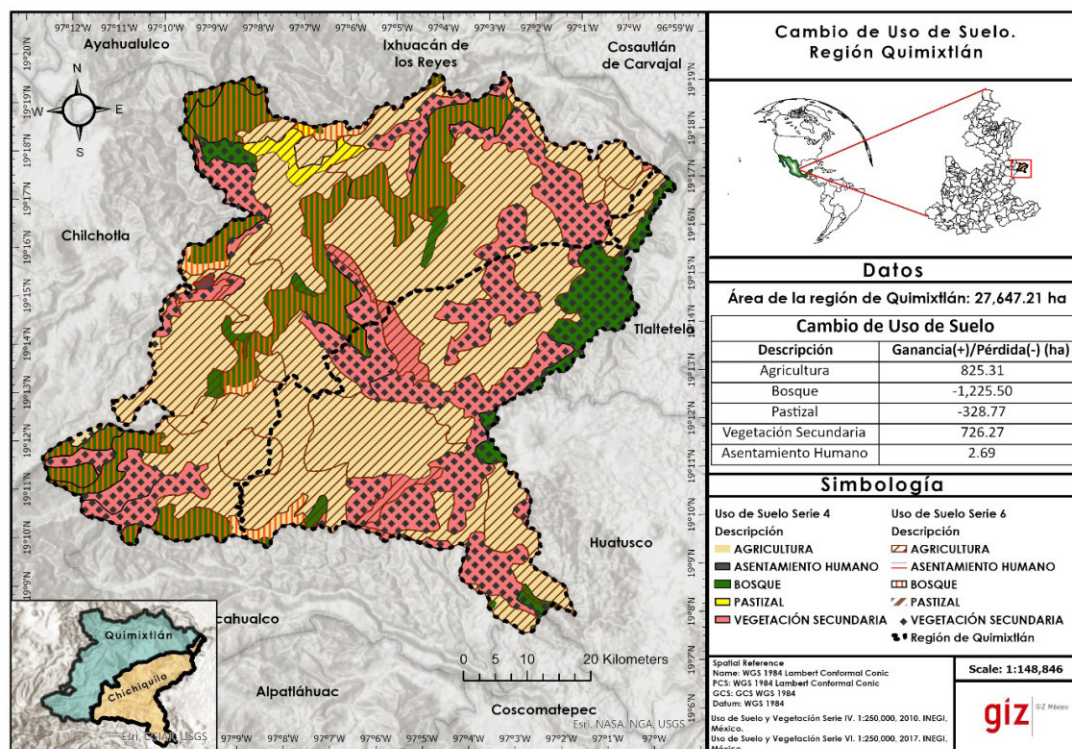


Figura 17. Cambio en el uso del suelo del conjunto Quimixtlán

El presente mapa resulta de la comparación entre la serie 4 de uso de suelo del INEGI y la serie 6. Hay 7 años de diferencia entre estas y es en ese periodo que se analiza la pérdida o ganancia de cobertura vegetal. Se puede observar que una importante sección de bosque ubicada en el extremo noreste del conjunto se transformó en vegetación secundaria, condición que prevaleció en aproximadamente 1 225 hectáreas de la zona analizada. En general se nota un

incremento de la agricultura y vegetación secundaria correspondiente a la pérdida de pastizal y bosque en la zona. Lo anterior evidencia una transformación del territorio hacia condiciones más antropizadas, lo que en suma al estado de la integridad ecológica ya descrito y al índice de impacto antropogénico igualmente comentado, puede generar importantes efectos sobre la sostenibilidad del conjunto territorial.

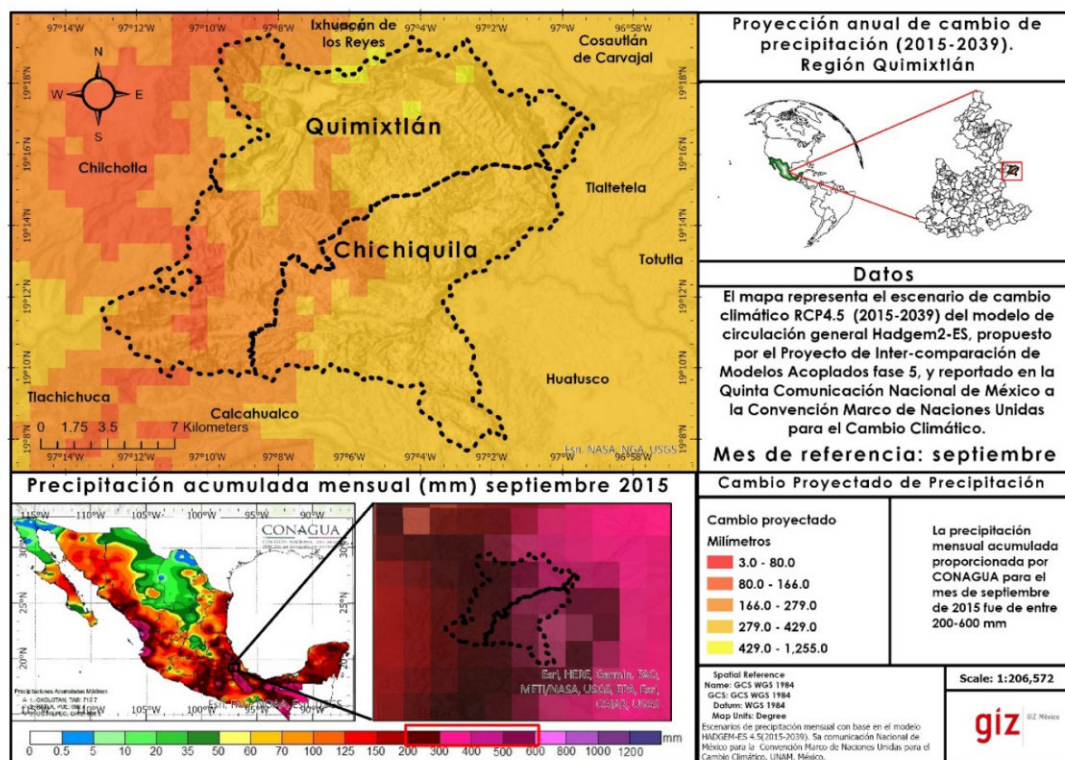


Figura 18. Proyección de cambio de precipitación del conjunto Quimixtlán

Además de lo antes expuesto, es importante evaluar el efecto del cambio climático en la zona, razón por la cual se emplearon los modelos de proyección climática reportados por México en la 5^a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas. En ese contexto, el conjunto presenta, empleando el mes de septiembre como referencia, precipitaciones mínimas de 200 mm. Sin embargo, se prevé que para

2039 éstas hayan disminuido en algunas zonas hasta un rango de 80 a 166 mm aproximadamente. Dicha reducción debe ser considerada para la planeación de obras de captación de agua, además del fomento a la infiltración, pues en función de las pendientes descritas y la erosión hídrica comentada tendrá importantes efectos en el potencial productivo y de conservación de la zona.

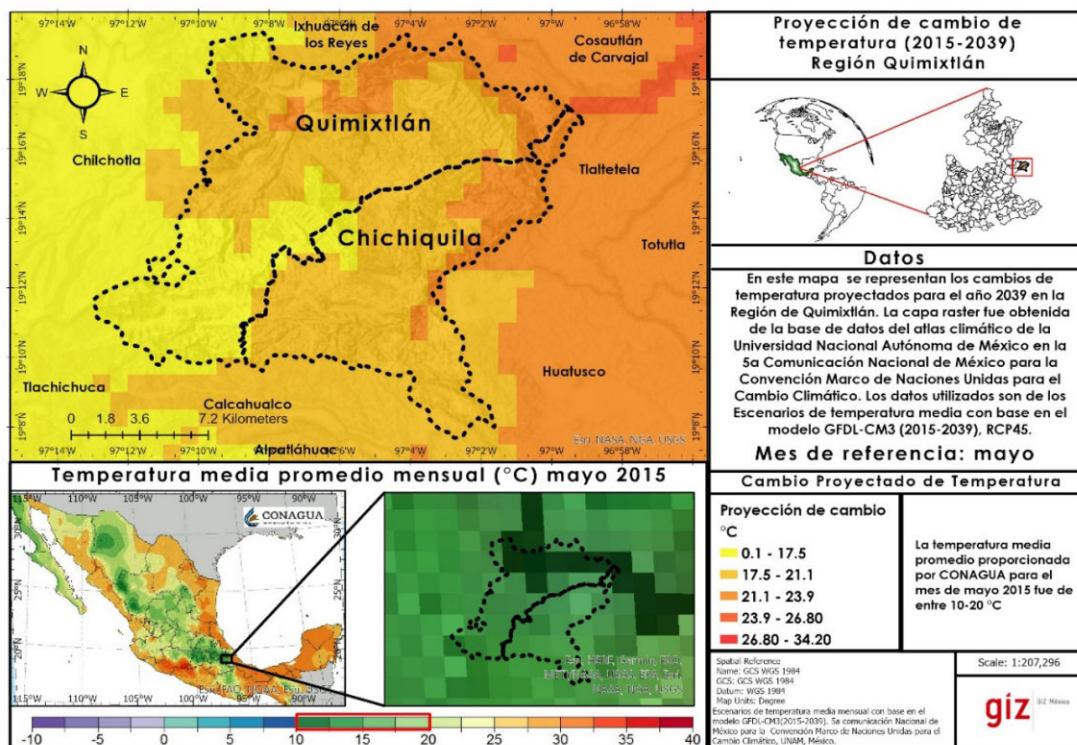


Figura 19. Proyección de cambio de temperatura del conjunto Quimixtlán

En cuanto a la temperatura, empleando el mes de mayo como referencia, la zona bajo análisis se ubica entre los 10 y 20 grados centígrados. Sin embargo, en base a la proyección reportada para 2039, relativa al modelo GFDL-CM3 para el escenario RCP45, lo que representa condiciones de estabilización en la emisión

de gases de efecto invernadero, se puede evidenciar un incremento de hasta el 10% en estos valores. Hay que tomar en consideración que dichas condiciones de estabilización parecieran no estarse alcanzando a nivel global, por lo que los efectos al respecto podrían ser aún más acusados.

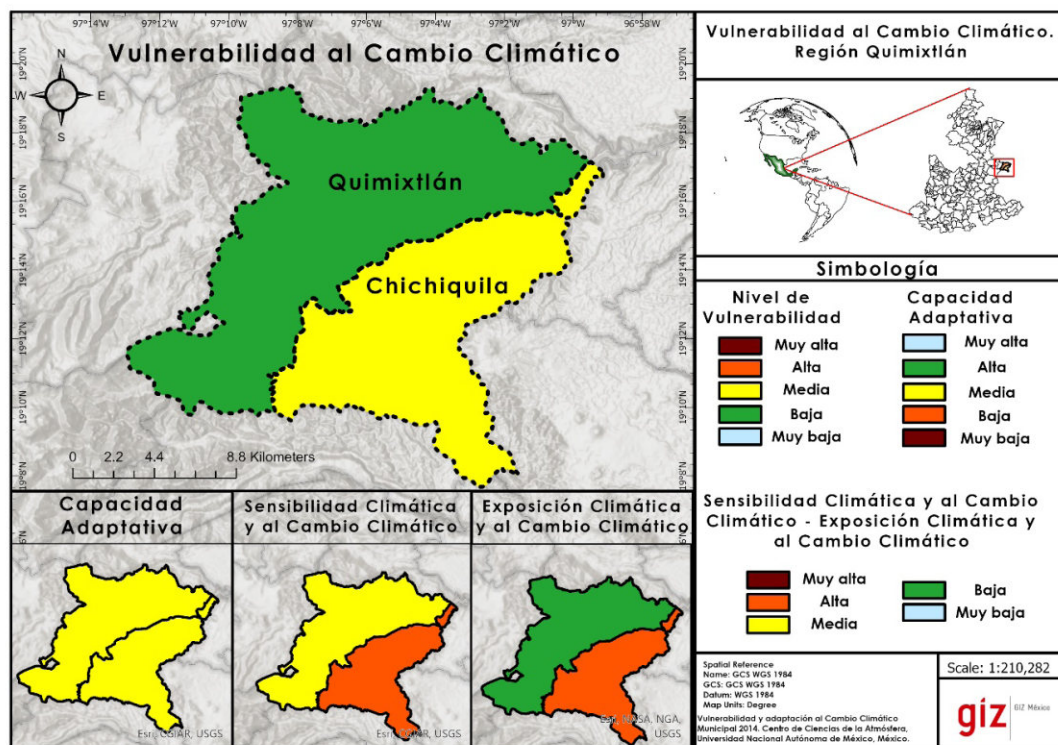


Figura 20. Vulnerabilidad ante el cambio climático del conjunto Quimixtlán

En adición a las proyecciones de cambio climático en el conjunto, es importante evaluar la vulnerabilidad del territorio ante ello, misma que resulta media para la porción sureste de la zona de análisis y baja para la noroeste, correspondiendo ello a los municipios de Chichiquila y Quimixtlán, respectivamente. Ya que la vulnerabilidad es resultado del grado de afección por el cambio climático, la intensidad de éste y la capacidad o recursos para hacerle frente, es

fundamental tomar en consideración a cada uno de estos elementos por separado. Siendo el último sobre el cual se puede influir por medio de procesos dirigidos de planeación-acción. En ese sentido la totalidad del conjunto presenta una capacidad adaptativa media, siendo necesario el estímulo de proyectos, programas, formación de capital humano e infraestructura entre otros que ayuden a elevarle.

CONJUNTO SIERRA NEGRA

Al igual que el anterior, este conjunto está integrado por una sola región productora de café, misma que se conforma por cinco municipios productores.

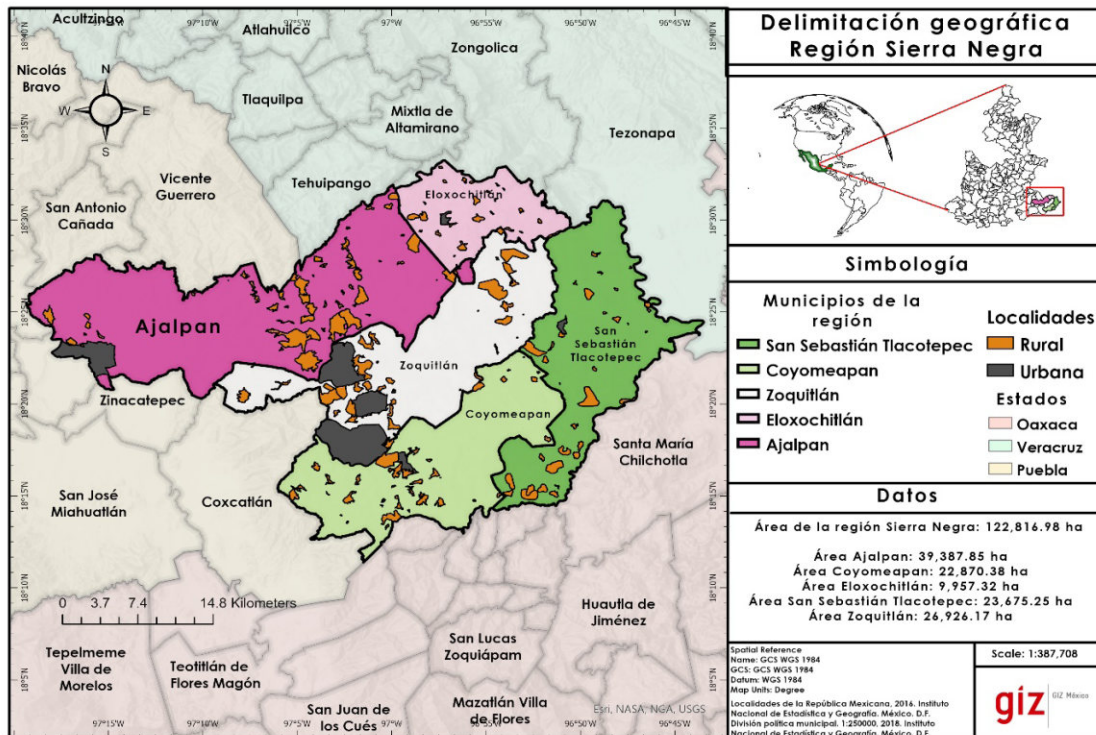


Figura 21. Delimitación Geográfica conjunto Sierra Negra

El municipio más grande en el conjunto es el de Ajalpan, que comprende el 32% de la superficie total. El sitio de análisis presenta un área urbana de poco más de 5 194 ha y una rural de 7 506.2 ha. Es

precisamente en Ajalpan donde más territorio rural se puede encontrar. Éste es 656.9 ha mayor que lo reportado en Zoquitlán, municipio donde se presenta la mayor concentración de área urbana (3 814.56 ha).

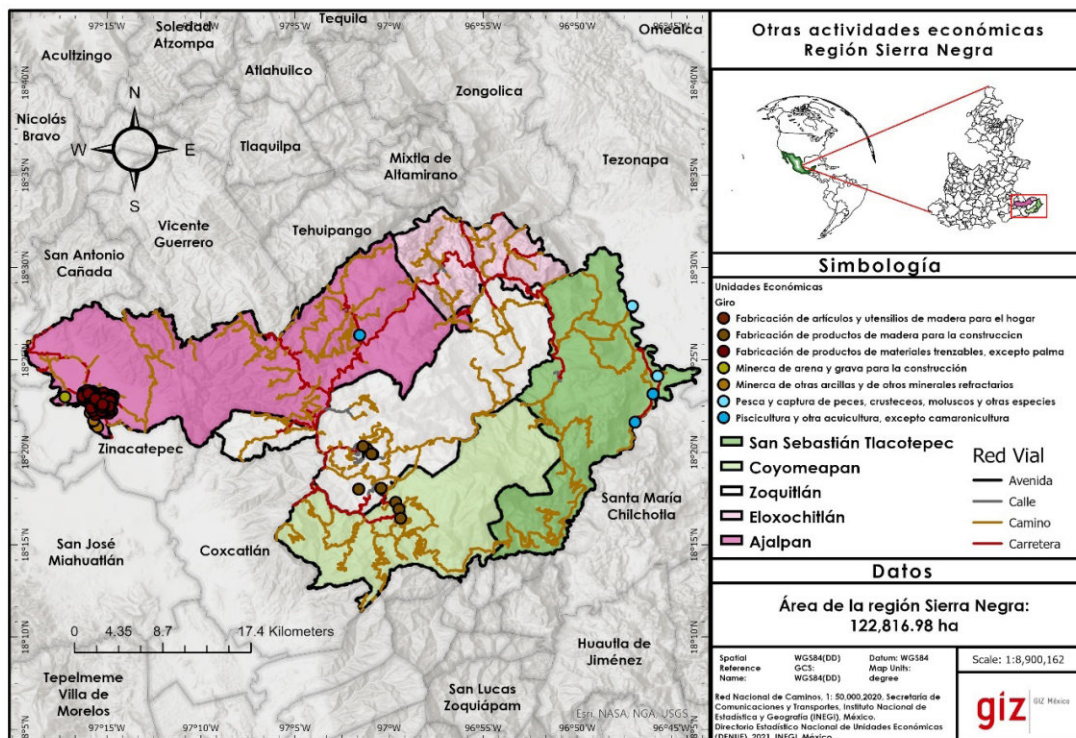


Figura 22. Otras actividades económicas conjunto Sierra Negra

Se presentan en el conjunto diversas actividades económicas en relación directa con la gestión de recursos naturales. Existe al extremo oeste una importante concentración de labores asociadas a la fabricación de artículos y utensilios de madera y

materiales trenzables. Por otra parte, en la porción centro sur es posible identificar actividad minera, así como piscícola en el extremo este del área. Existen carreteras y caminos que conectan, sobre todo, la porción centro y noreste del conjunto.

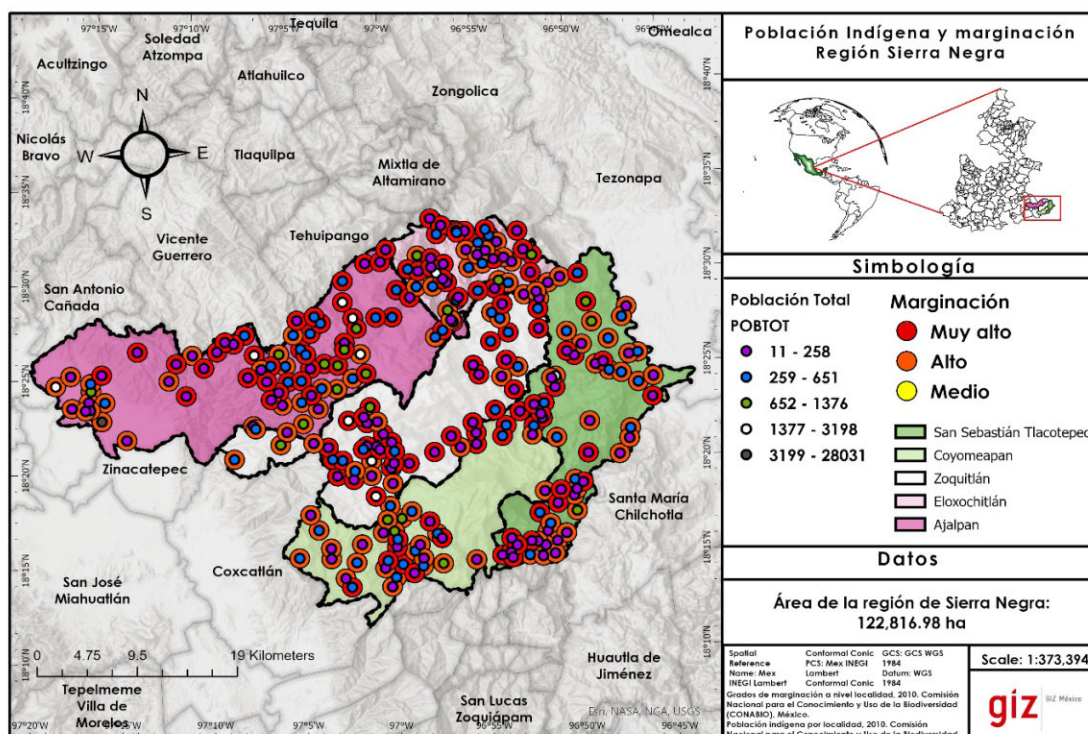


Figura 23. Población Indígena y marginación conjunto Sierra Negra

Se reportan para el conjunto 121 371 hablantes de lengua indígena. Las agrupaciones poblacionales de mayor tamaño se ubican en Ajalpan, Zoquitlán, San Sebastián Tlaxiaco y Eloxochitlán. Son justamente estos dos últimos municipios los que, de acuerdo a

datos proporcionados por la SDR, presentan mayor volumen de producción cafetalera del conjunto con 3 766 y 2 645 toneladas reportadas para el 2019 respectivamente.

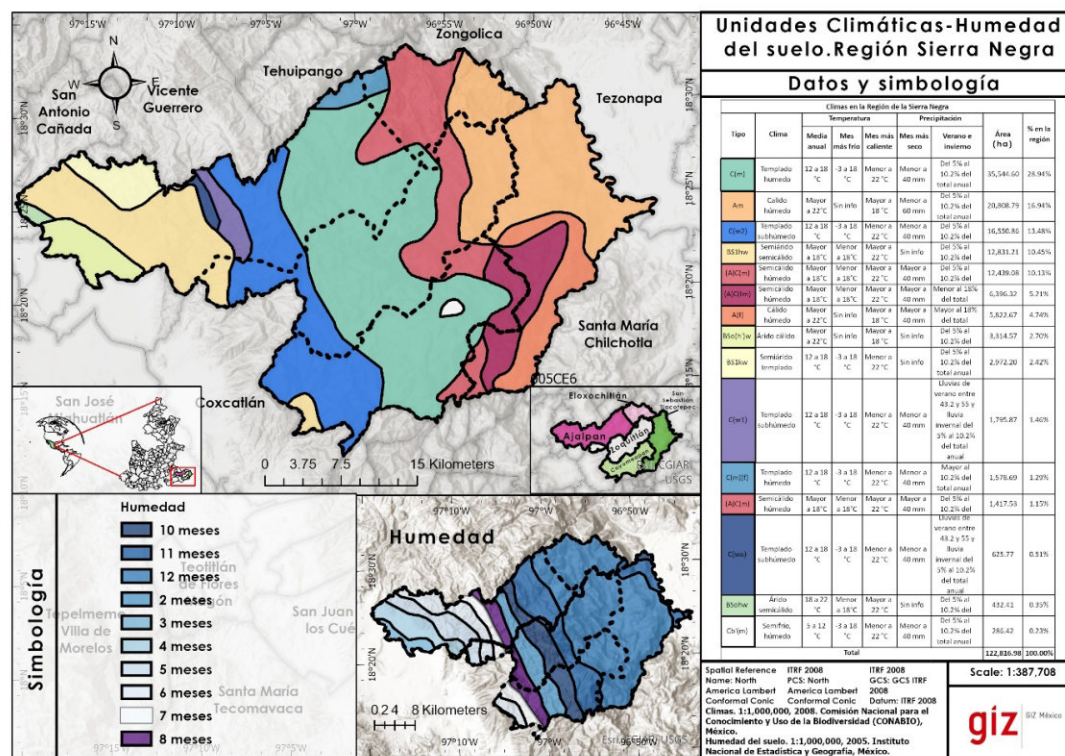


Figura 24. Unidades climáticas conjunto Sierra Negra

Existen en el conjunto quince clasificaciones climáticas diferentes. Las más cálidas y también las más húmedas se dan hacia el extremo noreste. En el centro sur del área de estudio hay un manchón discreto cuya temperatura media anual es sensiblemente más baja que en el resto de la zona, en el municipio de Coyomeapan. Las temperaturas y presencia de

humedad en el suelo son factores importantes para la producción y productividad del Café (Solorzano y Querales 2010) por lo que se constituyen en elementos habilitadores de la actividad en la zona, sobre todo donde la temperatura media se encuentra entre los 16 y 22 grados centígrados.

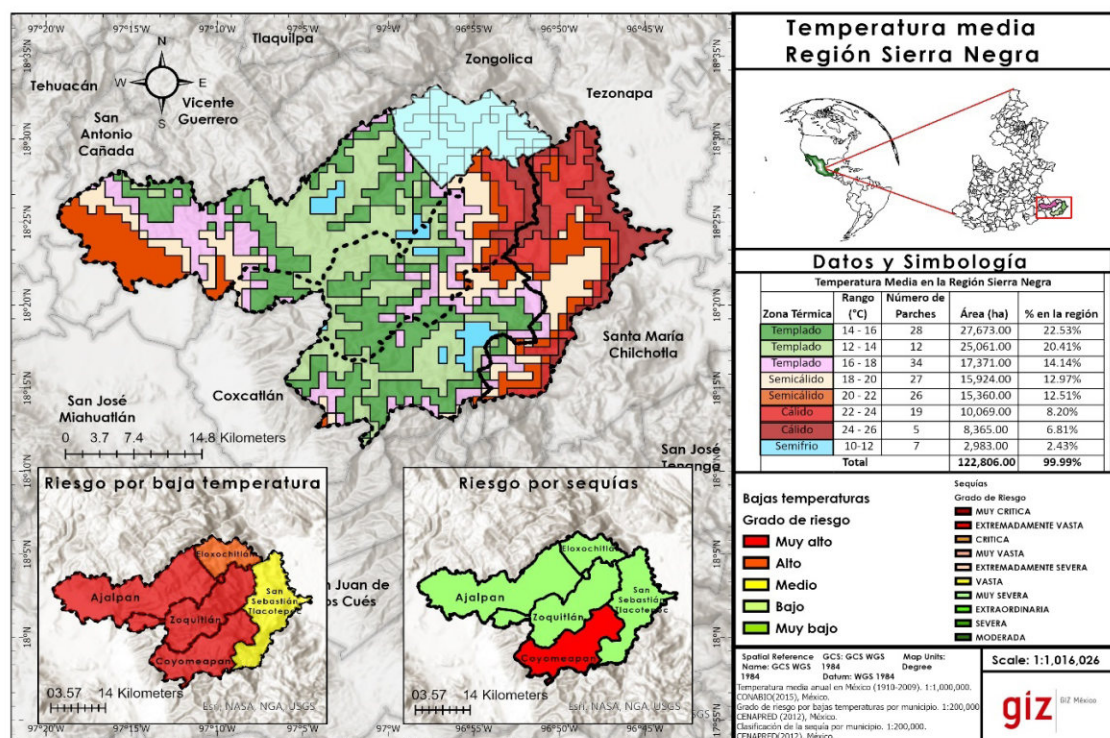


Figura 25. Temperatura media conjunto Sierra Negra

Precisamente los rangos de temperatura antes mencionados se encuentran mayormente distribuidos en la zona este del conjunto, predominantemente en los municipios de San Sebastián Tlaxiaco, Zoquitlán, Coyomeapan y Eloxochitlán. Salvo el primero, el resto presenta riesgos altos o muy altos a bajas temperaturas, así como importantes grados

de riesgo por sequías. Es fundamental para continuar con la actividad productiva en la zona considerar que los efectos del cambio climático pueden influir en estos riesgos, por lo que las acciones tendientes a minimizarlos y los planes de contingencia al respecto deben de permanecer actualizados.

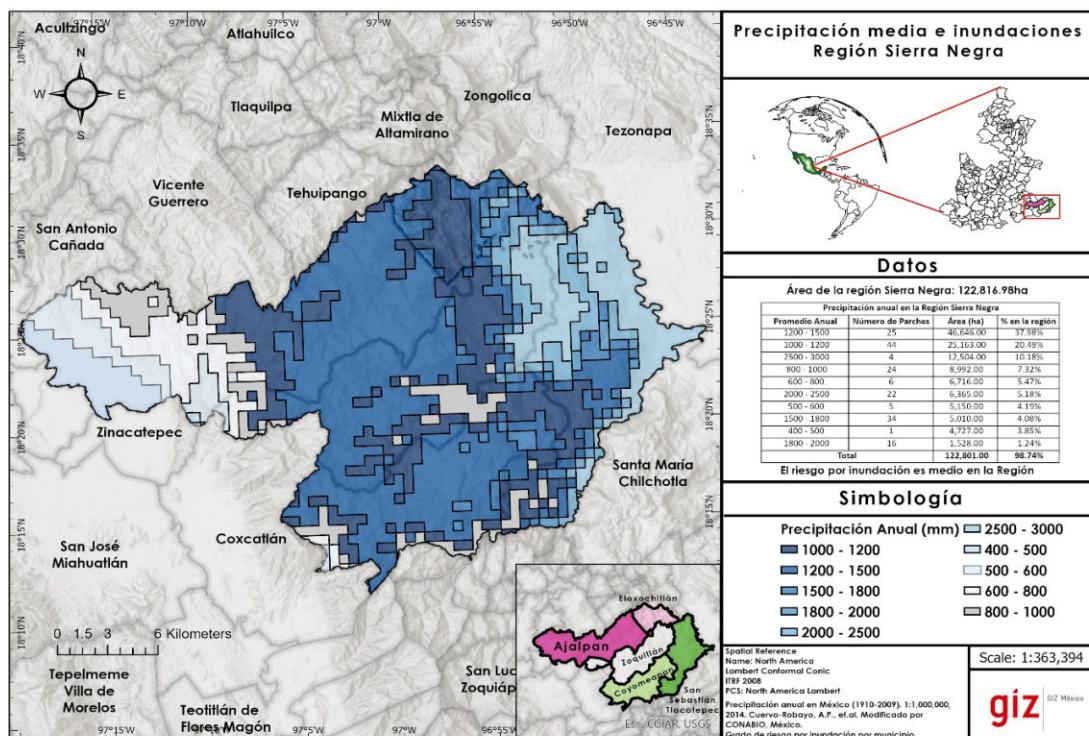


Figura 26. Precipitación media conjunto Sierra Negra

Respecto a la precipitación media anual, en el conjunto se reportan valores que van de los 400 a los 3 000 mm. En este sentido es importante mencionar que los rangos óptimos para la producción de café (Solorzano

y Querales, 2010) se presentan en el 63.79% del conjunto, primordialmente en la franja centro y este del mismo.

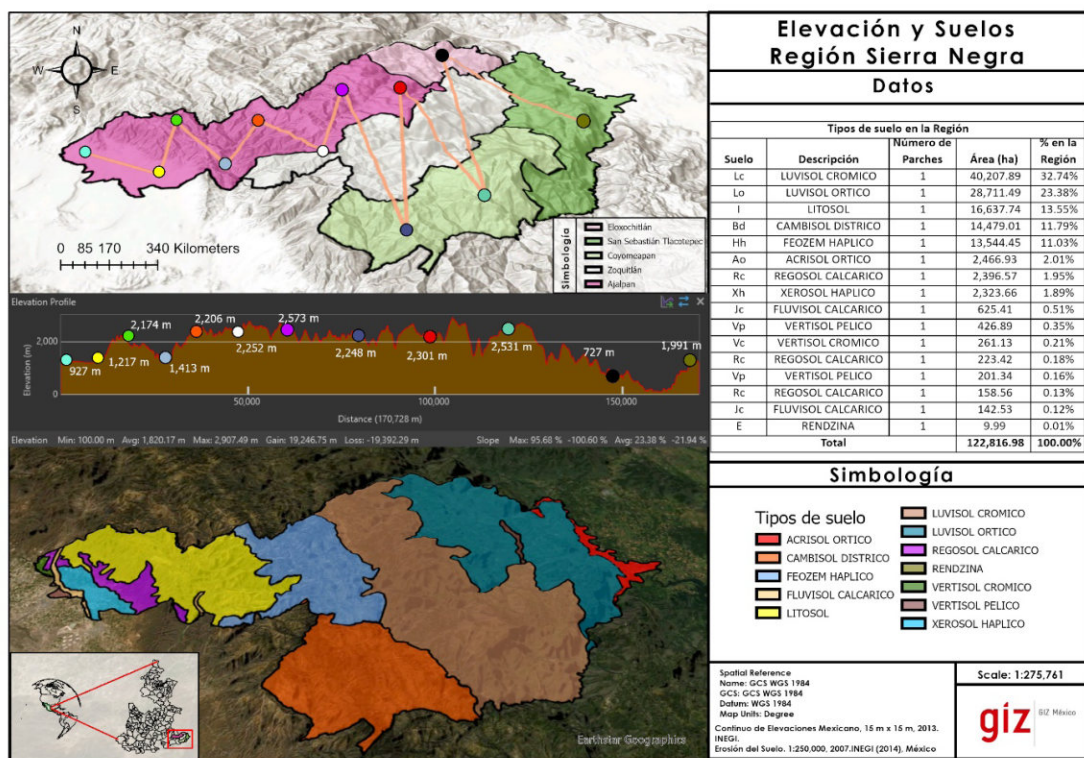


Figura 27. Precipitación media conjunto Sierra Negra

El conjunto presenta rangos de elevación muy variables, aunque en general la porción central registra las mayores altitudes, ello asociado a suelos tipo feozem, cambisol y luvisol, siendo este último el más predominante en la zona. De acuerdo a FAO (2008),

el luvisol es apropiado para una amplia variedad de usos agrícolas. No obstante, allí donde coincide con pendientes pronunciadas requiere de medidas de control de erosión.

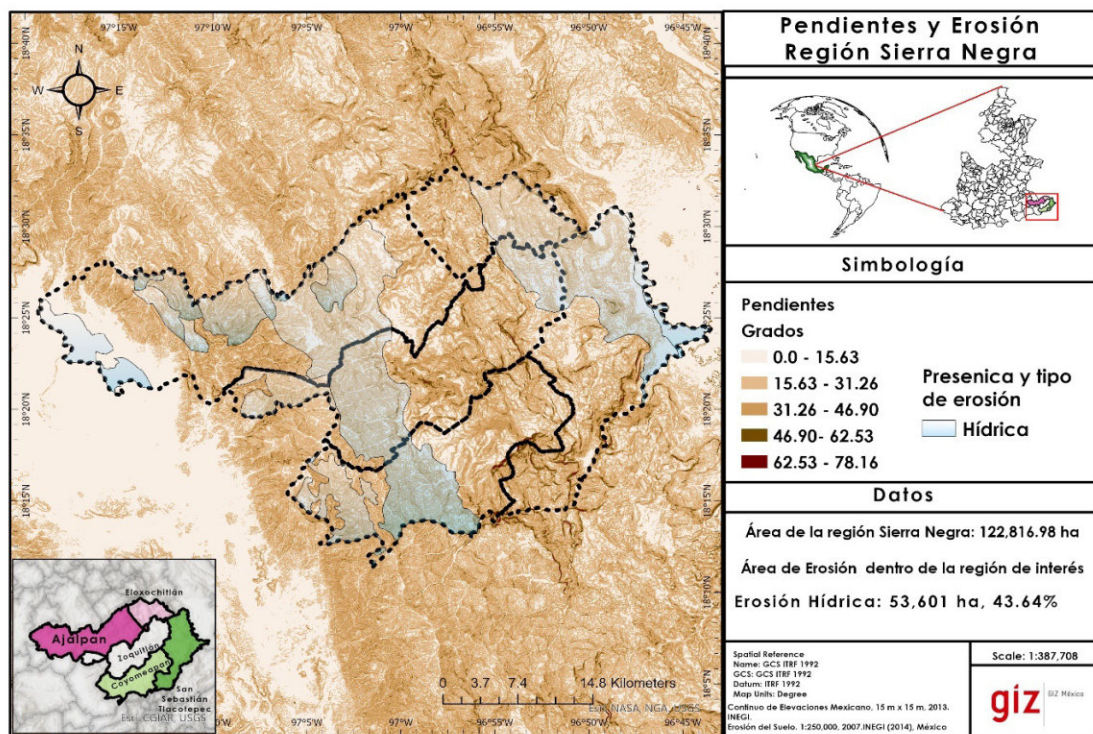


Figura 28. Elevación y suelos conjunto Sierra Negra

Es así que, en el análisis de pendientes y erosión, se pueden notar que la fracción noreste del conjunto, donde como se ha visto se registran suelos de tipo luvisol, presenta erosión hídrica, lo que implica la necesidad de establecer mecanismos que permitan

revertir dicha situación. Adicionalmente, existen hacia el centro-oeste de la zona analizada importantes parches de territorio erosionado; esto coincide con los sitios que se ubican a los costados del área que presenta mayor elevación dentro del conjunto.

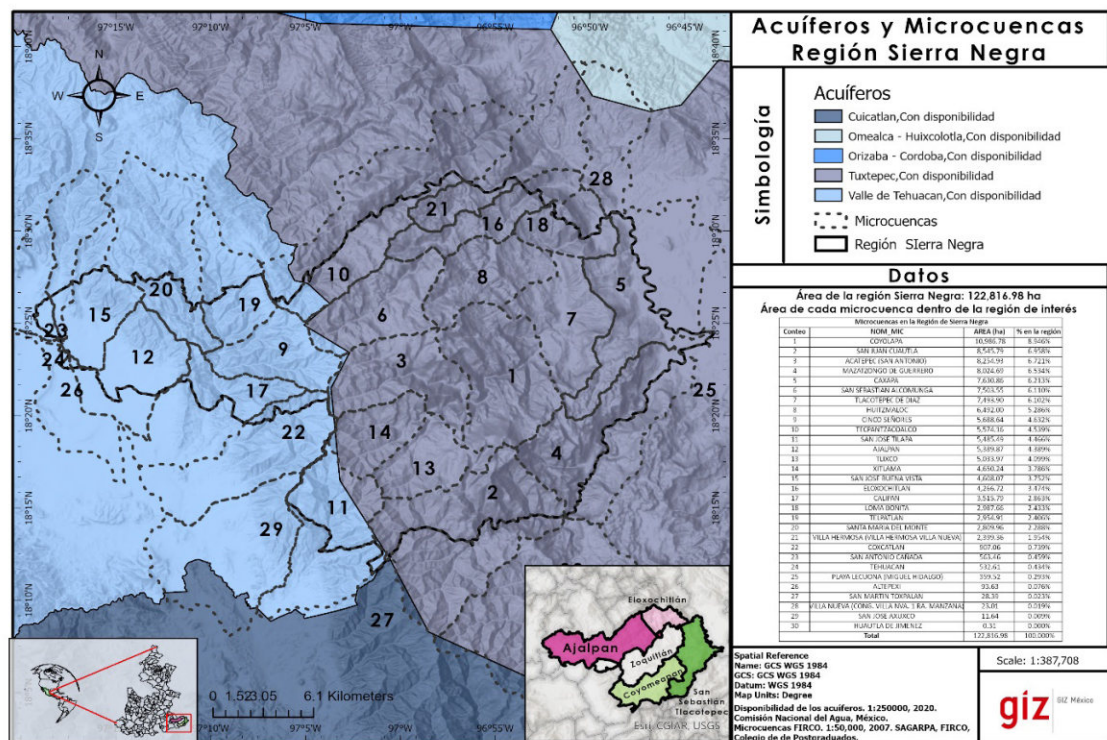


Figura 29. Microcuencas conjunto Sierra Negra

En la zona de estudio se pueden ubicar 30 microcuencas pertenecientes a tres acuíferos, todas con disponibilidad hídrica. La relevancia de dicha subdivisión se enmarca en la necesidad de gestión del agua a nivel local para mantener el funcionamiento

hidrológico y ecológico del hábitat a fin de proveer servicios ambientales óptimos para la producción del café. El número de microcuencas en la zona eleva la necesidad de gestión compartida del territorio.

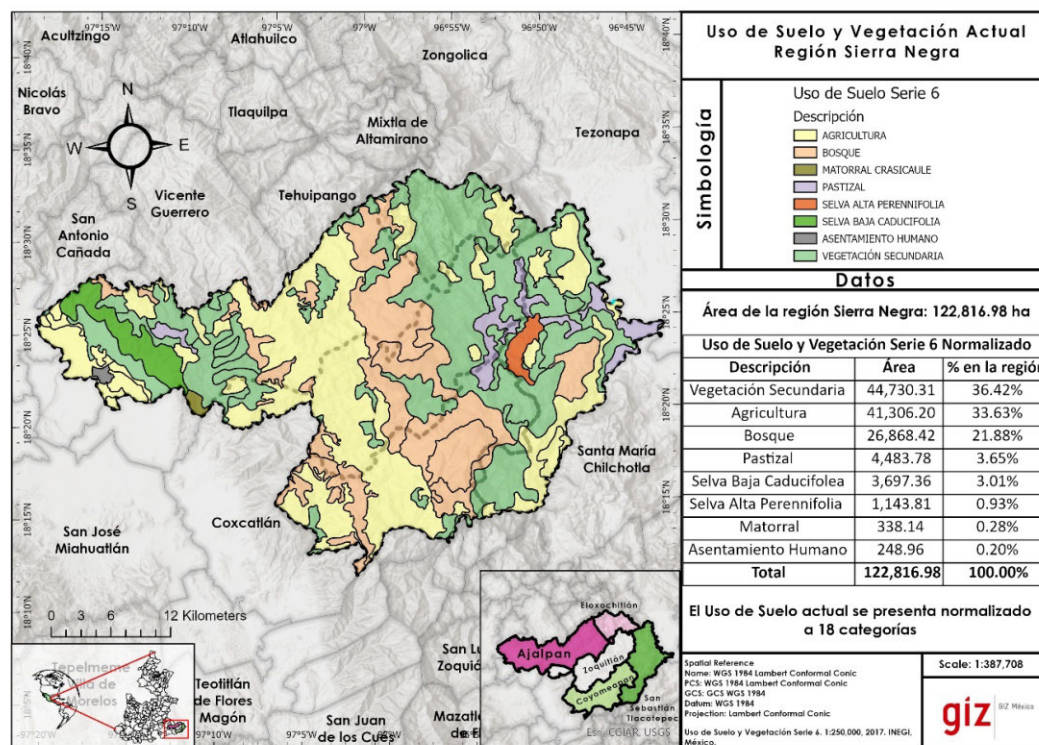


Figura 30. Uso de suelo actual conjunto Sierra Negra

El conjunto presenta importantes áreas de bosque en la franja centro, así como remanentes de selva en el extremo centro-este. De igual forma, en dicha zona se ubican fracciones importantes de vegetación secundaria, lo que se puede asociar a procesos de sucesión si se realizan actividades tendientes a la disminución de la degradación y/o restauración. Existe una mayor conectividad entre la vegetación

original en dirección sur a norte de la superficie bajo análisis que en la este a oeste, por lo que es importante activar procesos que permitan incrementar dicha condición. Para tener una mejor idea de cómo pueden darse éstos, es importante considerar al conjunto como parte de un paisaje más amplio.

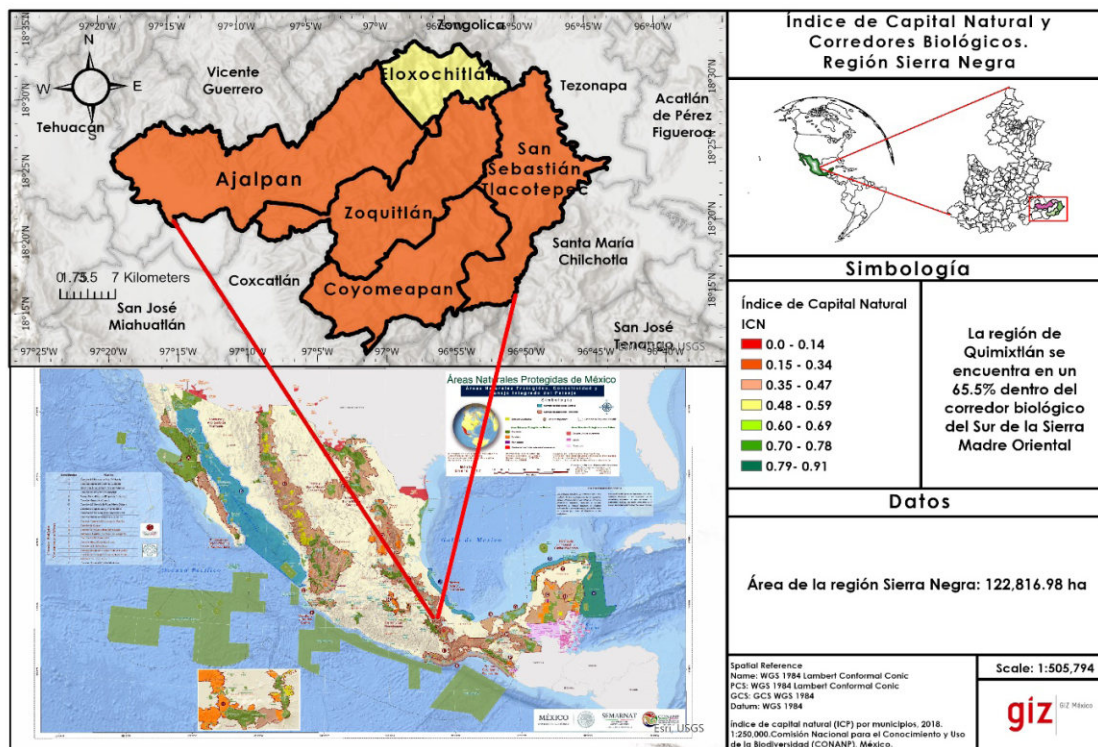


Figura 31. Índice de capital natural y conectividad conjunto Sierra Negra

Con excepción del municipio de Eloxochitlán, cuyo índice de capital natural es medio, el resto de la superficie de ubica en valores bajos de éste. Por lo que el estado de la biodiversidad en la zona podría verse comprometido. No obstante, el área forma parte integral de la porción sureña del Corredor Ecológico

de la Sierra Madre Oriental, es así que fomentar las acciones de conectividad en la zona es una tarea fundamental para preservar su valor ambiental y también para permitir la distribución de especies entre la fracción neártica y la neotropical del país.

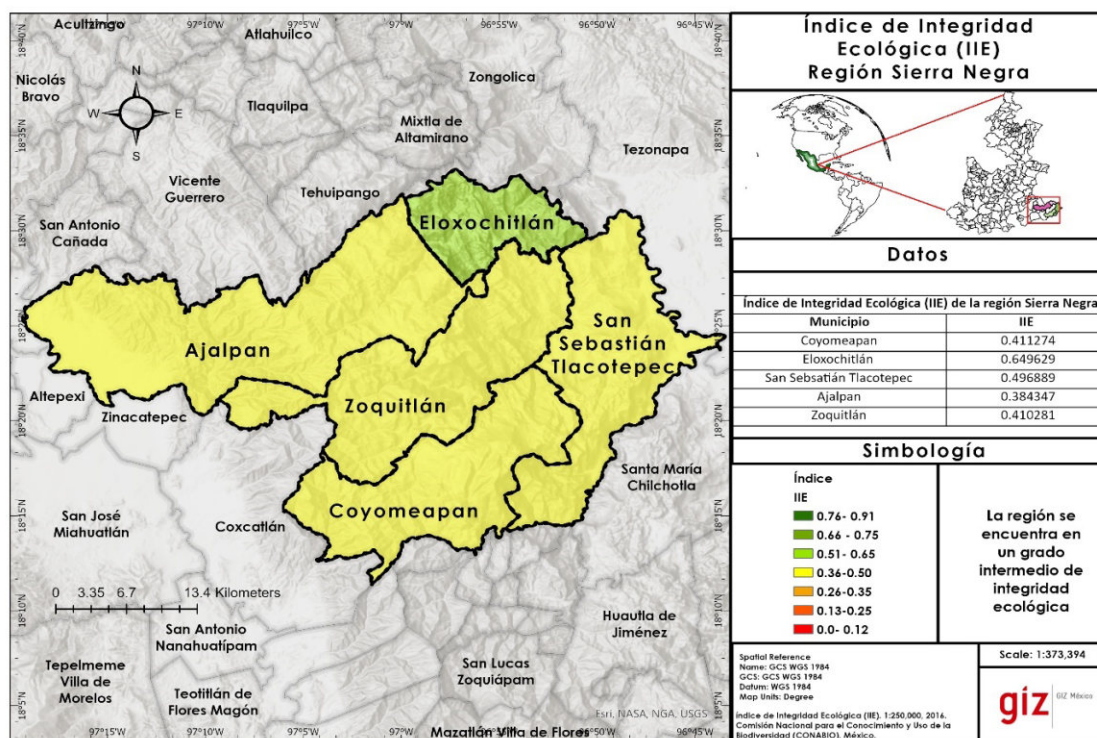


Figura 32. Índice de integridad ecológica conjunto Sierra Negra

Al igual que en el caso anterior, la integridad ecológica es mayor en la porción noreste de la zona de estudio (Eloxochitlán), donde se poseen valores medio-altos para este parámetro que, como se ha dicho, presenta la capacidad del ecosistema para soportar la presencia de grandes mamíferos en el entendido de que ésta se

asocia al estado de la cadena trófica bajo ellos. Así, el resto de la superficie analizada muestra valores medios, por lo que existe un gran potencial para la realización de acciones restaurativas. Es importante considerar que la producción restaurativa puede ser una opción importante a considerar en el conjunto.

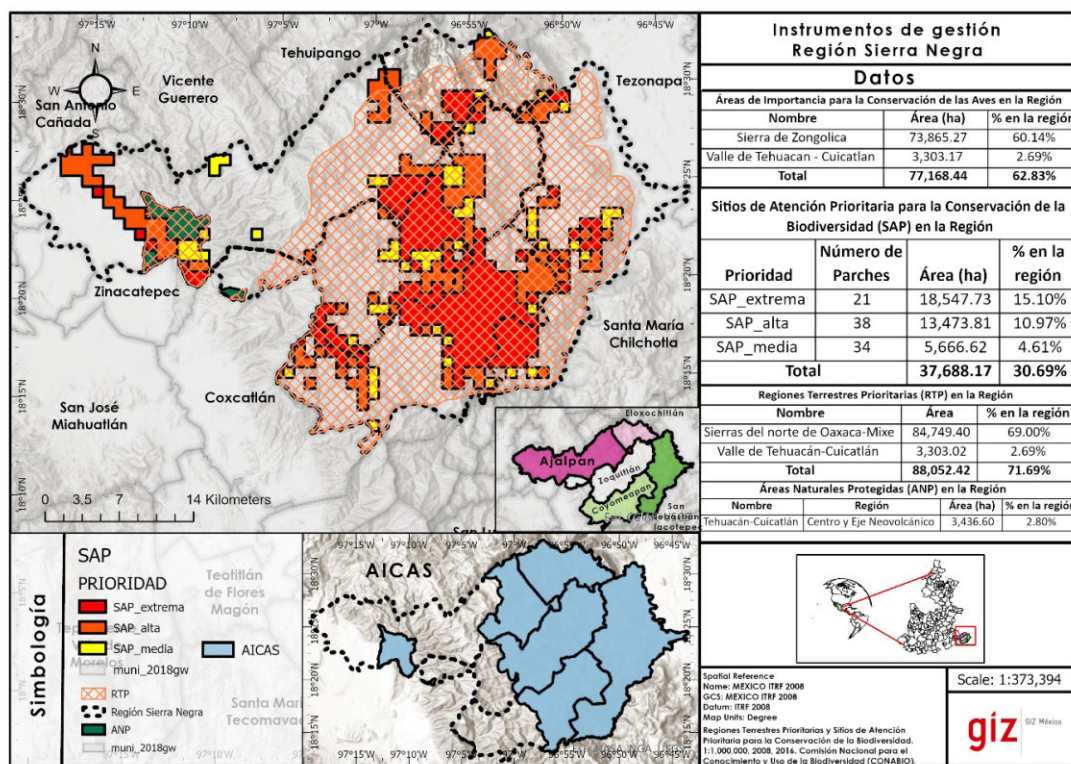


Figura 33. Instrumentos de gestión de recursos naturales conjunto Sierra Negra

La ausencia de instrumentos de gestión de recursos naturales que se asocien a planes de manejo dificulta lo antes comentado. Sólo un 2.8% de la superficie del conjunto pertenece al área natural protegida Reserva de la Biósfera de Tehuacán Cuicatlán, ello en el municipio de Ajalpan y Zoquitlán. No obstante, el

centro y este del conjunto se identifica como región terrestre prioritaria para la conservación, así como área de importancia para la preservación de las aves. Se sugiere atender dicha condición mediante esquemas formales de protección y producción sostenible.

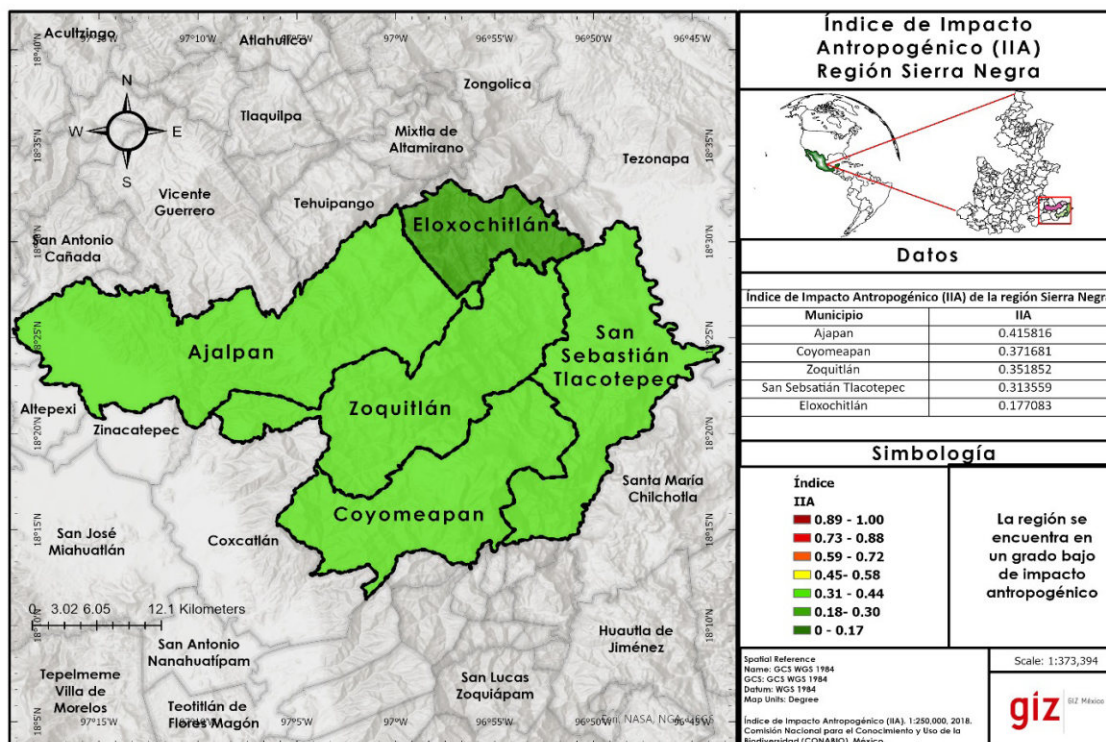


Figura 34. Índice de impacto antropogénico conjunto Sierra Negra

El índice de impacto antropogénico es aún medio-bajo en el conjunto, con excepción de la zona centro norte donde se ubica en valores bajos. Ello demuestra el potencial que se tiene en la zona para propiciar procesos tendientes a la sostenibilidad. El impacto

antropogénico tiene una importante relación con las funciones ecosistémicas, pues muchas veces deteriora las mismas, es entonces fundamental considerar perspectivas holísticas al momento de planear el desarrollo productivo del conjunto.

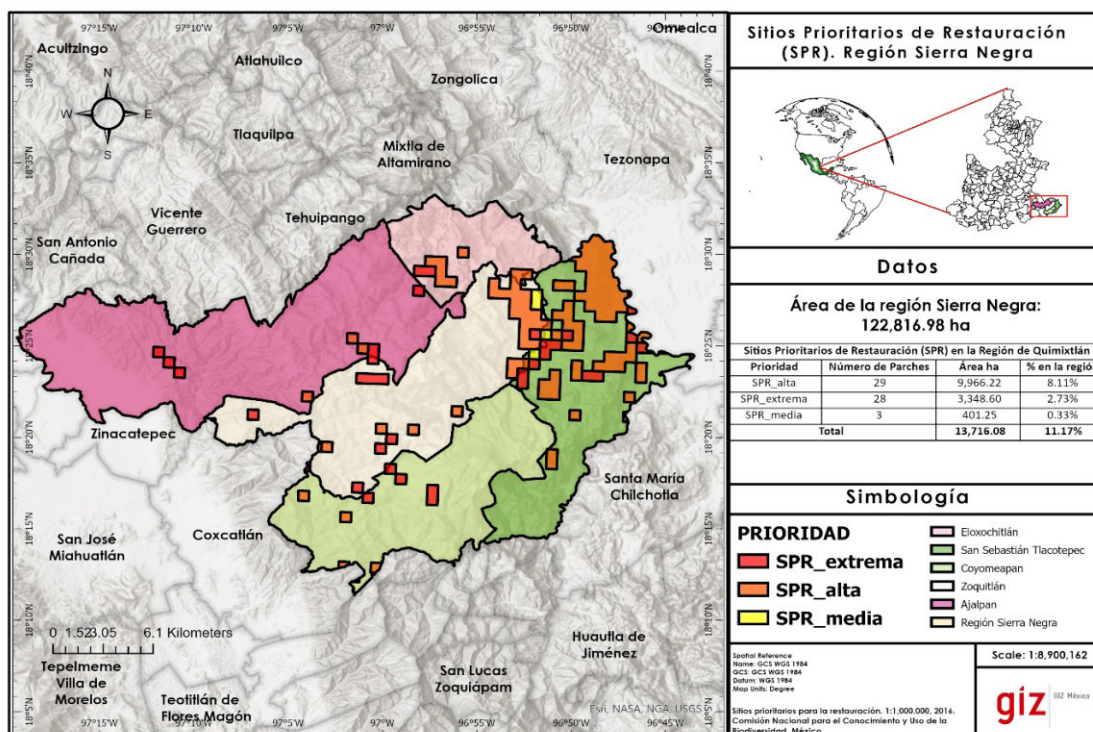


Figura 35. Sitios prioritarios de restauración conjunto Sierra Negra

Sólo un 11.1% del área del conjunto presenta prioridad de restauración, ello mayormente concentrado en los municipios de San Sebastián Tlaxiaco y Zoquitlán. Ya que el primero de los dos en comento es donde mayor volumen de producción de café se reporta por parte de la Secretaría de Desarrollo Rural en el conjunto, es importante considerar el vínculo que

puede existir entre la producción y la necesidad de restauración. Además, el correcto funcionamiento del ecosistema y la presencia de biodiversidad se asocia a la productividad en agroecosistemas (Liang *et al* 2016 u Oehri, 2017), por lo que emprender acciones de restauración en la zona podría tener efectos positivos para la actividad cafetalera.

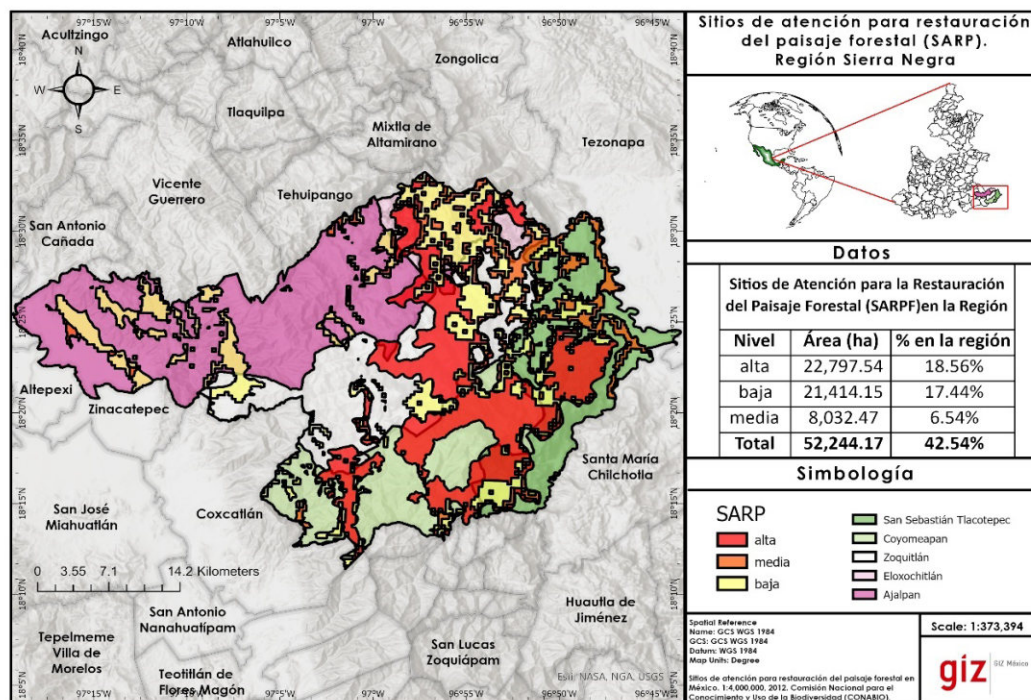


Figura 36. Sitios prioritarios de restauración del paisaje forestal conjunto Sierra Negra

No obstante, a nivel de paisaje forestal el conjunto presenta en el 42% de su superficie niveles variados de necesidad de atención, los mismos van de bajo a alto, perteneciendo el 18.56% del área total a ésta última categoría. Esta zona, ubicada principalmente en la

franja centro este del conjunto, implica un elevado potencial para la implementación de iniciativas de restauración del paisaje, lo que de llevarse a cabo puede tener efectos positivos en la conectividad del área bajo análisis.

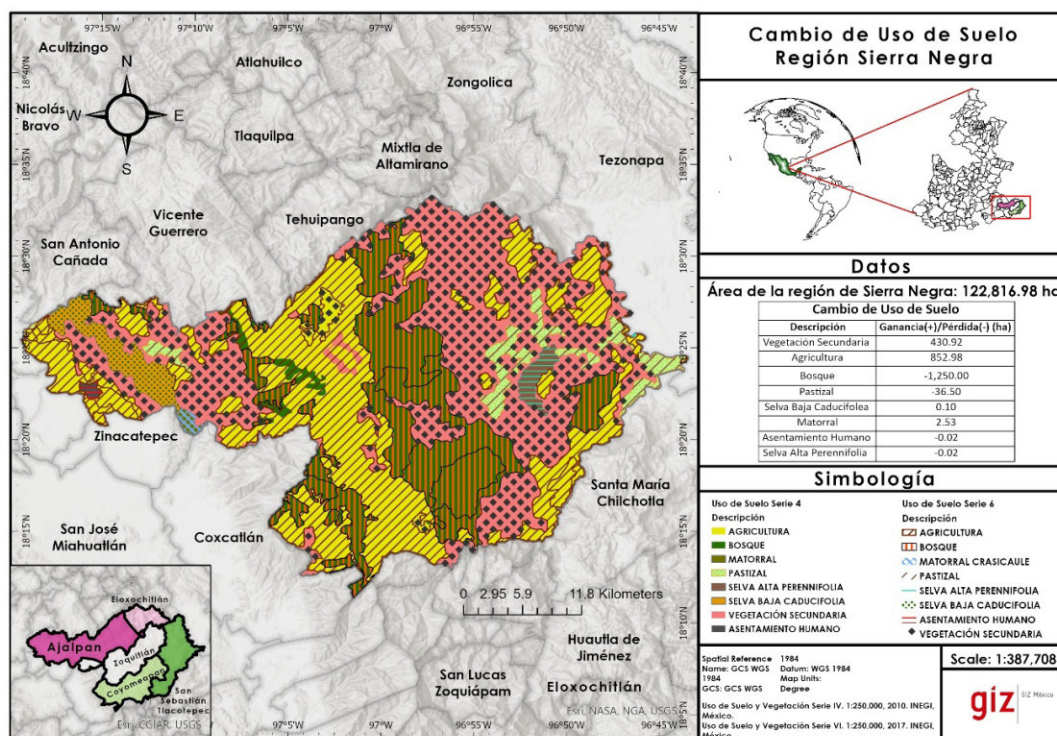
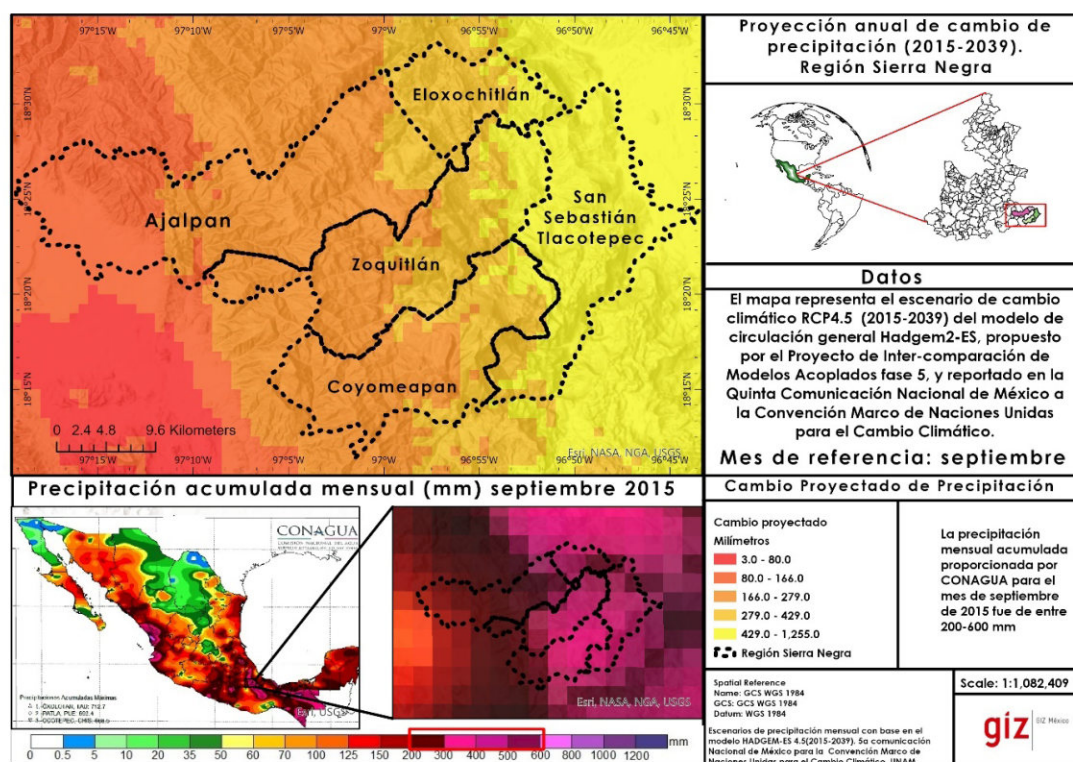


Figura 37. Cambio en el uso del suelo del conjunto Sierra Negra

Tras el análisis de cambio de uso de suelo practicado, es posible evidenciar que en el conjunto la selva baja y la selva alta han permanecido prácticamente iguales en un lapso de 7 años, así como los asentamientos humanos. Siendo el bosque el uso de suelo más afectado, reportando una pérdida de 1 250 ha, mismas que son coincidentes con las más de 852

ha ganadas en agricultura y las 430 ha sumadas a la condición de vegetación secundaria. En este sentido, es fundamental realizar acciones para revertir dicho patrón sobre todo en la región centro-oeste del área de análisis. La producción de café bajo sombra diversificada podría ayudar a ello.



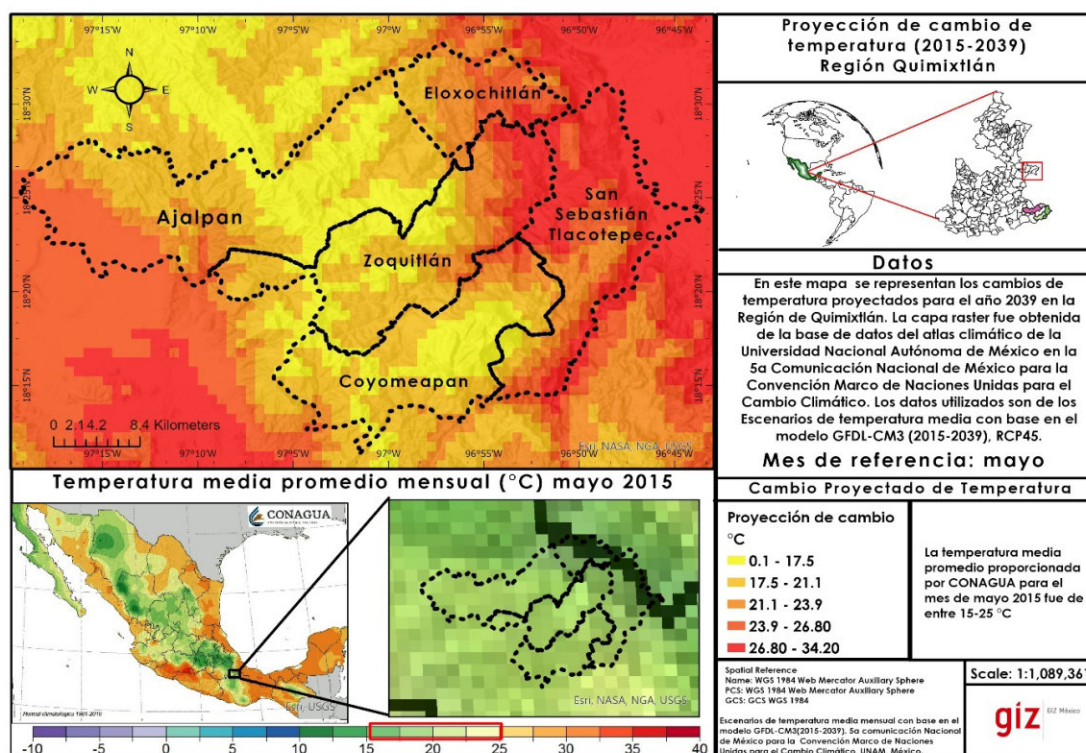


Figura 39. Proyección de cambio de temperatura del conjunto Sierra Negra

Respecto a la temperatura y su cambio proyectado, en el mes de mayo que se empleó como referencia para el presente análisis, se registra en el año base (2015) un valor máximo de 25 grados. No obstante, la proyección a 2039 contempla rangos superiores que van de entre los 26 a los 34 grados centígrados. Si ello ocurriese, la actual zona de mayor producción del conjunto dejaría

rangos óptimos de temperatura para la producción de café. Ya que la sombra diversificada-agroforestal se puede asociar al mejoramiento del microclima que circunda a los cultivos de café (Solorzano y Querales, 2010), ante el escenario de cambio previsto, esta práctica debería mantenerse y/o estimularse en el conjunto bajo análisis.

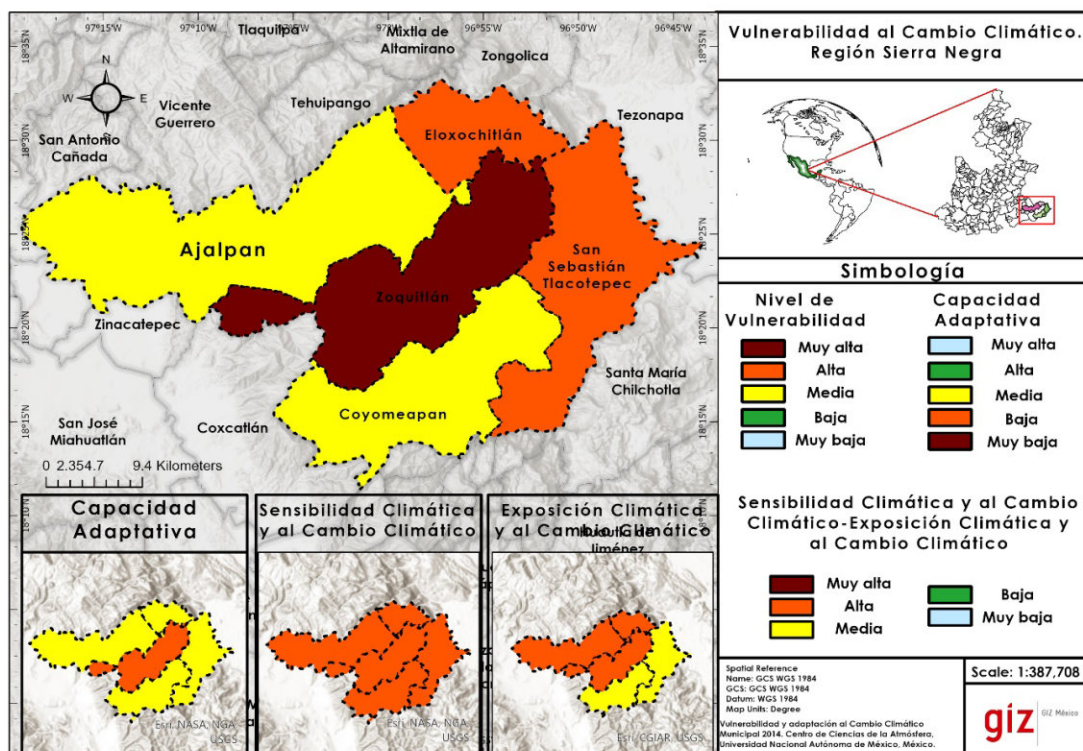


Figura 40. Vulnerabilidad ante el cambio climático del conjunto Sierra Negra

La vulnerabilidad al cambio climático del conjunto estudiado es de media a muy alta, siendo mayor en el municipio de Zoquitlán, seguido de San Sebastián Tlacotepec y Eloxochitlán. Estos municipios presentan además una capacidad adaptativa baja y media, respectivamente. Todo el conjunto posee una sensibilidad alta. Dada la totalidad de condiciones hasta ahora descritas para la zona de estudio, es prioritario

establecer acciones tendientes a elevar la capacidad de adaptación al mismo ante los escenarios futuros de cambio climático, lo que puede ser coincidente con acciones de restauración del paisaje forestal, fomento a la conectividad ecológica, promoción de sistemas encaminados a la reducción de la erosión hídrica y producción bajo sombra diversificada.

CONJUNTO SIERRA NORORIENTAL

Este conjunto está formado por tres regiones cafetaleras que comprenden en total a 24 municipios de la entidad. Las regiones que le integran son Huehuetla, con diez municipios; Zacapoaxtla, con seis y Teziutlán con ocho (Ver Tabla 1).

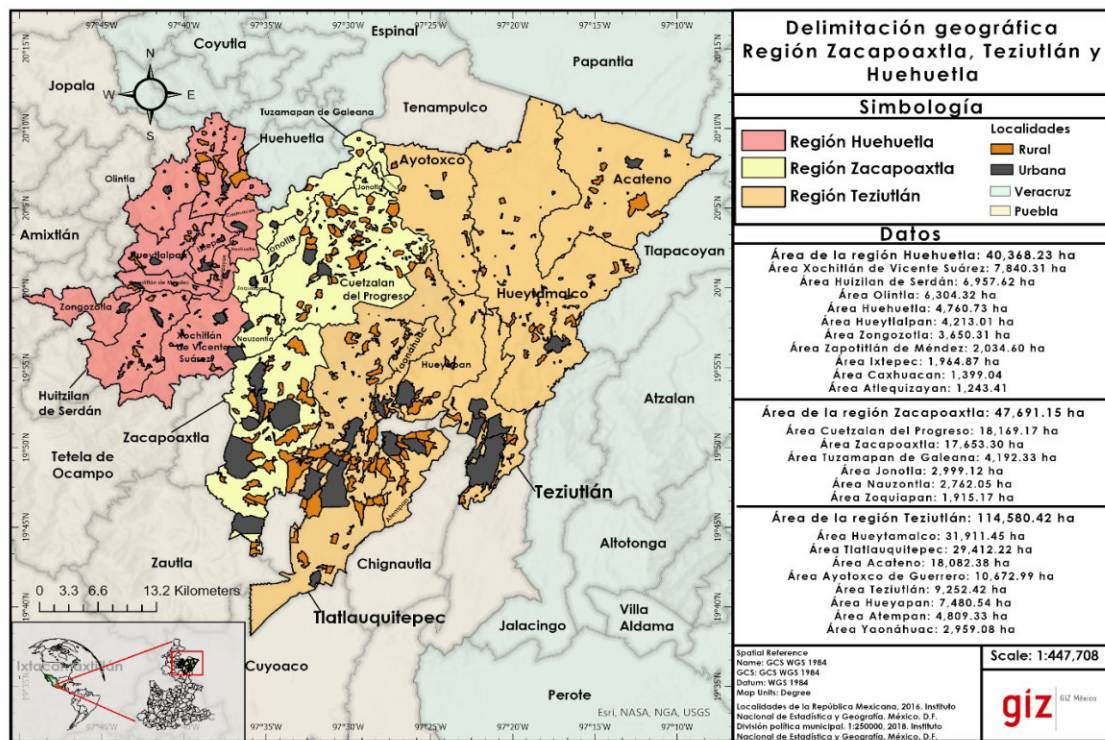


Figura 41. Delimitación Geográfica conjunto Sierra Nororiental

En términos de su superficie, la región más grande del conjunto es la de Teziutlán; también es la que presenta mayor área de localidades urbanas y rurales. Le siguen la de Zacapoaxtla y Huehuetla. No obstante, si se toma en consideración la densidad de dichas áreas respecto al tamaño de la región, para las localidades rurales el

orden es inverso. Esto refleja que, si bien la región de Huehuetla es la que cuenta con menor cantidad de hectáreas, es a su vez la que más localidades rurales tiene por hectárea. La región que más localidades urbanas tiene por hectárea es la de Teziutlán.

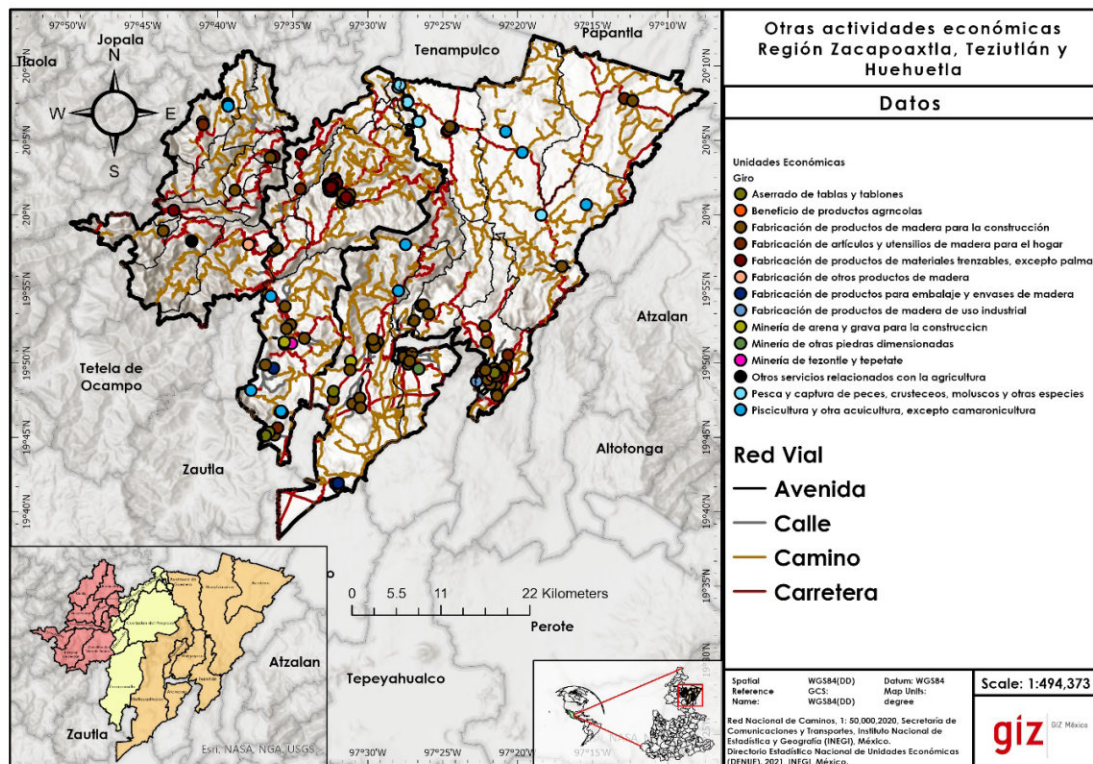


Figura 42. Otras actividades económicas conjunto Sierra Nororiental

El conjunto presenta una elevada cantidad de actividades económicas ligadas a la gestión de recursos naturales como son: el aserrado de tablas, la fabricación de productos de madera, el beneficio de actividades agrícolas, la minería y la piscicultura. La zona se encuentra interconectada por una densa red de carreteras y caminos, sobre todo en la porción centro y oeste. Es la porción sur del conjunto y en especial en las regiones de Teziutlán y Zacapoaxtla

donde se concentra la actividad productiva, que es, a diferencia de los conjuntos previamente descritos, mucho más densa y diversificada. Esta diversificación implica potenciales tensiones entre las demandas y desechos del metabolismo productivo, lo que a su vez confiere mayor complejidad para la gestión integrada del paisaje. No obstante, es quizá en estas condiciones donde dicha forma de manejo del territorio es más pertinente.

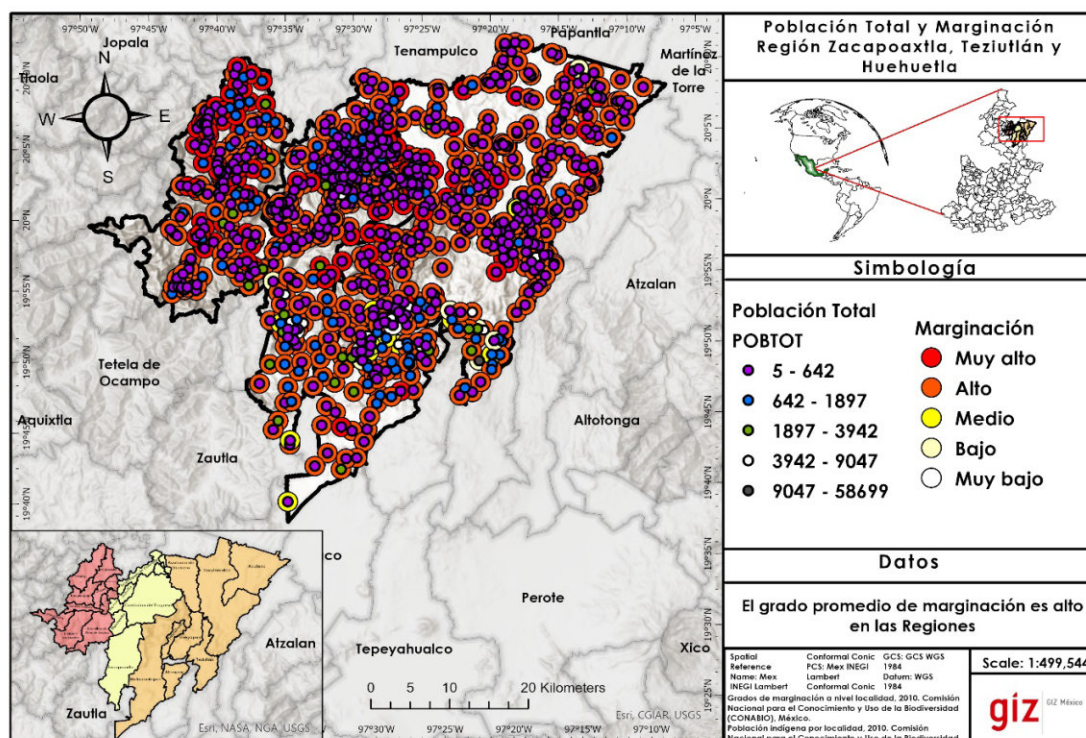


Figura 43. Población Indígena y marginación conjunto Sierra Nororiental

El conjunto se encuentra ocupado por una elevada presencia de grupos originarios, lo que se refleja en la distribución espacial de hablantes de lenguas indígenas, siendo ésta uniforme en la totalidad del mismo. La mayoría de los datos reportados corresponden a poblaciones con menos de 650 hablantes de alguna lengua originaria. Los grados de marginación asociados van de muy bajo hasta muy alto. Es importante tomar en consideración que en este conjunto se presenta el municipio productor de café más discreto de la entidad, Zacapoaxtla, con apenas 50.7 toneladas reportadas por la Secretaría

de Desarrollo Rural de la entidad para el 2019. El municipio que cuenta con mayor volumen de producción reportado en el conjunto es Hueytamalco (9 276.73 toneladas en 2019), seguido por Cuetzalan del Progreso (9 118.65 toneladas en 2019) y posteriormente por Huitzilán de Serdán (3 887.25 toneladas en 2019), siendo estos el quinto, sexto y onceavo municipio de mayor producción de la entidad tomando como referencia el año 2019. Cabe destacar que cada uno de estos tres municipios pertenece a una región distinta del conjunto.

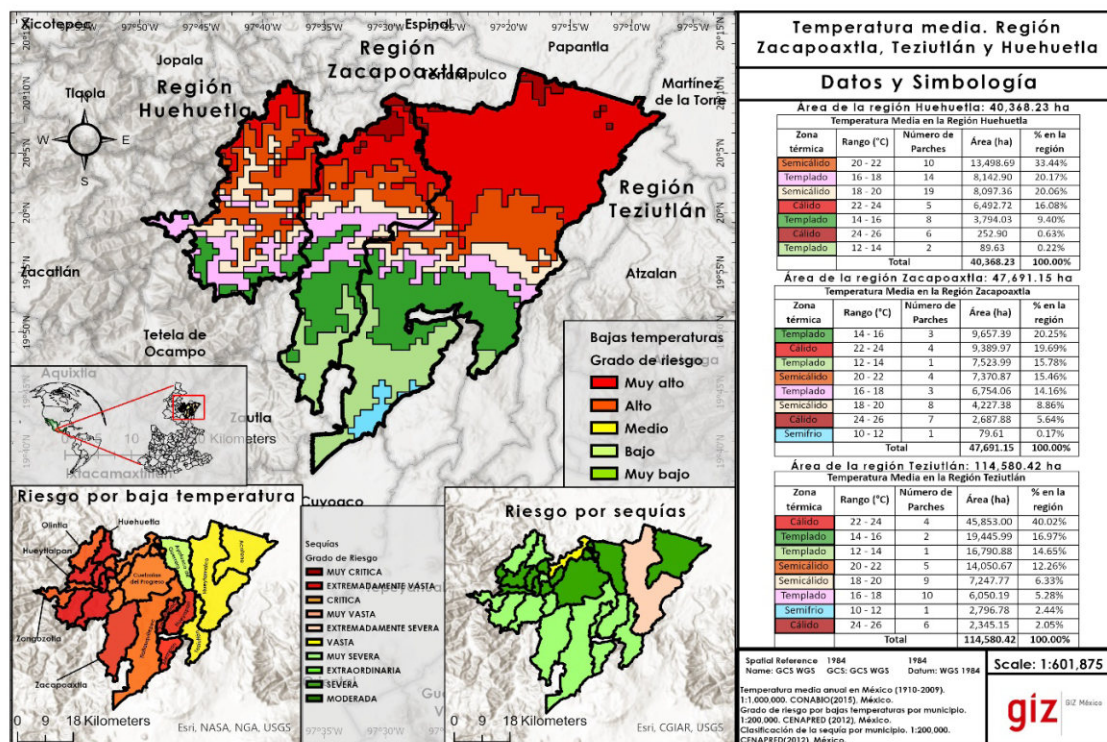


Figura 45. Temperatura media conjunto Sierra Nororiental

Las temperaturas medias varían en el conjunto en un sentido norte a sur, siendo la parte más norteña del mismo la que presenta condiciones mayormente cálidas, en las tres regiones que le conforman. Aquí se ubican medias anuales de 20 a 24 grados centígrados, lo que coincide con la parte superior del rango de temperaturas óptimas para la producción de café (Solorzano y Querales, 2010). El riesgo por bajas temperaturas es de medio a muy alto en el conjunto, distribuyéndose en una gradiente de este a oeste. Por

su parte, el grado de riesgo por sequía puede presentar condiciones importantes de severidad sobre todo en la porción norte del conjunto. Estos riesgos deben ser considerados en los procesos de planeación para el desarrollo de la actividad cafetalera del conjunto, pues sin duda se puede ver afectado por el cambio climático, condición que se constituye en una de las principales causas del desaliento de la producción en el país (Alfonse *et al*, 2018).

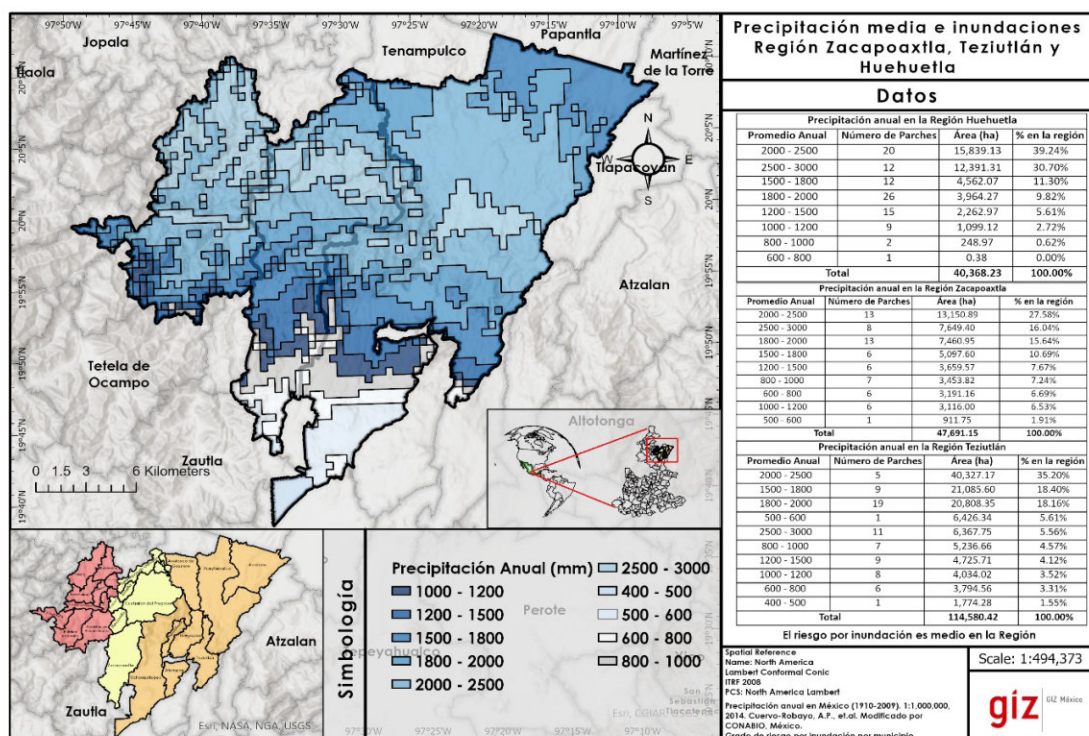


Figura 46. Precipitación media conjunto Sierra Norte

El rango de precipitación media anual es variable en el conjunto, presentando valores que van desde los 400 hasta los 3 000 mm de lluvia. En base a Solorzano y Querales (2010), el 40% del territorio de análisis presenta condiciones de lluvia óptimas para el

cultivo de café. De forma independiente, la región de Teziutlán cuenta con un 44% de su superficie inserta en áreas con parámetros de pluviosidad ideales para la producción cafetalera. Le sigue Zacapoaxtla con un 40.5% y Huehuetla con 29.4%.

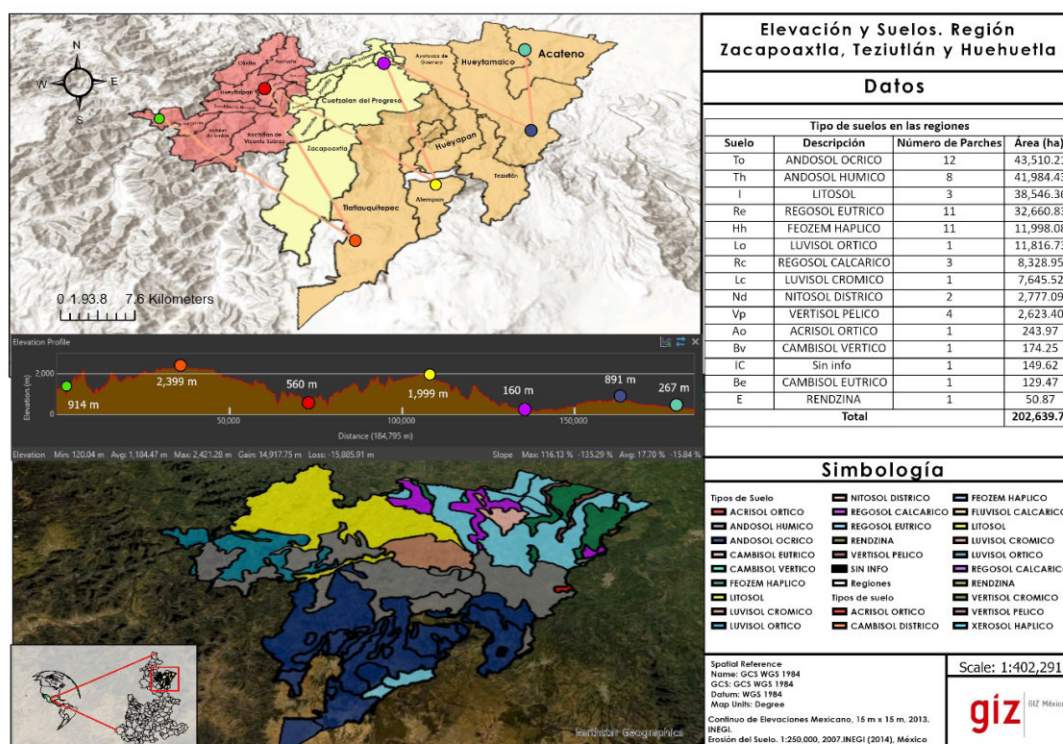


Figura 47. Elevación y suelos conjunto Sierra Nororiental

El conjunto presenta condiciones de altitud diferenciadas, no obstante, en lo general este parámetro disminuye hacia la porción noreste. Es importante considerar que la mayor parte de la producción de café en México se basa en la especie *Coffea Arabiga* (Cámara de diputados, 2018). Sin embargo, las zonas bajas son aptas para el cultivo de *Coffea canephora* (Robusta) (Velásquez, 2019). Los tipos de suelo presentes en el conjunto son igualmente diversos, pero tanto el andosol como el litosol son los

más dominantes; en conjunto superan el 61% del área de estudio. Como se ha dicho los andosoles tienen un elevado potencial agrícola, siendo fáciles de cultivar por sus buenas propiedades de enraizamiento. Por su parte, los litosoles son aptos para usos forestales, siendo más fértiles en las colinas. En ambos casos, la erosión es un problema importante, siendo la agroforestería y la conservación de bosques asociados a los mismos una opción promisoría para su adecuado manejo (FAO, 2008).

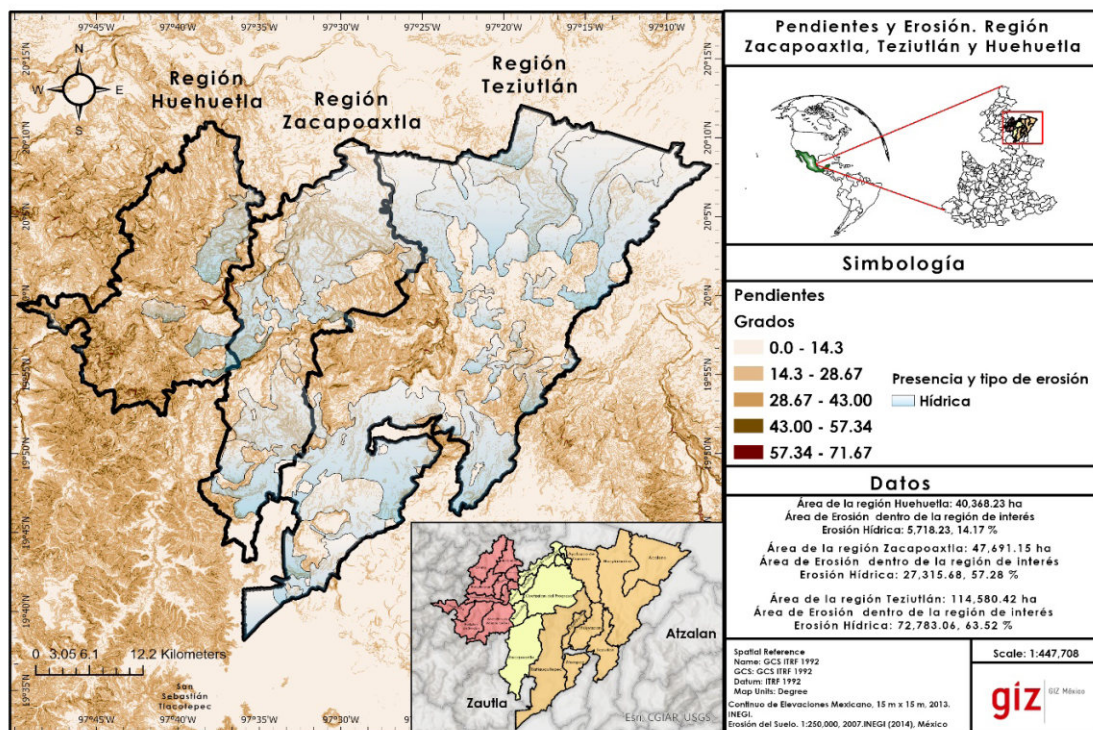


Figura 48. Pendiente y erosión, conjunto Sierra Nororiental

Como se ha mencionado, la elevación tiende a disminuir en el conjunto conforme más se tiene al flanco noreste, ello en la región cafetalera de Teziutlán. Siendo ésta la que mayor superficie total erosionada por factores hídricos presenta, le sigue la región de Zacapoaxtla y por último la de Huehuetla. La combinación de alturas, con la presencia del tipo de suelo ya descrito en la zona de análisis, así como

la erosión que en esta se encuentra, hacen prioritaria la implementación de acciones que busquen contrarrestar la pérdida del potencial productivo, sobre todo si se considera que las tres regiones poseen municipios productores de café que se ubican entre los de mayor volumen generado dentro de la entidad, de acuerdo a los datos proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla.

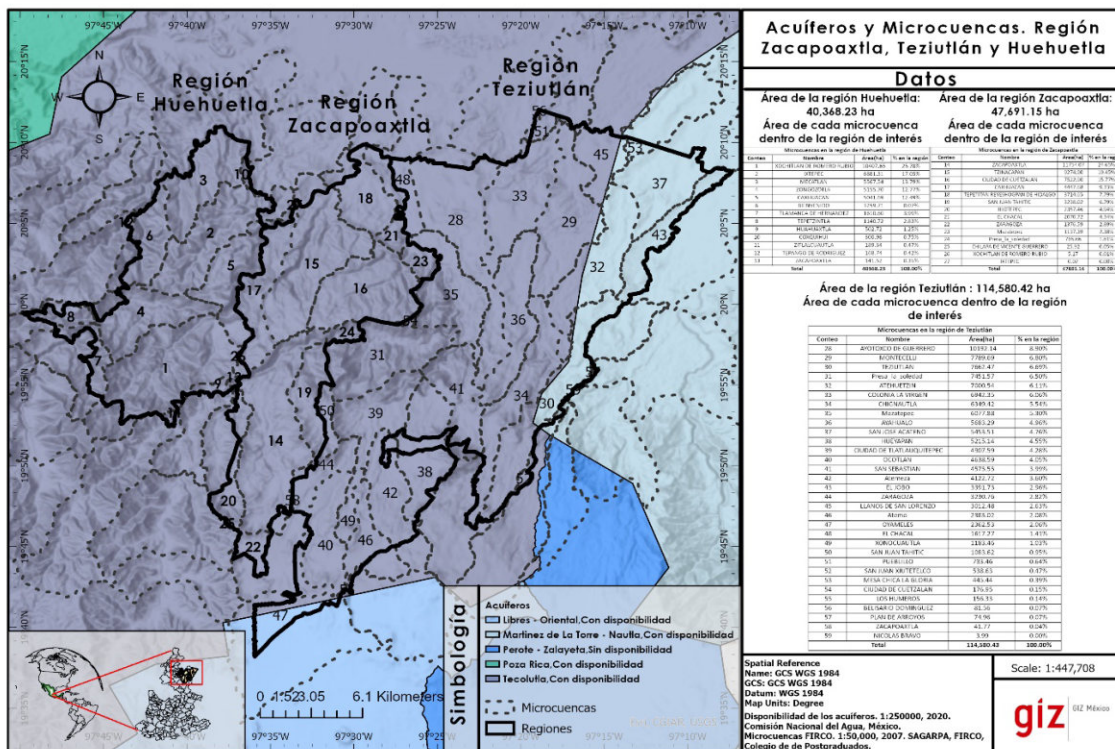


Figura 49. Microcuencas conjunto Sierra Nororiental

Son 48 las microcuencas que se encuentran total o parcialmente dentro de la región y tres los acuíferos implicados, todos con disponibilidad hídrica. Aunado a lo ya comentado respecto al abordaje del paisaje cafetalero desde referentes territoriales como las microcuencas, es posible indicar que el uso de este

sistema permite la delimitación de los componentes relativos a la transformación del funcionamiento hidrológico, potenciando la identificación de elementos de gestión, así como propiciando la atención de actores en torno a las problemáticas del recurso hídrico (Calderón y Rodríguez, 2018).

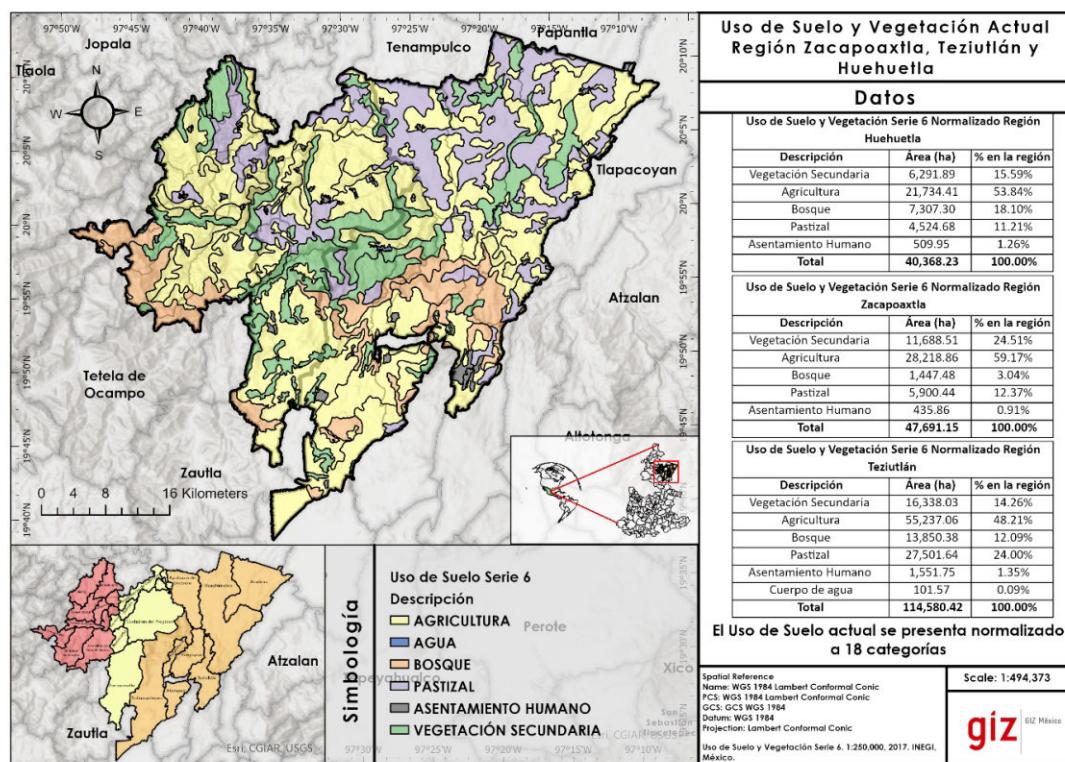


Figura 50. Uso de suelo actual conjunto Sierra Nororiental

El uso de suelo del conjunto está dominado principalmente por agricultura, pastizal y vegetación secundaria. Existen remanentes en una franja inconexa al centro del mismo con fragmentos en las tres regiones que le integran. Esta cobertura representa apenas el 11% de la superficie bajo estudio.

Considerando que en paisajes cafetaleros las diversas prácticas agrícolas y/o productivas van transformando la cobertura vegetal y las condiciones de la tierra (Montes *et al*, 2018), en el conjunto bajo análisis es de suma importancia modificarlas para revertir el patrón de ocupación de suelo que se observa.

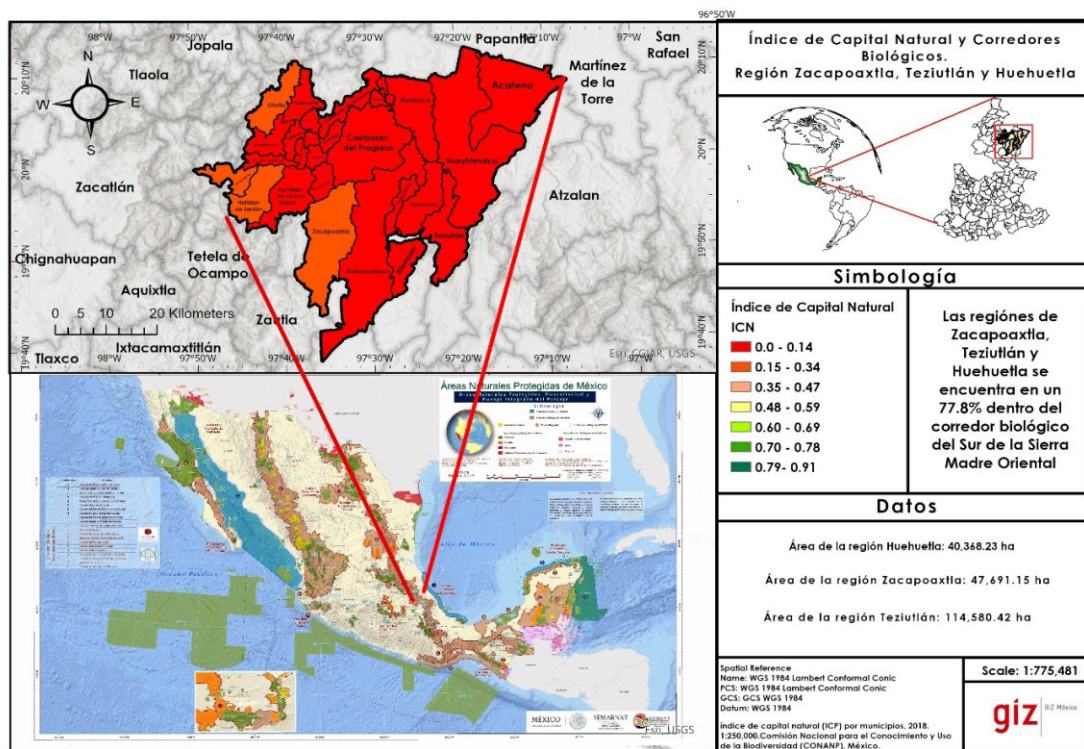


Figura 51. Índice de capital natural y conectividad conjunto Sierra Nororiental

La condición antes descrita se refleja claramente en el índice de capital natural del conjunto, que es bajo en la totalidad de éste. No obstante, un 77.8% se encuentra en el corredor ecológico de la Sierra Madre Oriental, por lo que la zona tiene importante influencia en la conectividad a nivel regional. En ese sentido fomentar la conexión estructural y funcional a nivel ecosistémico es una tarea a atender si se pretende incrementar el valor de la zona respecto al indicador

descrito. Es importante hacer notar que, de los tres conjuntos estudiados hasta este punto, el presente es el que menor capital natural posee. Ya que el cultivo de café, al ser realizado bajo sistemas tradicionales diversificados, se puede asociar a diversos grupos biológicos fomentando la conservación de los mismos (Anta, 2006), una correcta gestión de la actividad podría generar un efecto positivo en el área.

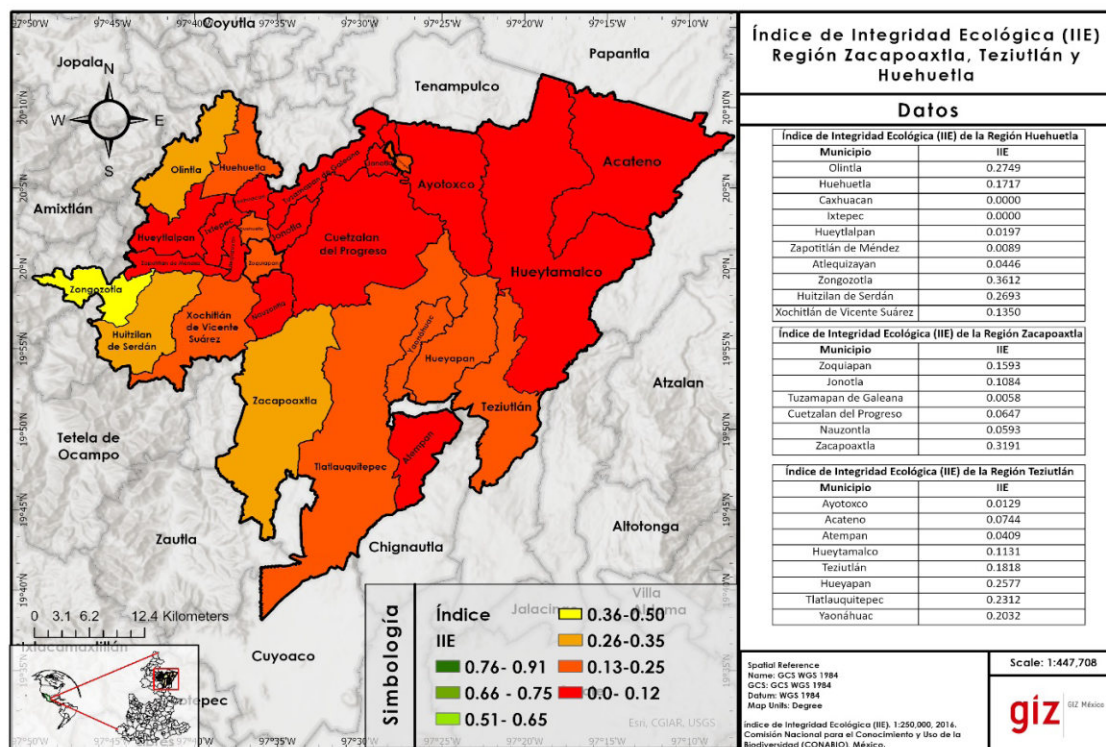


Figura 52. Índice de integridad ecológica conjunto Sierra Nororiental

El índice de integridad ecológica igualmente presenta rangos de medio bajo a muy bajo, la zona que reporta menores valores se ubica al noreste del conjunto. Esta zona es coincidente con la que presenta menores valores de capital natural y ausencia de bosque primario. Los municipios con mayor producción cafetalera de cada una de las regiones productoras del conjunto se ubican en dicha condición. En ese

sentido, ya que se ha demostrado que la producción de café bajo sombra preserva y aumenta la biodiversidad nativa, al fungir como refugio para plantas y animales locales, comparado con otros sistemas como el intensificado, es precisamente ésta una forma de estimular la recuperación, al menos parcialmente de la integridad ecológica del área bajo análisis (Rojas, 2012).

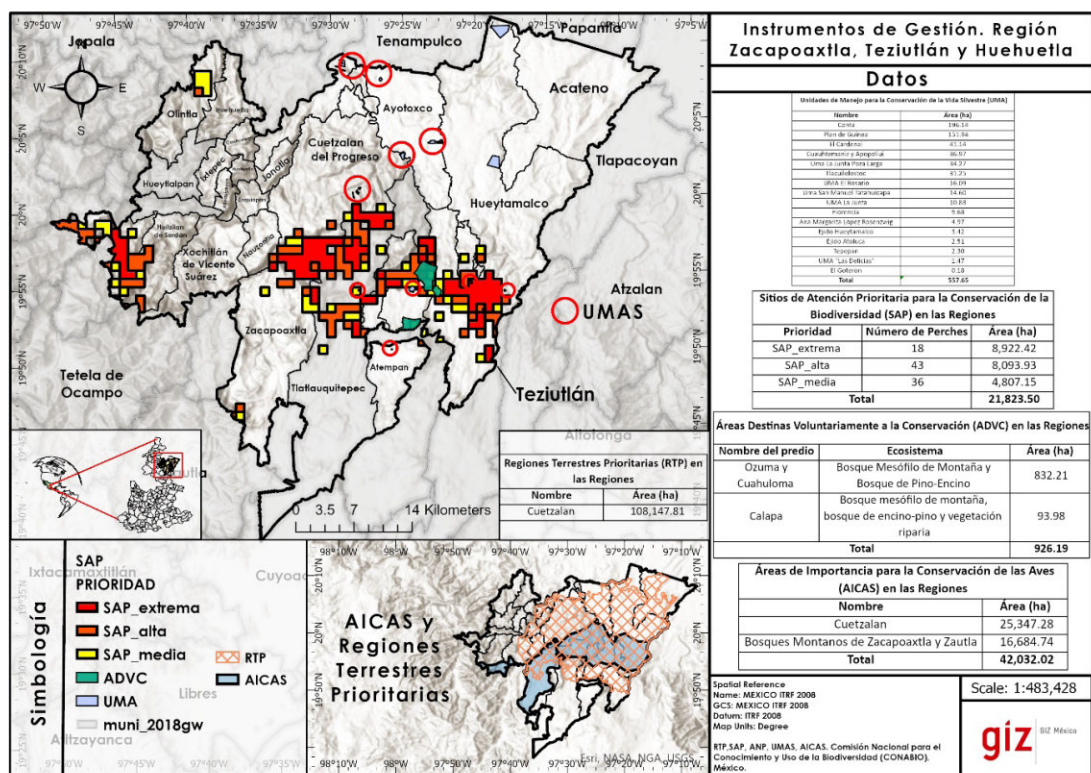


Figura 53. Instrumentos de gestión de recursos naturales conjunto Sierra Nororiental

Si bien los resultados previos evidencian una alta degradación ambiental en el conjunto bajo análisis, es digno de reconocimiento que el 53% del área es considerada una región terrestre prioritaria. De igual manera el 21% se cataloga como área de importancia para la conservación de las aves y el 11% como sitio prioritario para la conservación. No obstante, sólo el 0.73% del territorio cuenta con un esquema formal de protección de recursos naturales (0.46% de áreas destinadas voluntariamente a la conservación y 0.28% comprendido en Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida

Silvestre - UMAS). Los agroecosistemas cafetaleros asociados a vegetación estratificada (árboles, arbustos, herbáceas) ayudan a mantener la riqueza biológica, siendo capaces de sostener comunidades diversas al proveer fuentes de alimentación, anidamiento, entre otros aspectos, particularmente en el caso de las aves migratorias que fungen como refugio (Rojas, 2012). Ya que una quinta parte del territorio, como se ha podido ver en el presente análisis, podría tener importantes implicaciones para la conservación de las aves, la presencia de cafetales bajo sombra puede resultar positiva.

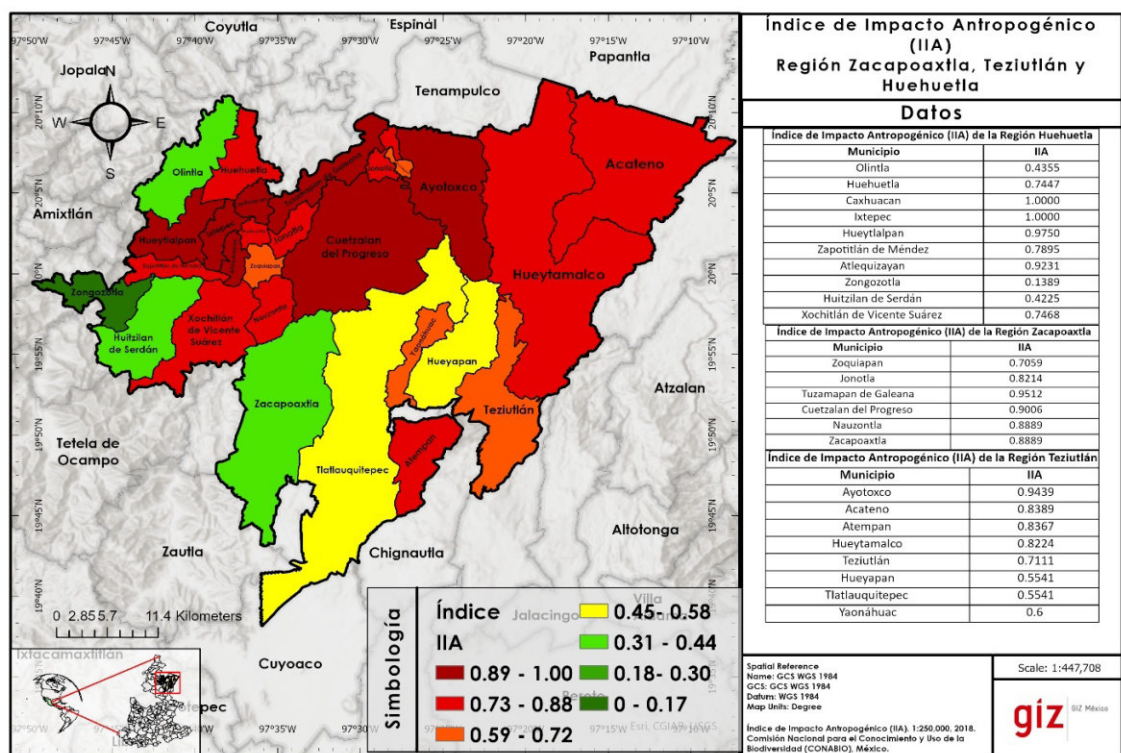


Figura 54. Índice de impacto antropogénico conjunto Sierra Nororiental

El impacto antropogénico en el conjunto es sumamente variado. Existen al oeste del mismo zonas con muy bajo impacto, al sur con medio, así como la franja norte y este con alta y muy alta transformación antrópica. La transformación del paisaje es una respuesta, en muchas ocasiones, ante la presión que genera la demanda del ser humano por satisfacer necesidades básicas, siendo la expansión agrícola una de las principales fuerzas de su cambio (Rojas, 2012).

Hecho que es coincidente con la zona bajo estudio, pues son precisamente las zonas de mayor índice de transformación antropogénica las que coinciden con el mayor uso de suelo destinado a la agricultura. Dichas transformaciones modifican la oferta de servicios ambientales y beneficios derivados, por lo que en ese contexto el cultivo de café bajo sombra, entendido como un sistema productivo amigable con el entorno (Guhl, 2009) puede propiciar un contrapeso.

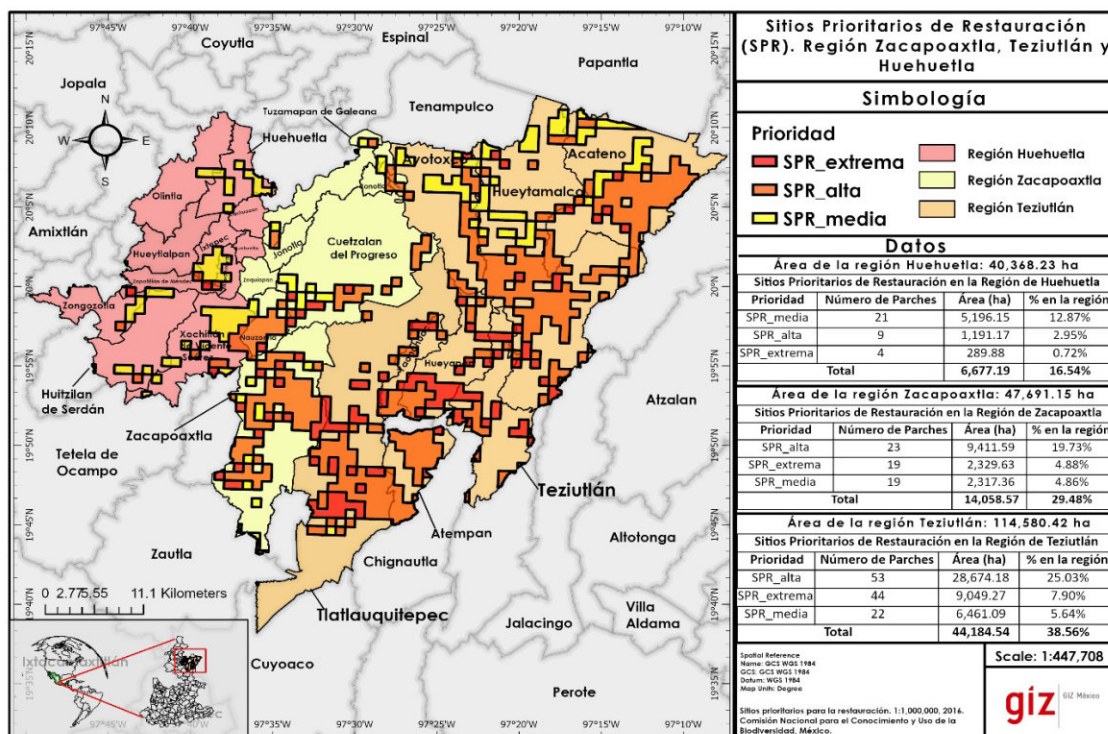


Figura 55. Sitios prioritarios de restauración conjunto Sierra Nororiental

En el conjunto, la región cafetalera de Huehuetla es la que menor porcentaje de sitios prioritarios para la restauración presenta, siendo la mayoría de estos de categoría media. Le sigue la región de Zacapoaxtla, que cuenta con un 29.4% de su superficie categorizada bajo prioridad de atención para la restauración; el 19.7% tiene prioridad de alta. Por último, la región de Teziutlán posee el 38% de su área total bajo algún grado de categorización para la restauración y el 25%

en categoría alta, lo que implica que las labores de restauración deben ser consideradas para el desarrollo de múltiples iniciativas y en la toma de decisiones asociadas. Además, es importante considerar que los procesos de restauración pueden tener efectos positivos en los cafetales, por ejemplo, el instalar parches de bosque nativo entre fincas puede ayudar a disminuir la proliferación de la broca a nivel regional (Gallardo, 2013).

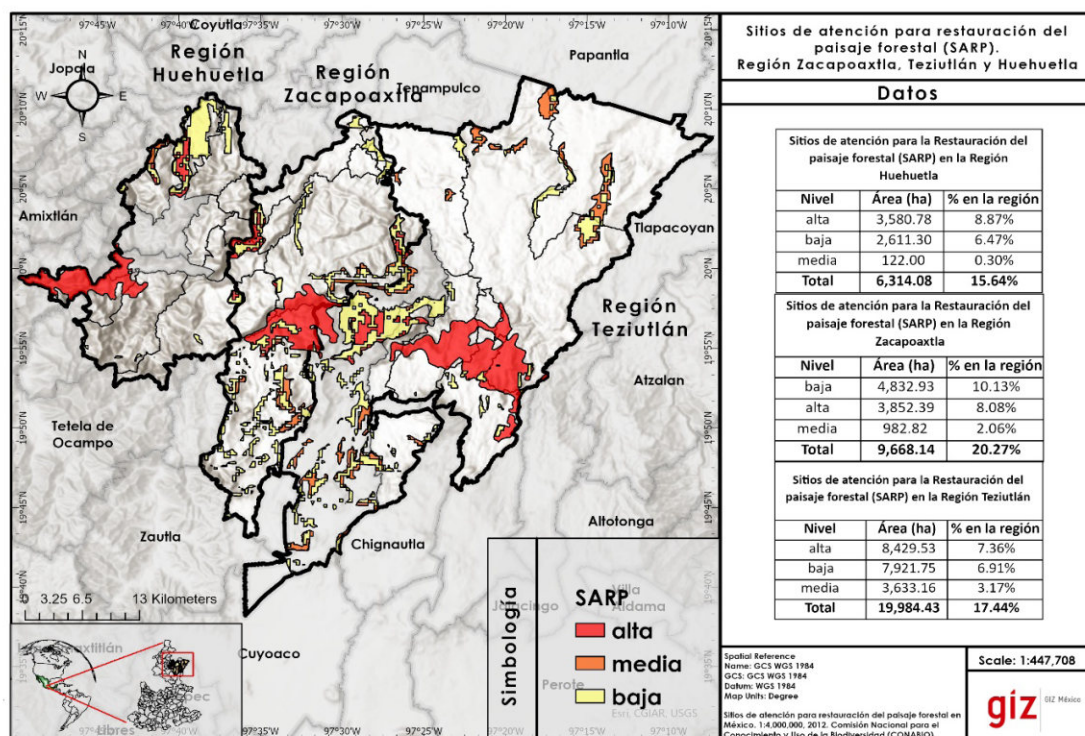


Figura 56. Sitios prioritarios de restauración del paisaje forestal conjunto Sierra Nororiental

A diferencia de la condición general de zonas de restauración, la categorización específica para la restauración forestal en el conjunto bajo estudio implica mayores áreas destinadas en la región de Zacapoaxtla, donde el 20.2% del territorio presenta condiciones propias para dicho fin. Le sigue Teziutlán con el 17.4% y por último la región cafetalera de

Huehuetla. Ya que los sistemas agroforestales a los que se vincula la producción de café pueden incluir muchas especies, comparado con monocultivos o reforestaciones tradicionales, los cafetales y lo forestal pueden complementarse y, como se ha visto, beneficiarse mutuamente (Gallardo, 2013).

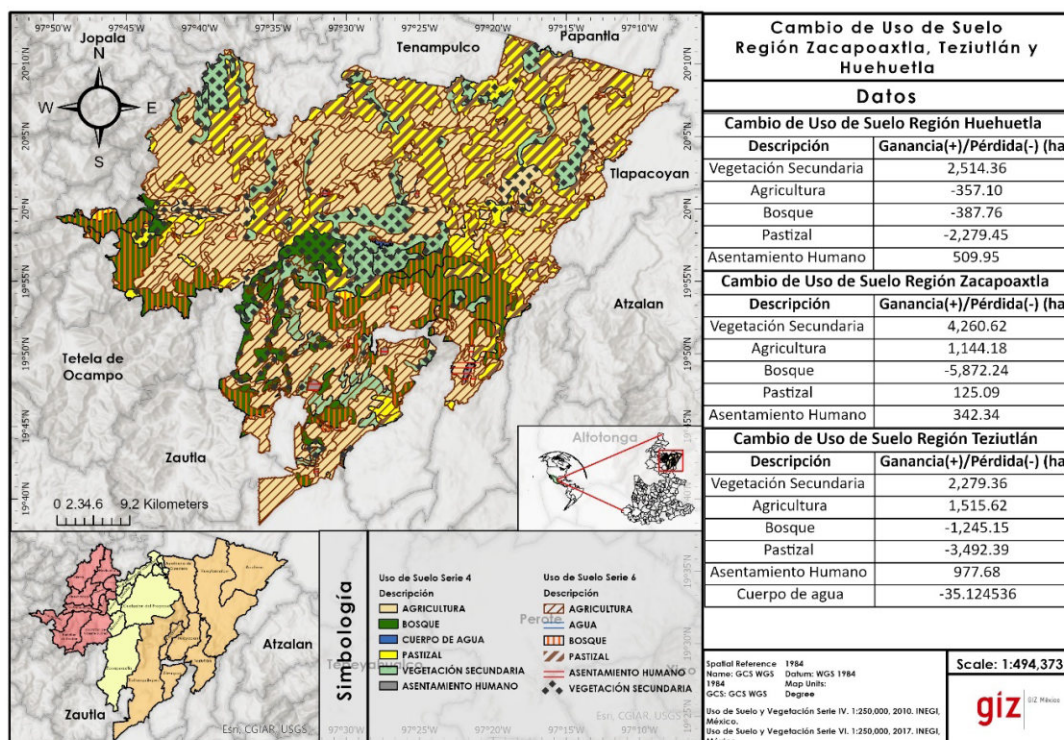


Figura 57. Cambio en el uso del suelo del conjunto Sierra Nororiental

La transformación del paisaje en este conjunto ha implicado una pérdida de más de 7 500 ha de bosque en siete años. Esta superficie si bien representa el 4% de la superficie total del paisaje, es equivalente al 33% del área boscosa remanente. De continuar esta tendencia, es factible que los fragmentos de bosque que aún se encuentran en el territorio desaparezcan en el mediano plazo, por lo que es prioritario buscar medidas de fomento a la recuperación de la cobertura vegetal arbolada. Los mayores decrementos han sido en la región de Zacapoaxtla, donde se han perdido 5 872 ha de bosque lo que representa el 12% de la

superficie de la región, pero más del 400% de la cantidad de bosque remanente. De continuar este ritmo de pérdida de cobertura boscosa la permanencia de la misma estaría comprometida en el corto plazo. Le sigue la región de Teziutlán, donde los bosques disminuyeron en 1 245 ha, siendo esta área el 1% de la superficie de la región y el 9% de la vegetación boscosa remanente. Por último, se ubica la región de Huehuetla con una disminución de 387 ha de bosques, lo que equivale aproximadamente al 1% de la superficie, así como el 5% del área de bosque que persiste.

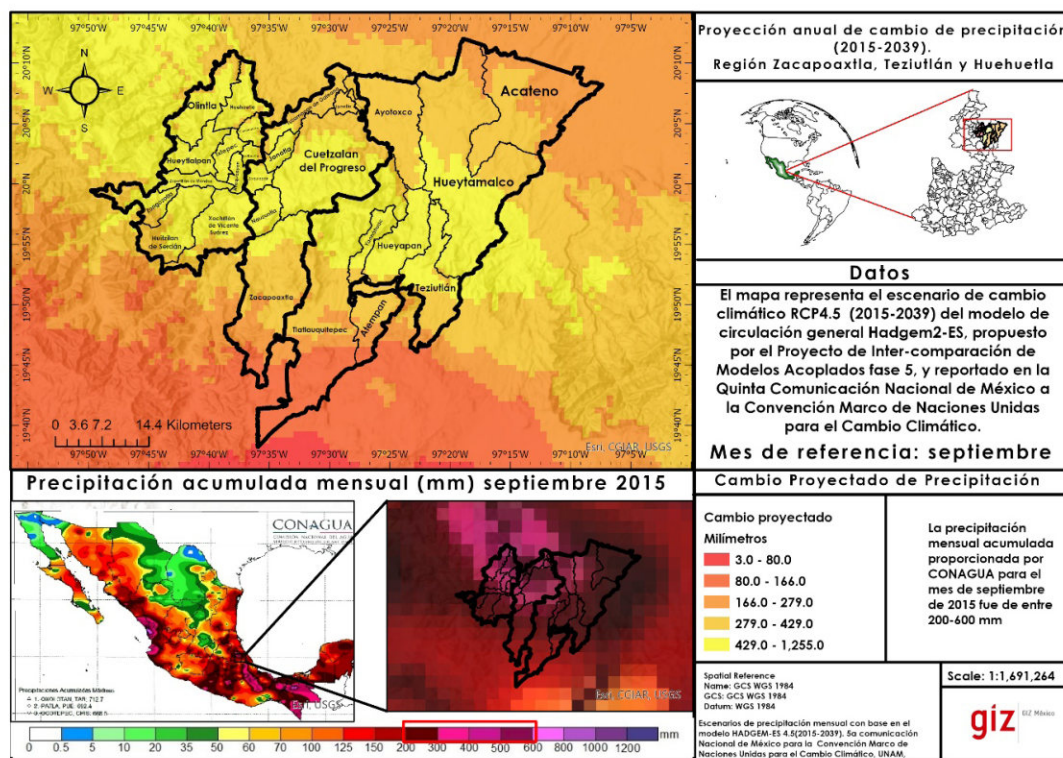


Figura 58. Proyección de cambio de precipitación del conjunto Sierra Nororiental

El conjunto presenta una precipitación que va de 200 a 600 mm durante el mes de referencia (septiembre), pero para el año 2039 bajo escenarios de estabilización de gases de efecto invernadero (RCP4-5 modelo Hadgem2-ES), se prevé que estos puedan ser de 80 hasta más de 1 200 mm. La parte central de las tres regiones que conforman la zona de estudio reporta una proyección que incrementa en un 25% el rango

mínimo de lluvia que hoy se reporta, pero en más del 100% el máximo, lo que significa un aumento sensible en la pluviosidad. Es este tipo de condiciones lo que en suma a lo hasta ahora presentado, generan la necesidad de realizar acciones contundentes en torno a la adaptación al cambio climático que se prevé para la zona.

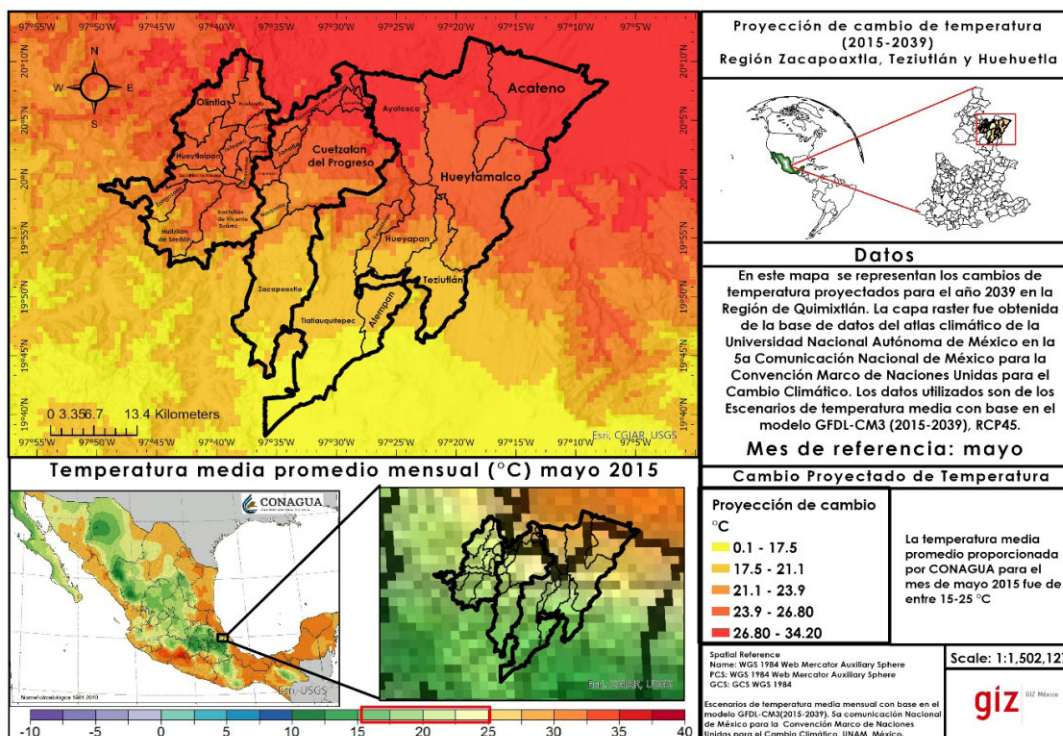


Figura 59. Proyección de cambio de temperatura del conjunto Sierra Nororiental

Respecto a la temperatura, la proyección empleada para el presente estudio, en la que se toma al mes de mayo como periodo de referencia, arroja un incremento en el valor máximo que se presenta actualmente, sobre todo en la porción norte del conjunto bajo análisis, ello a lo largo de las tres regiones que integran el mismo. El extremo sur del conjunto no se vería afectado por las modificaciones

de temperatura asociadas al cambio climático, ya que la variabilidad interanual en la productividad del café está relacionada primordialmente con la variación climática, pues ésta afecta el estadio fenológico de las plantas (Rivera, 2013). Tomar en cuenta las proyecciones de modificación en los factores climáticos ayudará a generar medidas certeras de adaptación de prácticas en la zona bajo estudio.

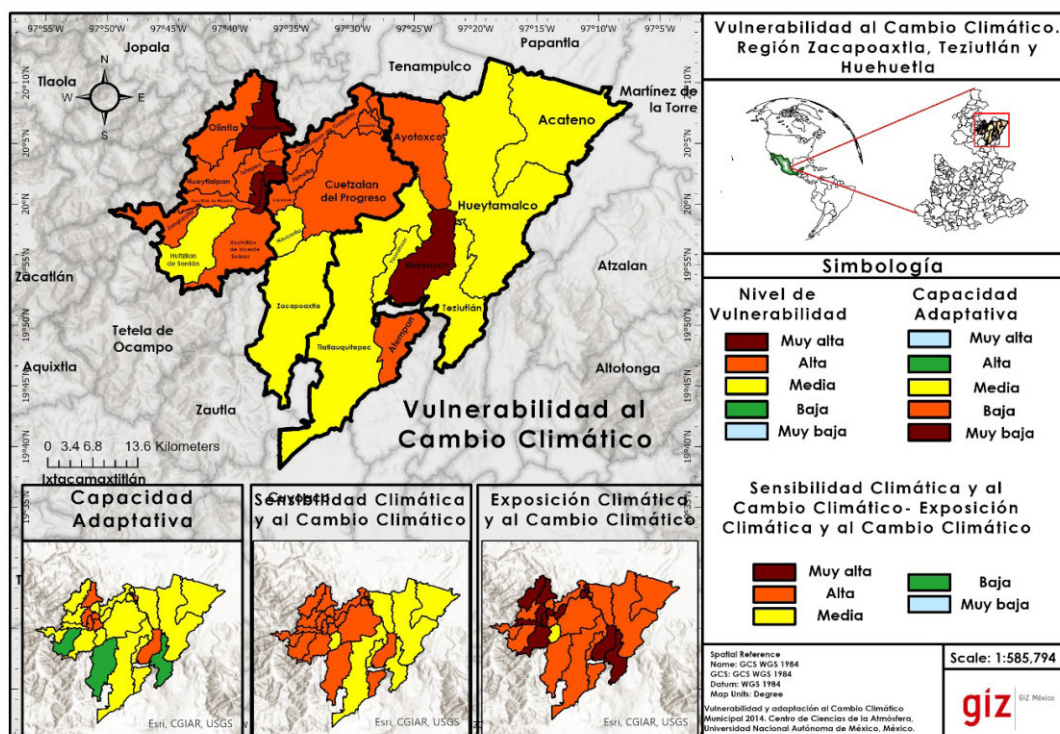


Figura 60. Vulnerabilidad ante el cambio climático del conjunto Sierra Nororiental

Todas las condiciones descritas hacen al conjunto particularmente vulnerable ante el cambio climático, sobre todo en la región de Huehuetlán, donde la capacidad adaptativa es menor y la exposición mayor. En general la zona centro norte y noreste del conjunto bajo análisis es la que presenta mayor vulnerabilidad, aunque el total del mismo registra valores de medios a altos. Si a la luz de lo que ahora se indica, se toma en consideración todo lo vertido hasta ahora en el análisis de este conjunto, resulta

primordial promover la conservación de bosques, la protección de la biodiversidad y la diversificación de la sombra asociada a los cafetos, acciones que en suma a la participación en capacitaciones por parte de los productores, la adecuación de infraestructura y parches de vegetación, el fomento a la asistencia técnica, así como la adopción de prácticas sostenibles, son estrategias empleadas en paisajes cafetaleros para minimizar la vulnerabilidad ante la variación del clima (Hidalgo, 2016).

CONJUNTO SIERRA NORTE

Este conjunto está formado por cuatro regiones cafetaleras. Xicotepec al norte con nueve municipios, le sigue hacia el sur la de Huauchinango con cinco municipios, después la región cafetalera de Zacatlán con nueve municipios y por último la región de Chignahuapan con sólo un municipio. En total el conjunto aglomera a 24 municipios productores de la entidad. Es el conjunto de regiones de producción cafetalera de mayor superficie en la entidad, incluye la región productora más grande, Xicotepec, que es también la que mayor volumen de café produjo en 2019, de acuerdo a datos de la Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla.

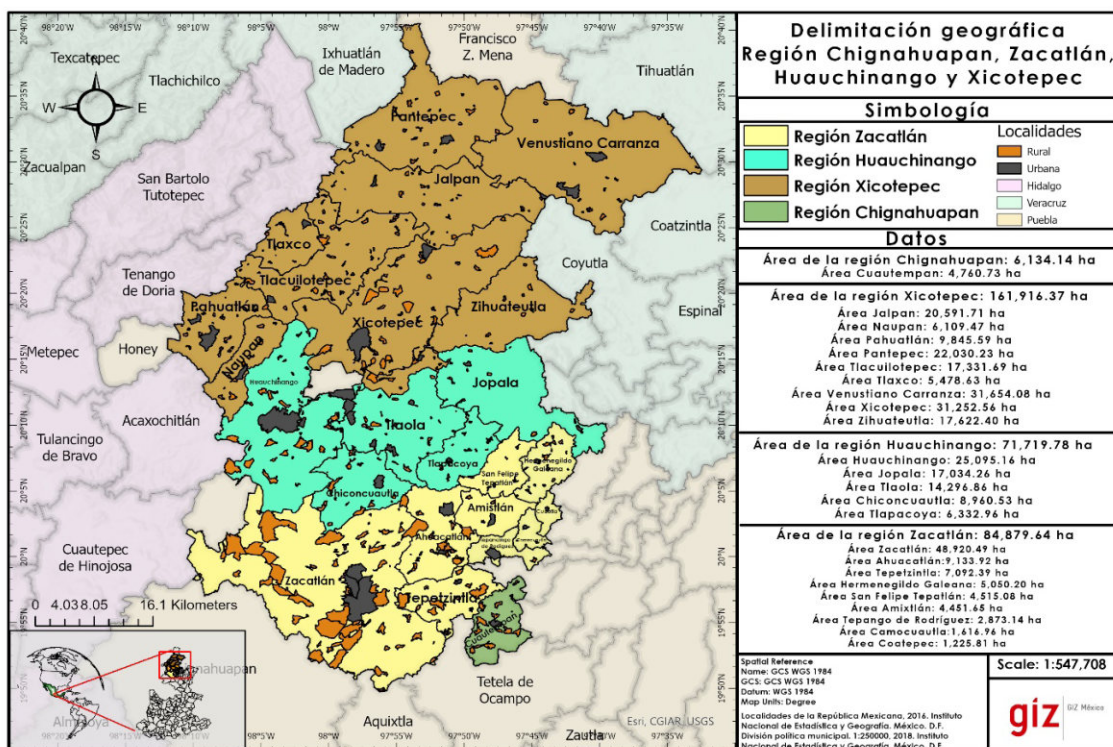
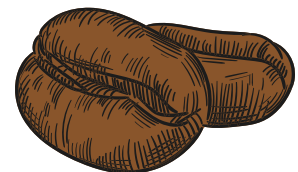


Figura 61. Delimitación Geográfica conjunto Sierra Norte

En el conjunto, las mayores áreas urbanas se dan en la región de Zacatlán, mientras que respecto a las rurales ello ocurre en la región de Xicotepec. Por su parte, en la región de Huauchinango la distribución de ambos tipos de localidades es prácticamente igual.



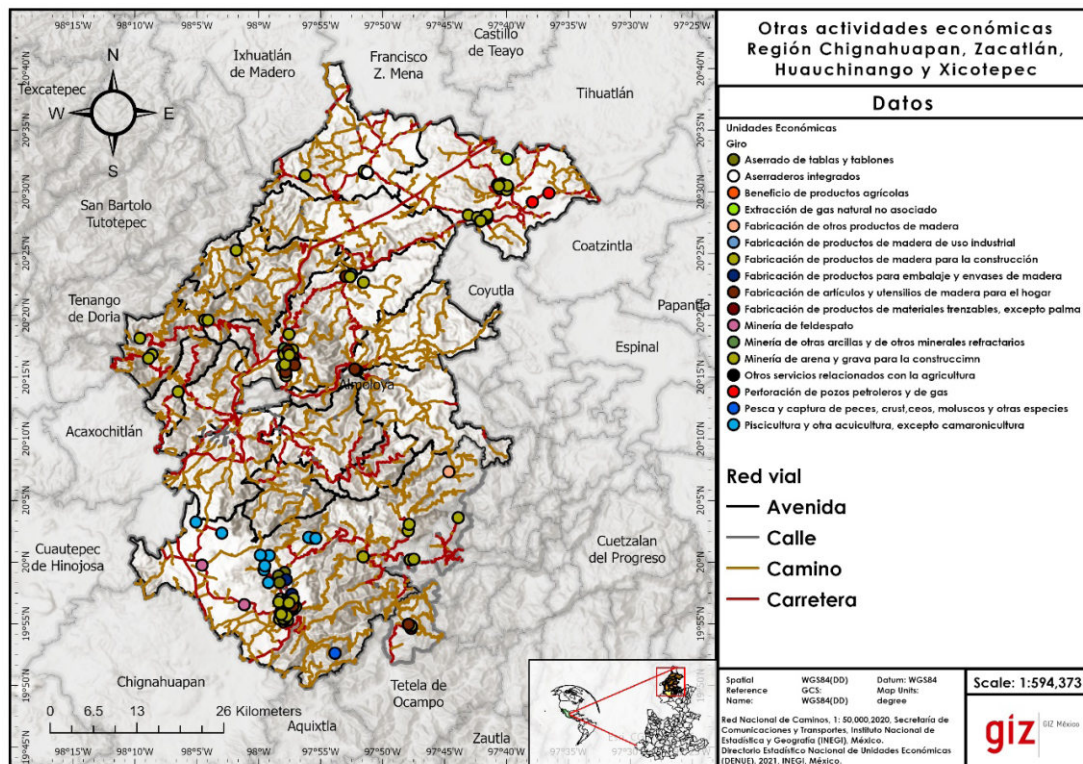


Figura 62. Otras actividades económicas conjunto Sierra Norte

El conjunto presenta diversas actividades económicas vinculadas a la gestión de recursos naturales, tales como beneficios de productos agrícolas al norte, en la región cafetalera de Xicotepec; fabricación de productos de madera y minería al centro en la región de Huauchinango; piscicultura; así como minería especializada (feldespato) al sur, en la región de Zacatlán. Las posibles tensiones que emergen de la

necesidad del uso del territorio para el desarrollo de las actividades productivas del conjunto son un reto a superar para la promoción del manejo integrado del paisaje. Transmitir el valor de la conservación del medio ambiente vinculada a la productividad es una tarea fundamental que debe realizarse desde un ámbito multisectorial si es que se desea superarlo.

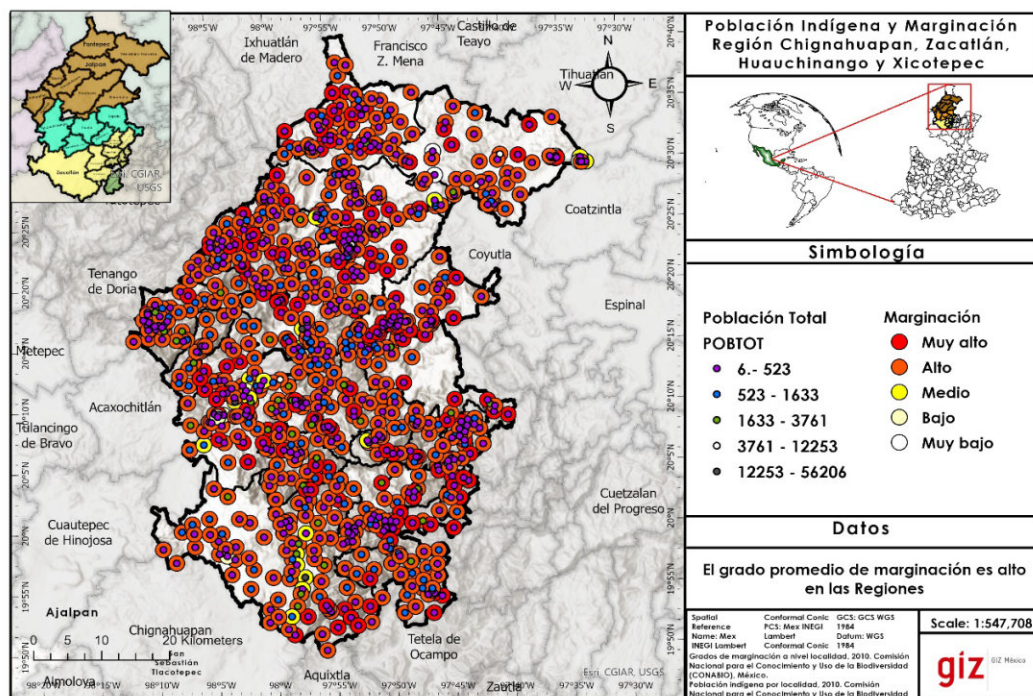


Figura 63. Población Indígena y marginación conjunto Sierra Norte

El conjunto presenta de manera uniforme una amplia presencia de hablantes de lengua originaria, en su mayoría con grado de marginación alto a muy alto. Ello es coincidente con otras regiones productoras de

café y también con la tendencia nacional al respecto, pues las comunidades originarias representan hasta el 85% de los productores de café en el país (Cámara de diputados bis, 2019).

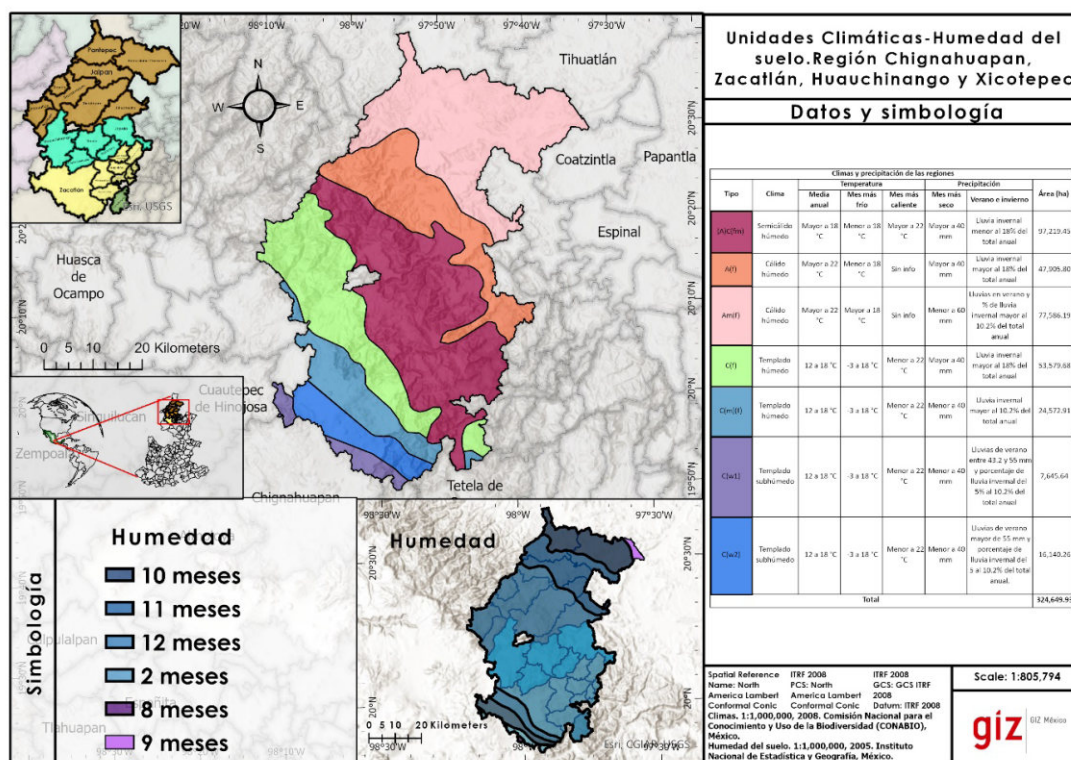


Figura 64. Unidades climáticas conjunto Sierra Norte

En el conjunto dominan los climas templados y cálidos, presentando además importantes condiciones de humedad. Estos parámetros permiten contar con condiciones propicias para la producción, lo que en suma a otros factores, da por resultado la presencia de los municipios con mayor volumen de café reportado por la Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla en 2019. En primer lugar está Xicotepec como

ya se ha comentado, ello con un volumen que supera las 17 000 toneladas, le sigue Zihuateutla con 14 030 toneladas y después Jalpan con 9 446.6 toneladas. Es importante destacar que estos tres municipios son parte de la región productora de Xicotepec, que se ubica al norte del conjunto, donde se presentan climas cálidos.

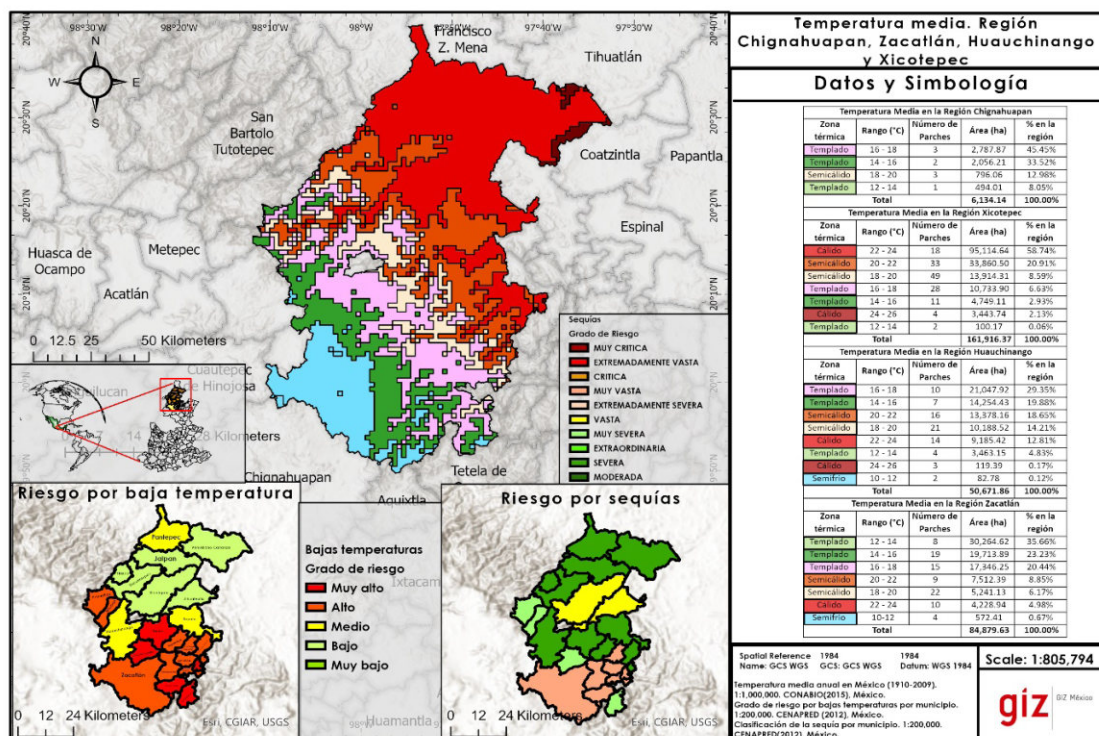


Figura 65. Temperatura media conjunto Sierra Norte

El conjunto reporta temperaturas medias anuales que van desde los 10 hasta los 26 grados centígrados. Es la región de Xicotepéc la que tiene los mayores rangos, que van disminuyendo en dirección sur hasta la región de Chignahuapan. Es por ello que el riesgo por bajas temperaturas es menor al norte del conjunto, al igual que el riesgo por sequías, pudiendo éstas presentarse

en categoría de moderadas para la primera región en comento y muy severas para la segunda. Ningún otro conjunto analizado o región de manera individual presenta una zona tan basta de clima cálido húmedo como la región de Xicotepéc. Quizás esto sea una de las razones por las cuales 5 de los 10 principales municipios de la entidad se registran en ésta.

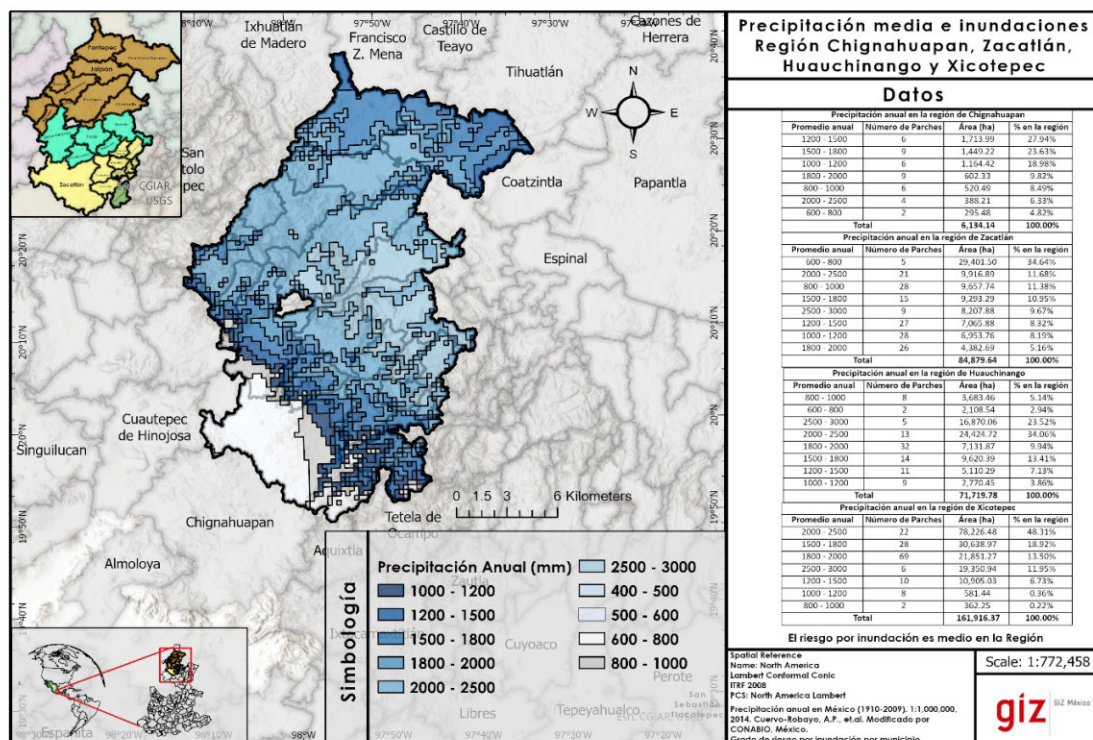


Figura 66. Precipitación conjunta Sierra Norte

Respecto a la precipitación y de acuerdo a los rangos óptimos de ésta para el cultivo de café (Solorzano y Querales, 2010), el conjunto presenta un 37% de su superficie total en condiciones idóneas para la actividad. Es la región de Chignahuapan la que, de manera individual en relación con su superficie, posee

mayor porcentaje de área con pluviosidad óptima (80%), le sigue la región de Xicotepec (39%). No obstante, en términos de superficie neta, Xicotepec posee más de 63 976 hectáreas con rango de lluvia óptimos para la producción de café, lo que en si mismo representa casi el 20% del territorio del conjunto.

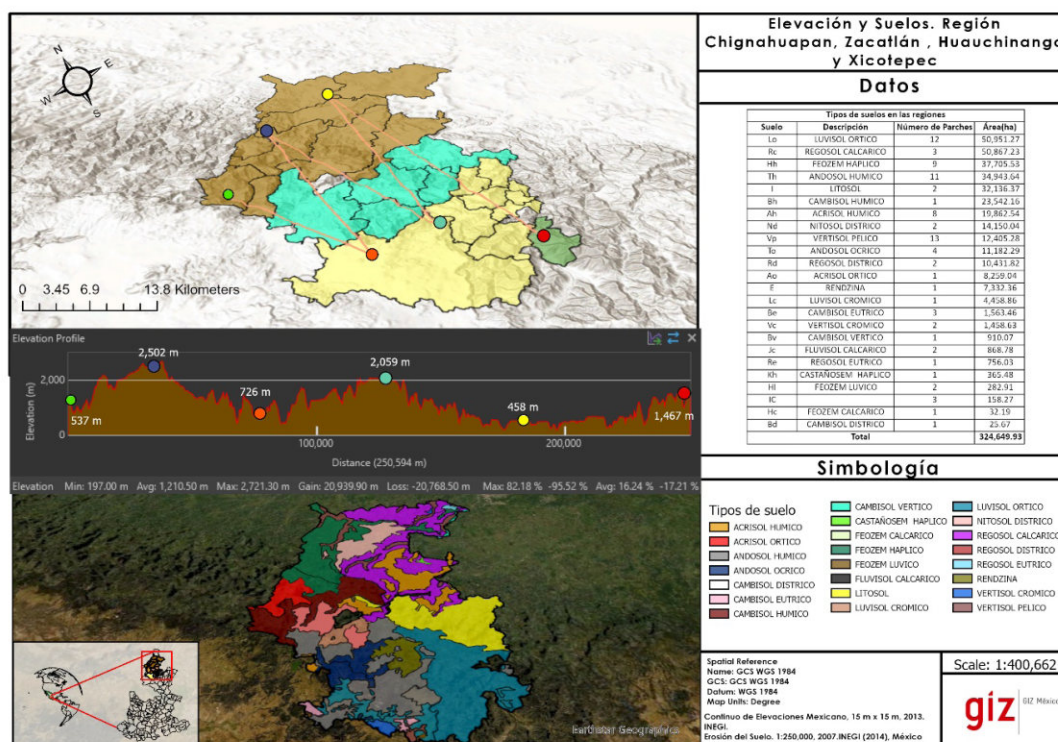


Figura 67. Elevación y suelos conjunto Sierra Norte

El conjunto presenta una importante variación de altura, llegando a representar más de 2 000 metros. La región de Xicotepec tiene por igual algunas de las zonas más altas y también de las más bajas. Ello le confiere un gradiente altitudinal que en muchos puntos es propicio para el cultivo de café. Lo que, aunado a condiciones de temperatura y humedad, genera un territorio propio para la actividad. Es importante destacar que en la comentada región existe presencia de suelos tipo regosol, así como andosol; en otras

regiones como la de Zacatlán se presentan andosoles mismos que ya han sido descritos. Respecto a los regosoles, de acuerdo a FAO (2008), la baja capacidad de reyección de humedad que tienen conlleva la necesidad de aplicaciones frecuentes de agua en los cultivos. Ahora bien, el grado de pluviosidad en la zona podría estar influyendo en esta condición, pero es importante tenerlo presente, sobre todo a la luz del cambio climático, lo que se analizará más adelante.

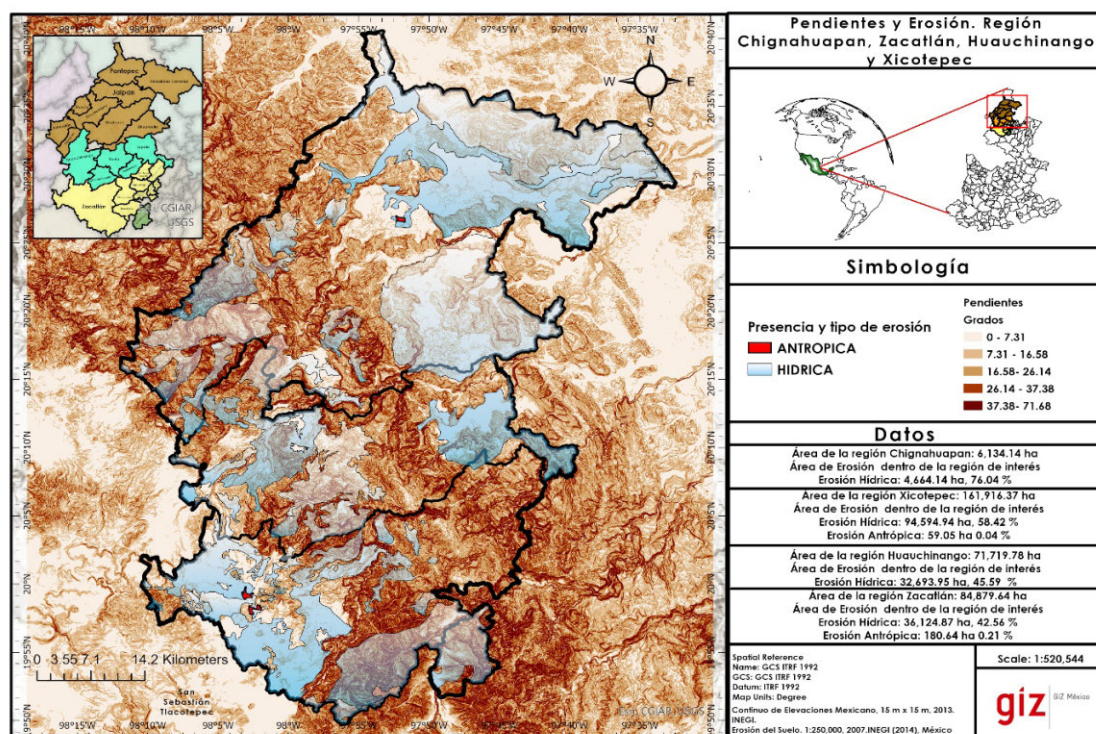


Figura 68. Pendiente y erosión, conjunto Sierra Norte

Las porciones noreste y suroeste del conjunto presentan las menores pendientes, pero también la mayor erosión hídrica. De igual manera, en ambos puntos existe erosión antrópica. Estos sitios coinciden con las regiones cafetaleras de Xicotepec y Zacatlán. Es importante destacar que son las únicas regiones de entre todas las estudiadas que presentan

simultáneamente estos dos tipos de erosión. El conjunto registra en total el 52% de su superficie, lo cual tendrá una vinculación importante con el capital natural de la zona, que se indicará más adelante. Las prácticas productivas en torno al café pueden influir en la disminución de la erosión hídrica, particularmente en el caso de la producción orgánica (Márquez, 2016).

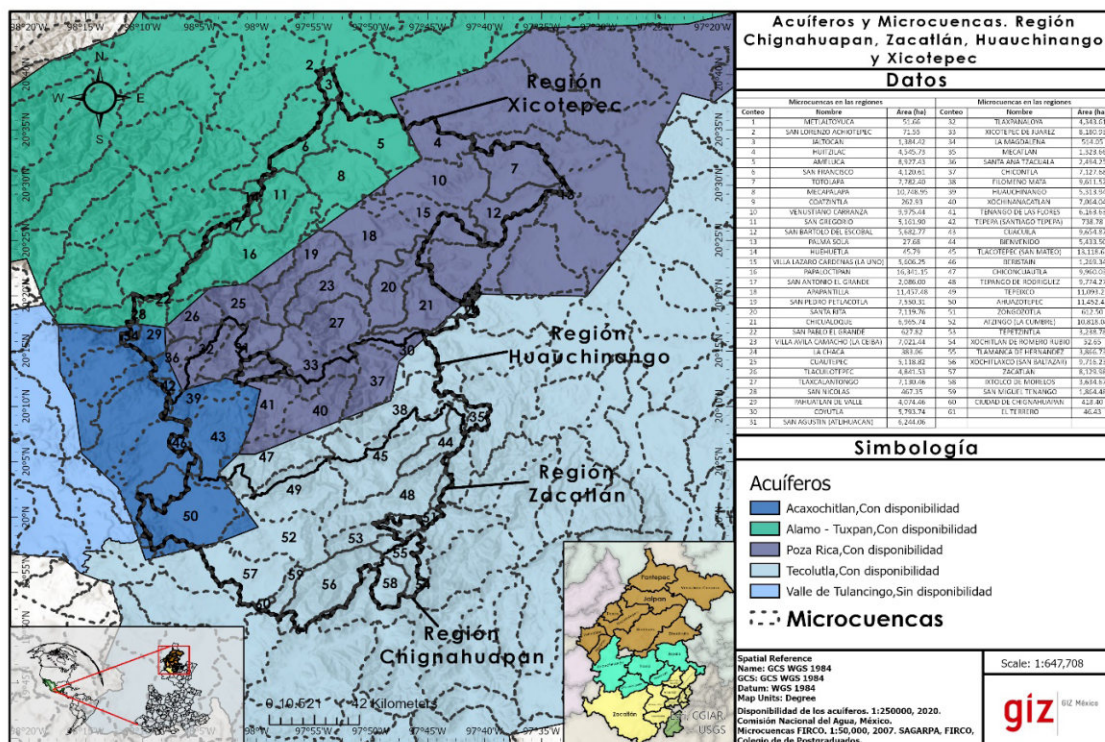


Figura 69. Microcuencas conjunto Sierra Norte

Es importante tomar en consideración que la erosión de los suelos, a nivel de microcuena, puede verse influenciada (positiva o negativamente) por el tipo de sombra de los cafetales, pues ésta influye en las escorrentías (Cazco, 2015), por lo que este hecho debe ser tomando en consideración al momento de realizar acciones conducentes a propiciar la sustentabilidad

en su manejo. En ese sentido, es importante tener presente que el conjunto analizado se integra por 61 microcuencas insertas en cuatro diferentes acuíferos, todas con disponibilidad hídrica. El que mayor superficie implicada tiene es el de Poza Rica y le sigue el de Álamo-Tuxpan, ambos en las zonas de mayor producción cafetalera.

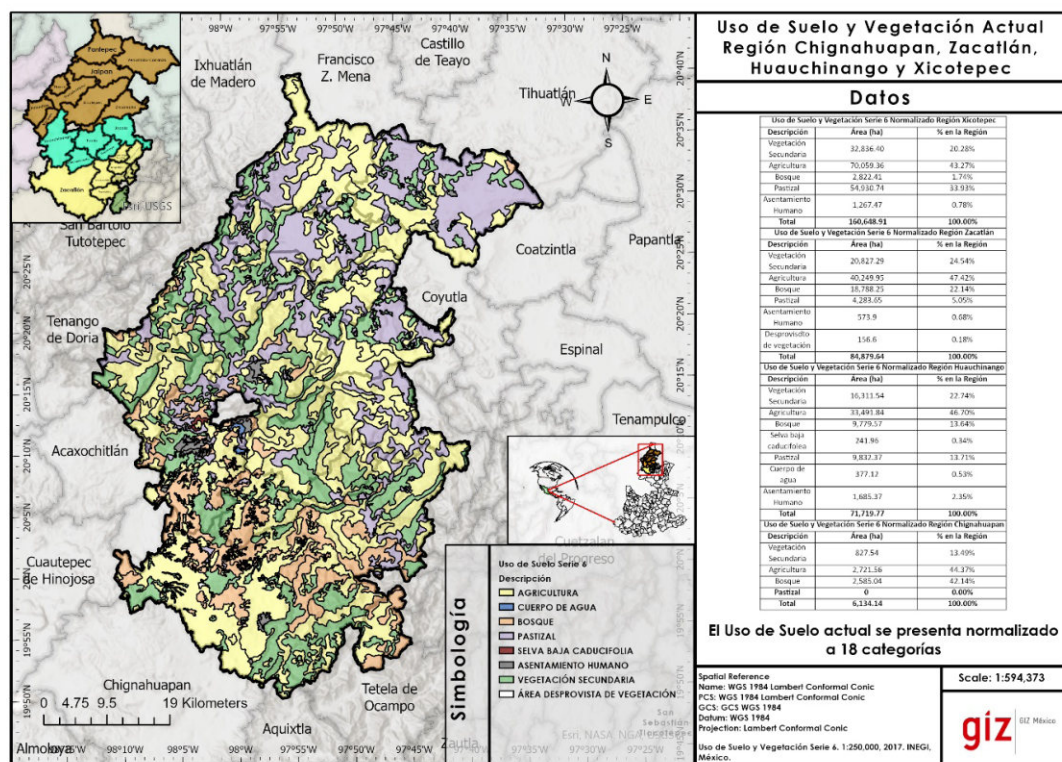


Figura 70. Uso de suelo actual conjunto Norte

El conjunto está dominado por agricultura y pastizales, sobre todo en la porción norte y centro. Al sur se ubican importantes remanentes boscosos que presentan una conectividad estructural aparente. No obstante, es importante evaluar la funcionalidad de los parches de vegetación para determinar su

valor ecológico. La vegetación secundaria presenta un gradiente que parte de una presencia discreta en la región de Xicotepec al norte; seguido por una presencia media al centro lo que coincide con la región de Huauchinango y una mayor al sur en las regiones de Zacatlán y Chignahuapan.

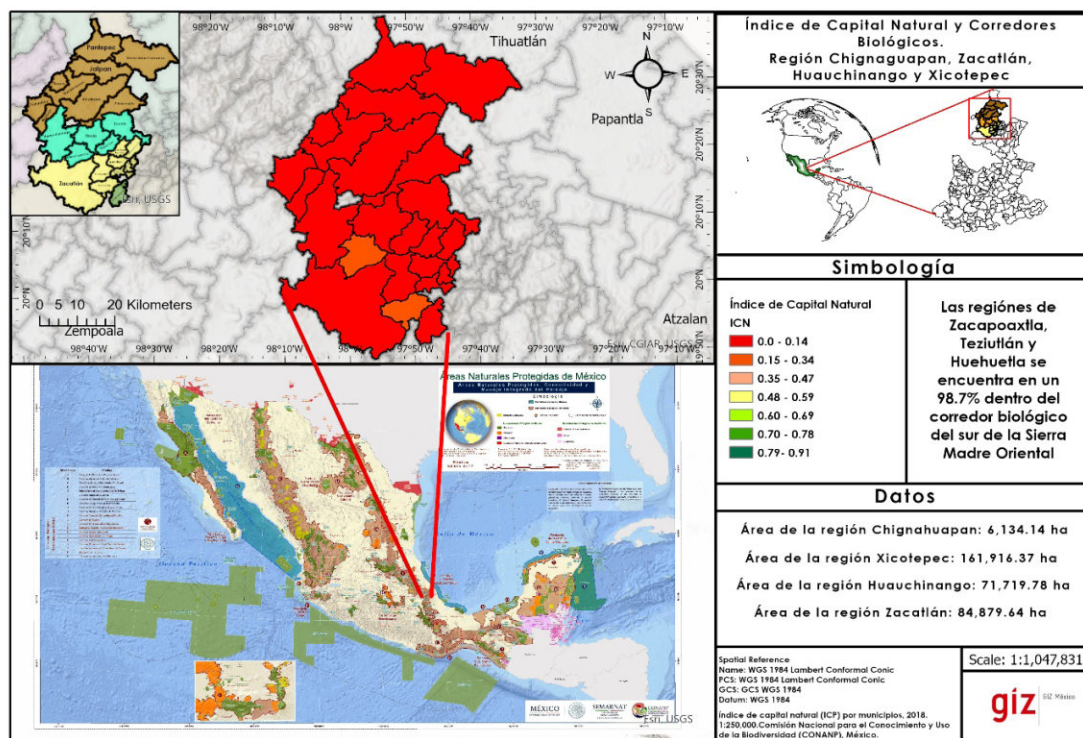


Figura 71. Índice de capital natural y conectividad conjunto Sierra Norte.

El índice de capital natural del conjunto es de bajo a muy bajo, representando que el estado de la biodiversidad de la zona se encuentra impactado negativamente. Esto se relaciona con la alta cantidad de uso de suelo destinado a actividades altamente antropizadas que se presentan en el área de estudio. No obstante, eso genera un área de oportunidad al considerarse que el cambio de prácticas asociadas a sistemas productivos sostenibles puede tener

efectos positivos para recuperar la riqueza biológica. Lo anterior es particularmente cierto en el caso de los cafetales (Rojas, 2012). El 98.7 % del conjunto se encuentra inserto en el Corredor ecológico de la Sierra Madre Oriental, siendo éste la porción más norteña de la entidad, lo que revela la importancia de la zona para los flujos de especies entre el norte y sur del país.

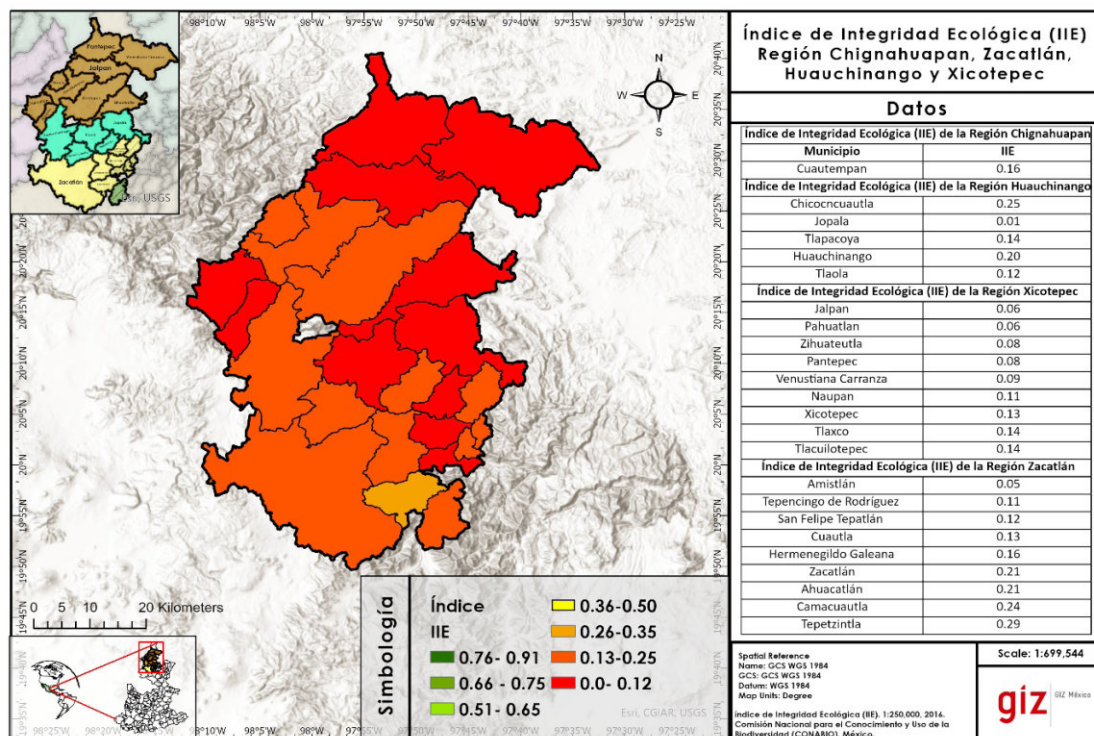


Figura 72. Índice de integridad ecológica conjunto Sierra Norte

La integridad ecológica del conjunto es de baja a muy baja. Esto quiere decir que en el área se ha disminuido importantemente la capacidad de los ecosistemas para soportar poblaciones de mamíferos, lo que a su vez indica deterioro en la cadena trófica en su conjunto. Los cafetales han demostrado servir como espacios vinculados a este tipo de fauna (García-Burgos *et al*, 2014), por lo que pueden ser una fuente de verificación mediante los estudios pertinentes de

la efectividad de las estrategias que se emprendan para revertir el bajo índice de integridad ecológica en la zona. No obstante, hay que tomar en consideración que la riqueza de especies de mamíferos, sobre todo medianos que existe en los cultivos de café, no sólo depende del manejo que se le dé a este, sino de la condición general del paisaje (García-Burgos *et al*, 2014).

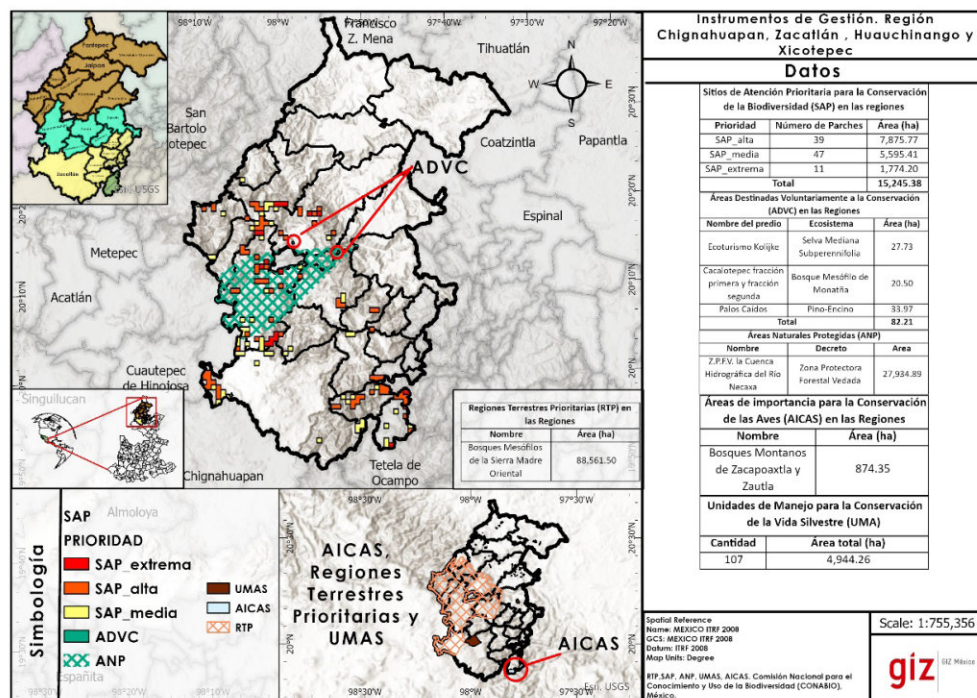


Figura 73. Instrumentos de gestión de recursos naturales conjunto Sierra Norte

El conjunto presenta más de 15 245 ha categorizadas como de prioridad para la conservación, ello principalmente en las regiones cafetaleras de Huauchinango y Zacatlán. Además, reporta poco más de 874 ha consideradas de importancia para la conservación de las aves y 88,561 ha dentro de la categorización de región terrestre prioritaria. Cabe destacar que estas tipificaciones son nominativas y no conllevan la existencia de esquemas formales que garanticen la conservación de los recursos naturales. Tomando en consideración instrumentos de gestión

ambiental normados mediante un plan de manejo, se ubican en la zona de estudio 82 ha destinadas voluntariamente a la conservación y poco más de 27,934 ha dentro del área natural protegida Cuenca Hidrológica del Río Necaxa. También se pueden ubicar aquí 4,944 ha de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAS). Lo anterior representa solamente el 10% de la superficie total del conjunto, por lo que es fundamental impulsar acciones para la formalización de esquemas diversificados de protección a los recursos naturales.

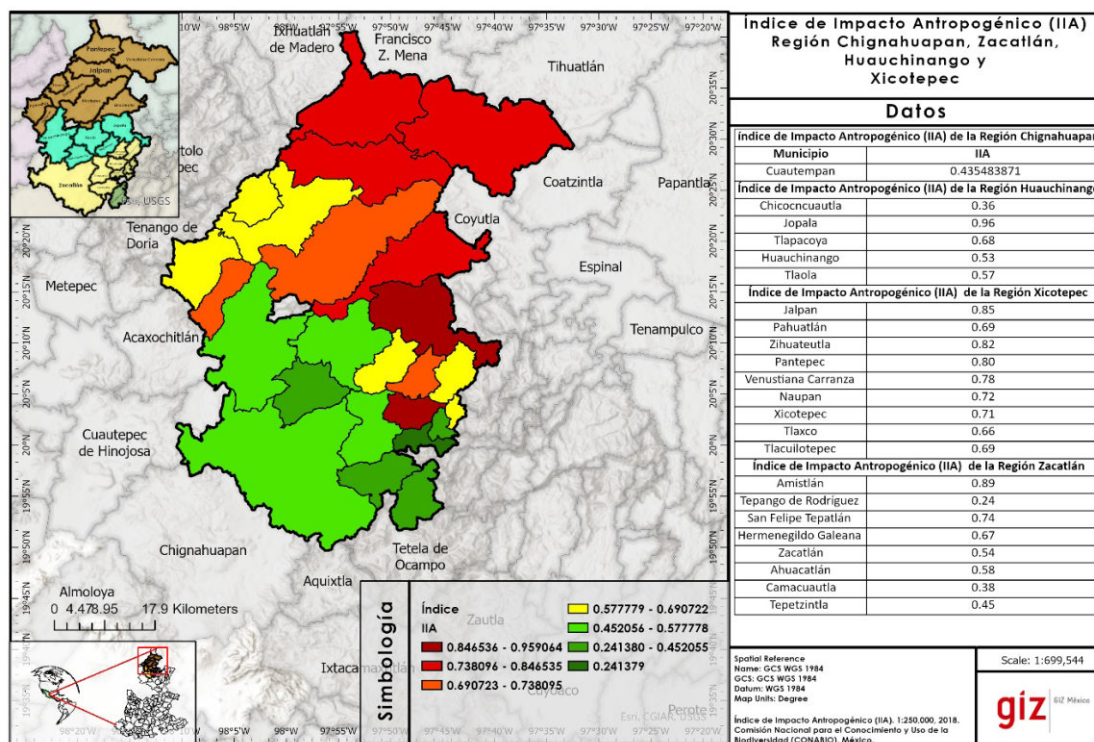


Figura 74. Índice de impacto antropogénico conjunto Sierra Norte

El índice de impacto antropogénico se distribuye gradualmente, de menos a más en dirección sur a norte. Las regiones con mayor impacto son la de Huachinango y Xicotepec, siendo ésta última la que presenta la mayor superficie categorizada con valores altos. La caficultura, aunque primordialmente realizada bajo sombra, ha empezado a presentar

rasgos de intensificación en la producción, lo que ha generado la expansión de sistemas de producción bajo sol. En ese sentido generan mayores afecciones ambientales que los agroforestales (Andrade, 2016). Por lo que, a la luz del actual estado del impacto antropogénico en el conjunto, esta práctica debe ser desalentada en la región.

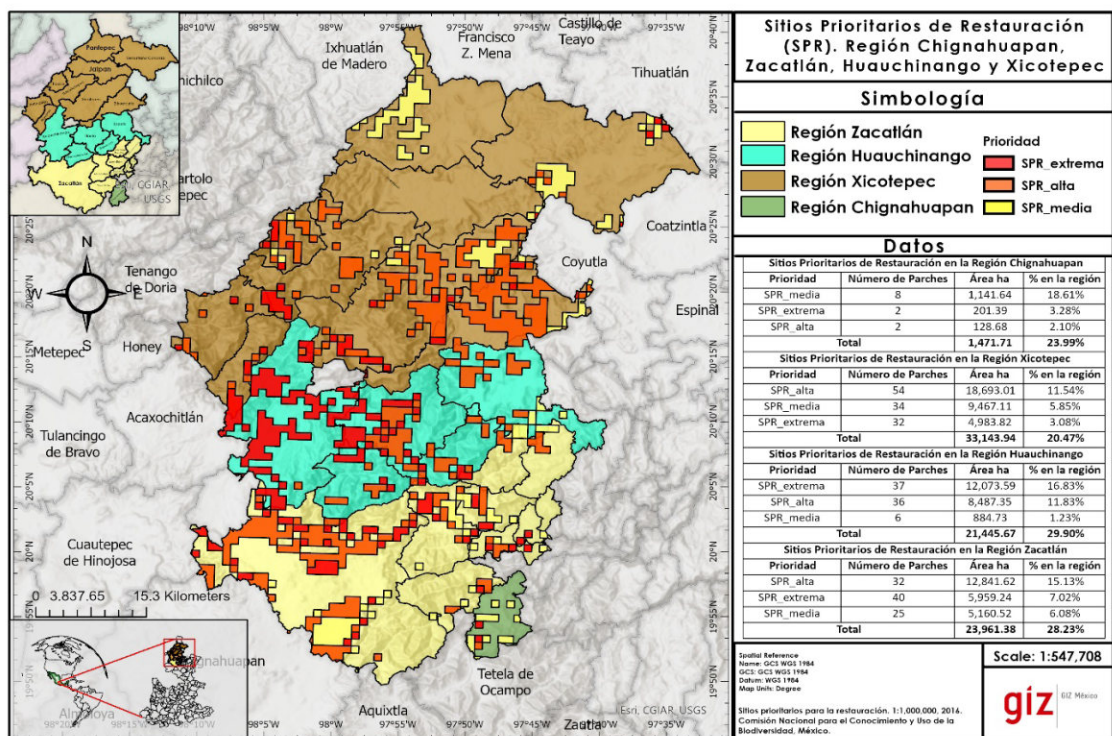


Figura 75. Sitios prioritarios de restauración conjunto Sierra Norte

El 25% de la superficie del conjunto presenta un grado de medio a alto en cuanto a prioridad de restauración, siendo en su mayoría, en la región el extremo sur de la región de Xicotepec, así como en la región de Huachinango y al norte de la Región de Zacatlán donde se ubican las prioridades de restauración más altas. La agroforestería, como es el caso de la producción de café bajo sombra, es considerada

una importante práctica para la restauración del paisaje. Para que sea exitosa se deben fomentar entornos socio-políticos favorables, estimulando el desarrollo y/o acrecentamiento de polisistemas de cultivo tanto tradicionales y mejorados (FAO, 2017). Es precisamente ello, dada la natural vocación del conjunto bajo análisis, lo que podría inducirse desde acciones articuladas multisectoriales.

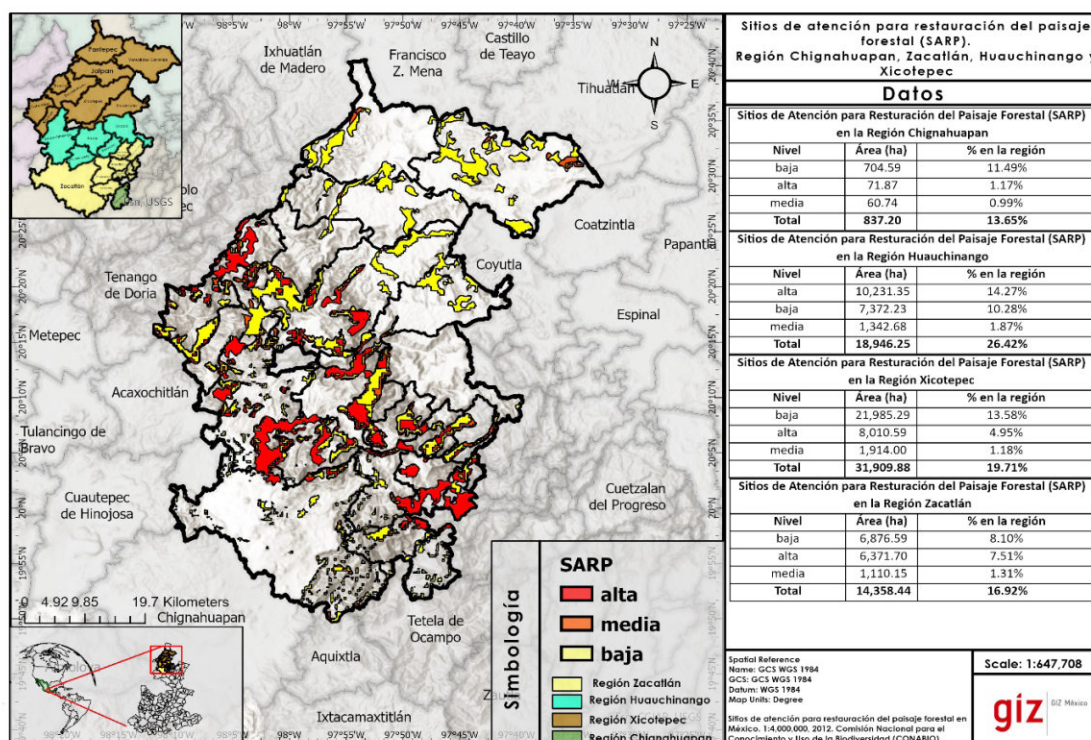


Figura 76. Sitios prioritarios de restauración del paisaje forestal conjunto Sierra Norte

El 19% del territorio del conjunto presenta condiciones vinculadas a la necesidad de restauración del paisaje forestal. Tomando en consideración que la restauración de bosques y también de paisajes es un proceso que implica la coordinación entre personas para identificar e implementar prácticas en pro del equilibrio entre lo social, lo ecológico y lo ambiental.

Ya que los sistemas agroforestales que cuentan con cubierta de dosel permanente pueden ser opciones viables para ello, sobre todo allí donde la sucesión natural del bosque no es factible (FAO, 2016), se torna importante crear mecanismos de coordinación que favorezcan la implementación de este tipo de sistemas a nivel local.

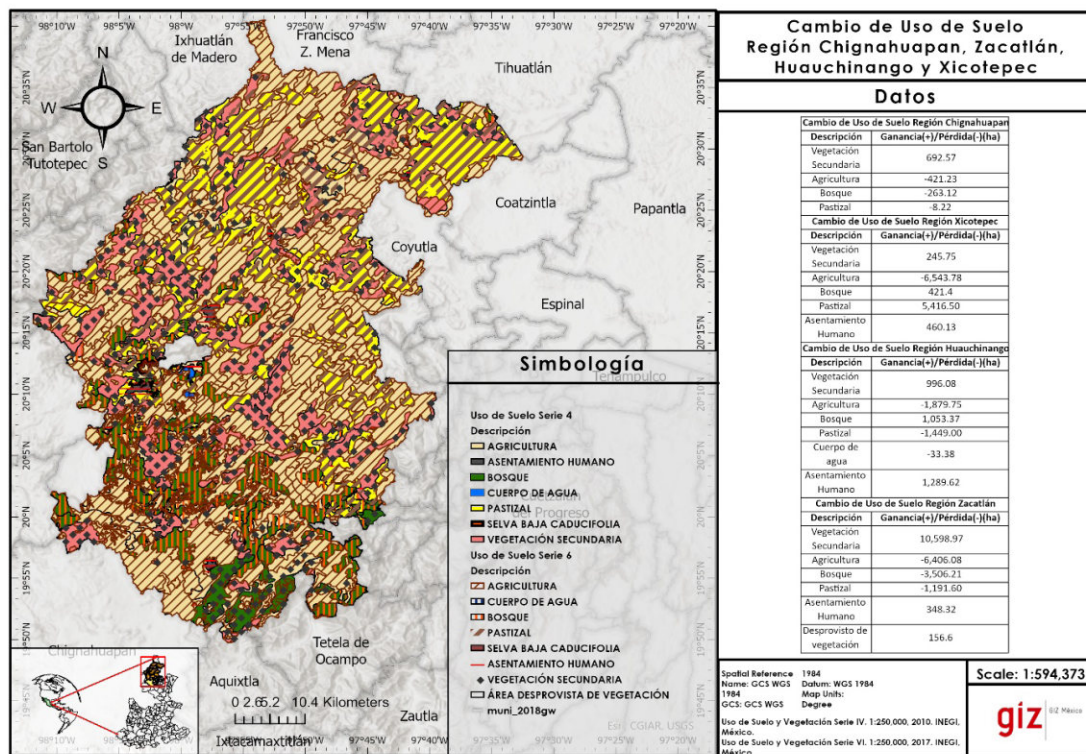


Figura 77. Cambio en el uso del suelo del conjunto Sierra Norte

El patrón de cambio de uso de suelo en el conjunto resulta diferente en algunos aspectos al resto de los sitios de análisis. En principio lo más destacable es que reporta ganancia de coberturas boscosas en dos regiones: Xicotepec y Huauchinango. La superficie acumulada es de 1 474.7 ha, lo que si bien representa apenas del 0.4% de la superficie total de la zona estudiada, es la única superficie boscosa ganada en la totalidad del presente trabajo. Por otro lado, en todas las regiones del conjunto se presenta una disminución de la agricultura; en Xicotepec y Zacatlán alcanza más

de 6 400 ha. De igual manera se identifica en todas las regiones una ganancia de vegetación secundaria. La pérdida de agricultura, asociada a la ganancia de vegetación secundaria y bosques, podría relacionarse a una transformación en la intensificación del uso del territorio, o al menos del destino que se le da a este. En ese sentido, es importante hacer esfuerzos complementarios para entender a mayor profundidad las causas que lo originan.

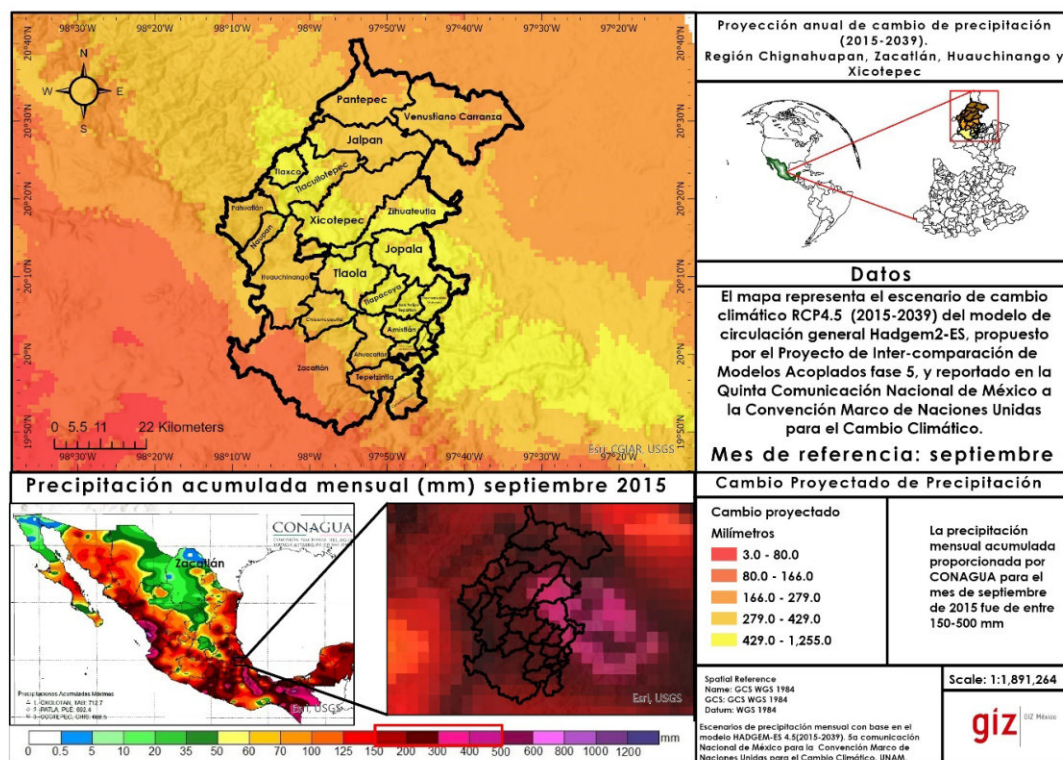


Figura 78. Proyección de cambio de precipitación del conjunto Sierra Norte

Tomando el año 2015 como referencia y respecto a la perspectiva del cambio en la precipitación para el conjunto en 2039, las variaciones en cuanto a pluviosidad son importantes. Actualmente regiones como la de Huauchinango presentan precipitaciones acumuladas en el mes de septiembre (usado como referencia) que van de los 150 a 500 mm. Sin embargo, se prevé que estos valores puedan modificarse, ascendiendo el rango mínimo de precipitación a cerca del doble del valor actual y disminuyendo el superior. Es precisamente en la región de Huauchinango y

al sur de la región de Xicotepec donde se espera que la variación en el régimen de lluvias sea mayor, incrementándose hasta dos veces los rangos actuales de precipitación. Las modificaciones en la precipitación tienen importantes consecuencias para los agroecosistemas, particularmente en los periodos de crecimiento de la vegetación, épocas de siembra y cosecha. Además, en el ámbito específico del café las lluvias imprevistas generarán la necesidad de adaptar los patrones de secado, lo que puede influir en la calidad del café (Izasa y Cornejo, 2014).

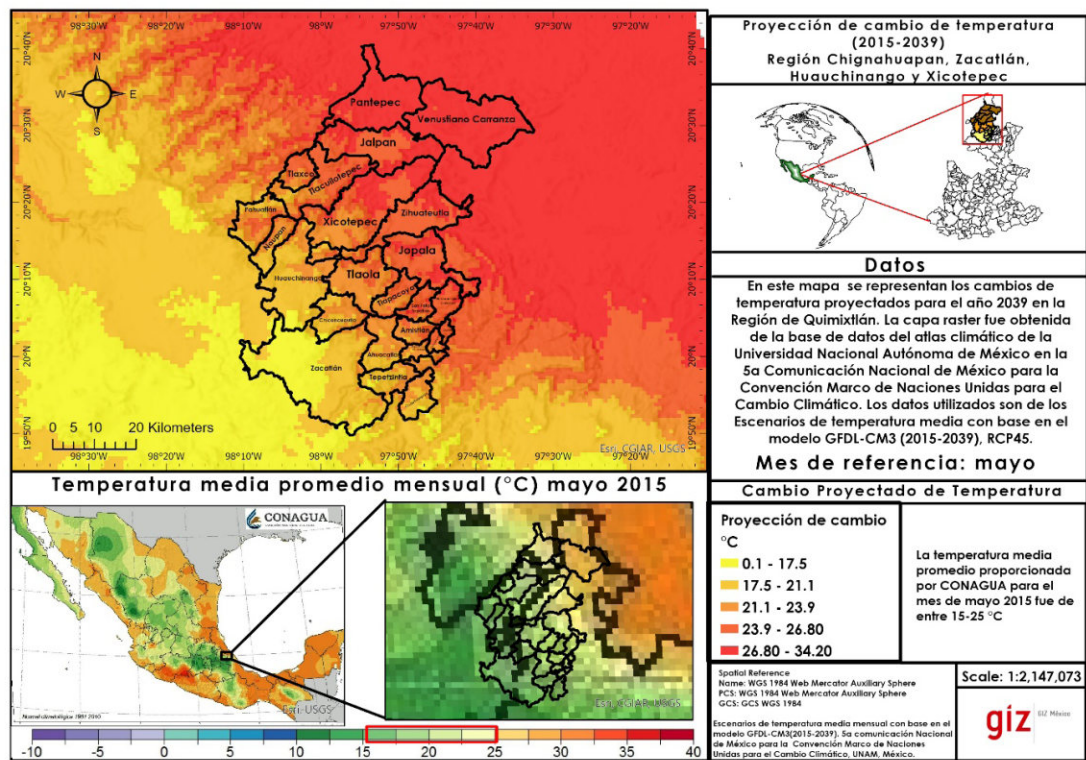


Figura 79. Proyección de cambio de temperatura del conjunto Sierra Norte

Respecto a la temperatura, empleando como base el mes de mayo del 2015, uno de los más calurosos en la entidad, el conjunto bajo análisis presenta rangos de 15 a 25 grados centígrados. No obstante, se esperan incrementos en este factor sobre todo en la parte norte de la región de Xicotepec donde los valores podrían llegar a ser de entre 26.8 y 34 grados centígrados. Las regiones menos afectadas en función de las protecciones del modelo HADGEMM2-ES en

su escenario 4.5 a 2039 muestran que las regiones menos afectadas serían Zacatlán y Chignahuapan. Es importante mencionar que en función del aumento de la temperatura el café madura con mayor rapidez, lo que puede afectar la calidad del grano y por ende la calidad en taza (Izasa y Cornejo, 2014), es por ello que información como la presentada puede servir como base, en suma a otros estudios, para la correcta toma de decisiones.

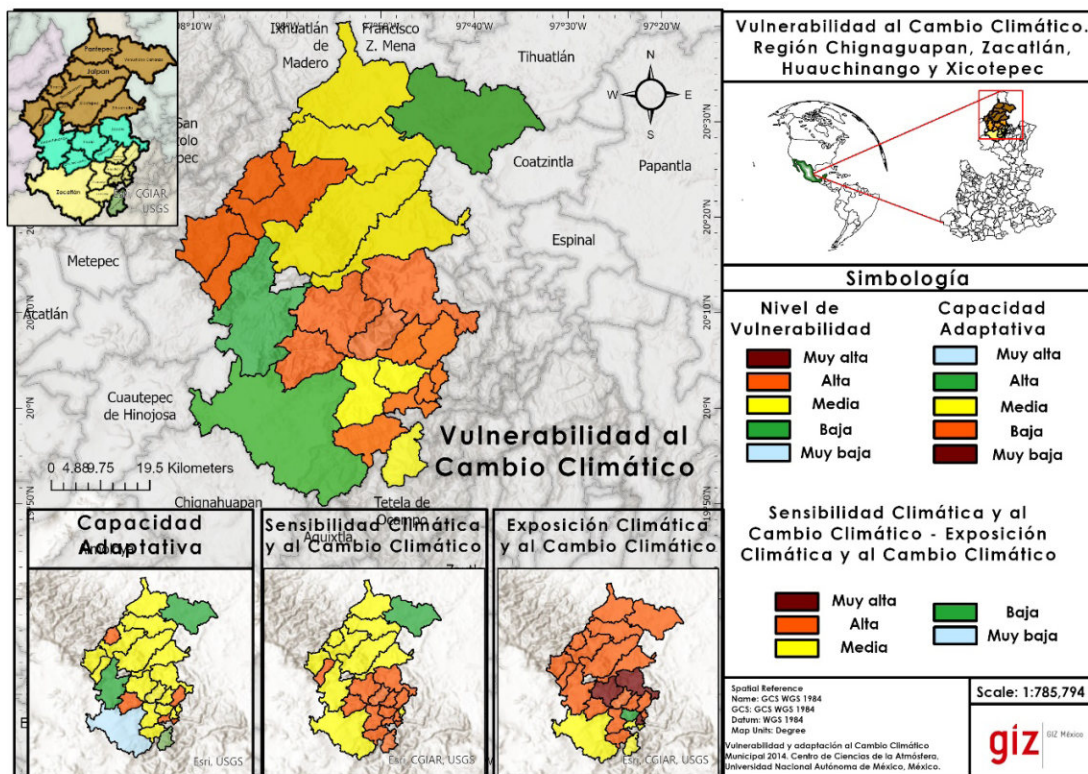


Figura 80. Vulnerabilidad ante el cambio climático del conjunto Sierra Norte

Ante estos escenarios, es fundamental tomar en consideración que la región más expuesta al cambio climático es Xicotepec, la principal productora del estado. No obstante, ya que su capacidad adaptativa es de media a alta, se prevé que la vulnerabilidad que tendrá es media, aunque en algunos municipios se podrían presentar condiciones de vulnerabilidad alta. Por otra parte, la región que reporta mayor superficie con un grado alto de vulnerabilidad al

cambio climático es el conjunto es Huauchinango, por lo que resulta importante realizar medidas de adaptación ante ello. La correcta implementación de sistemas agroforestales mixtos con un uso eficiente de los recursos, que al mismo tiempo promuevan la conservación de la biodiversidad y mejoren la productividad, es fundamental (Izasa y Cornejo, 2014).

ESCENARIO ESTRATÉGICO PARA LA TOMA DE DECISIONES

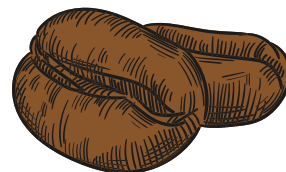
Como parte del presente trabajo se generaron elementos cartográficos adicionales a los ya descritos para facilitar la visualización de escenarios específicos respecto al cultivo de café en cada uno de los conjuntos de regiones productoras de la entidad.

En ese sentido, se tomaron en consideración cinco variables: especie, temperatura, precipitación, pendiente y lluvia. En base a éstos y mediante un proceso de análisis multicriterio se determinaron las actuales zonas óptimas de producción en el estado, así como en función de las proyecciones de cambio climático del modelo HADGEMM2-ES en su escenario 4.5, particularmente para los meses más extremos (mayo y septiembre), las zonas óptimas a futuro.

En los escenarios se consideró a la especie *Coffea arabica*, pues esta representa hasta el 94.5% de la superficie sembrada en el país (SDR, 2020) y por ende en la entidad. De igual forma, se establecieron como óptimos para la producción los rangos de temperatura que van de 22 a 26 grados centígrados, así como la precipitación de entre 1 000 mm y 2 000 mm (Alfonse *et al*, 2018). Para la pendiente se consideró óptimo el valor de 0 a 20 grados (González y Hernández, 2016) y para la altitud se consideraron valores entre 900 y 1 700 msnm mismos que quedan comprendidos en los rangos indicados por Solorzano y Querales (2010). Adicionalmente, se tipificaron como zonas con valor medio para la producción aquellas donde los rangos

de precipitación son de 800 a 1 000 y de 2 000 a 2 200 mm; los de temperatura de 18 a 22 y de 26 a 30 grados centígrados; la pendiente de 20 a 30 grados; la altitud de 750 a 900 y de 1 700 a 1 850 msnm. Por su parte las zonas categorizadas como de bajo potencial para la caficultura son las que se ubican en un rango de precipitación de 600 a 800 y de 2 200 a 2 400 mm, con temperatura entre los 14 y 18 así como de los 30 a 36 grados centígrados; con pendiente de 30 a 40 grados y una altitud de 600 a 750 o de 1 850 a 2 000 msnm. Todo lo que no cumpla con estos criterios se considero con un potencial inadecuado para la caficultura.

A continuación, se muestra la cartografía de sitios óptimos presentes y futuros por conjunto.



CONJUNTO VALLE DE SERDÁN

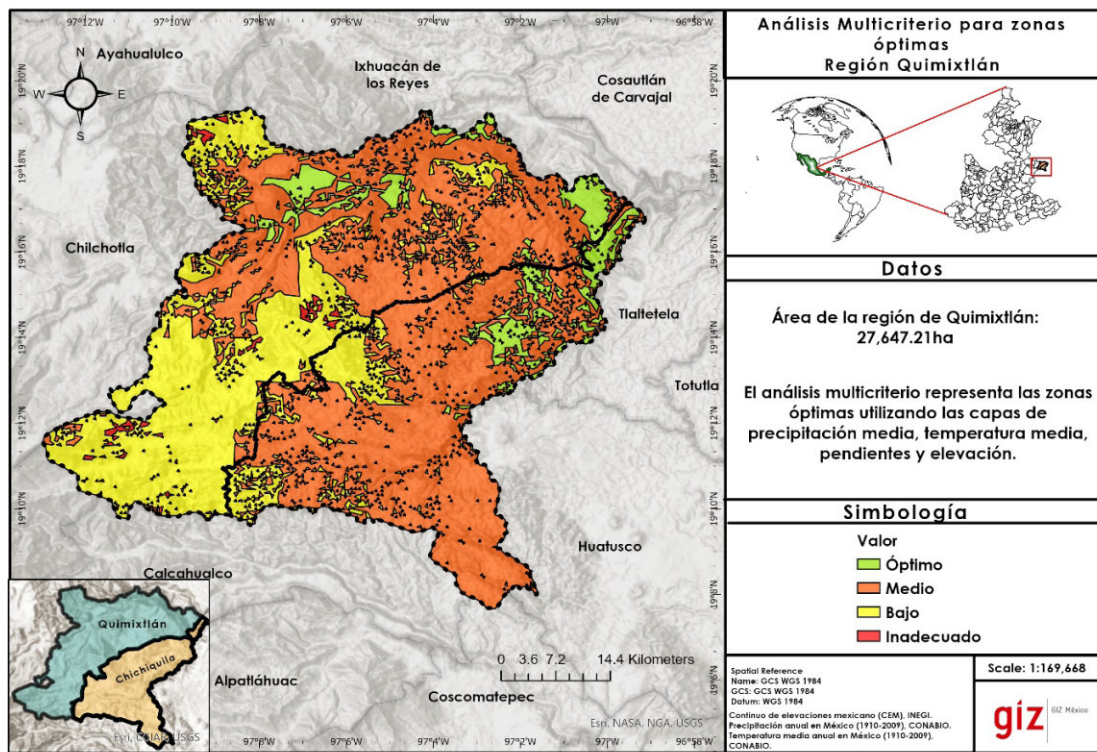


Figura 81. Sitios óptimos para la producción de café, escenario actual conjunto Valle de Serdán.

En función de los rangos de condiciones óptimas para la producción anteriormente expuestos, el conjunto posee solamente un 8.35% de su territorio categorizado como óptimo para el cultivo de café. No obstante, posee cerca del 60% en condiciones medias, así como un 32.2% en categoría baja. La gran mayoría de las zonas óptimas se ubican al flanco

noreste del conjunto, particularmente en el municipio de Quimixtlán, mientras que los valores medios se encuentran en la franja centro-este. De acuerdo a datos de la Secretaría de Desarrollo rural del Estado de Puebla, este conjunto produjo cerca de 430 toneladas de café en 2019.

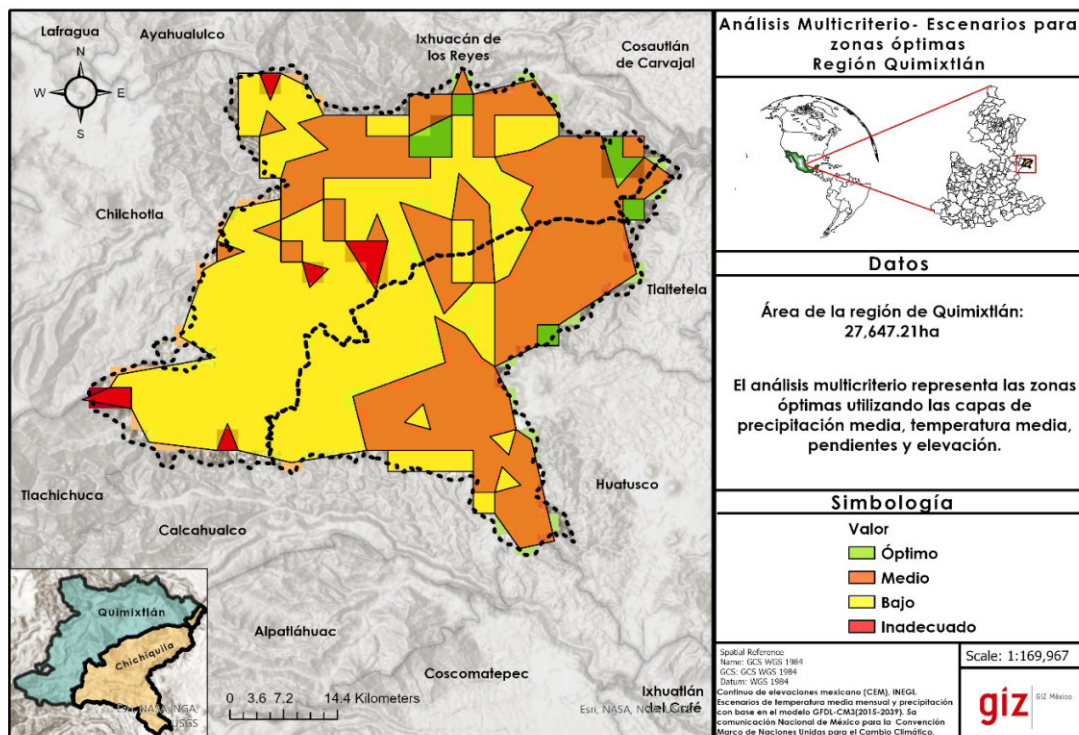


Figura 82. Sitios óptimos para la producción de café, escenario futuro en base a modelo Hadgemm2-es / 4.5 conjunto Valle de Serdán

Considerando las variaciones proyectadas de temperatura y humedad, en combinación con la pendiente y la altura, se prevé que para el 2039 el conjunto Valle de Serdán representado por la región cafetalera de Quimixtlán, posea sólo el 2.36% de superficie en sitios óptimos para la caficultura, así como el 38.81% en categoría media. Lo que significa una reducción de más de la mitad del área que hoy

es ideal para el cultivo. Así, en el largo plazo la zona presentaría en su mayoría condiciones más bien bajas para la producción de café. Lo cual es congruente con la idea general de que en los países en vías de desarrollo el cambio climático generará disminución de las cosechas de este grano (Izasa y Cornejo, 2014).

CONJUNTO SIERRA NEGRA

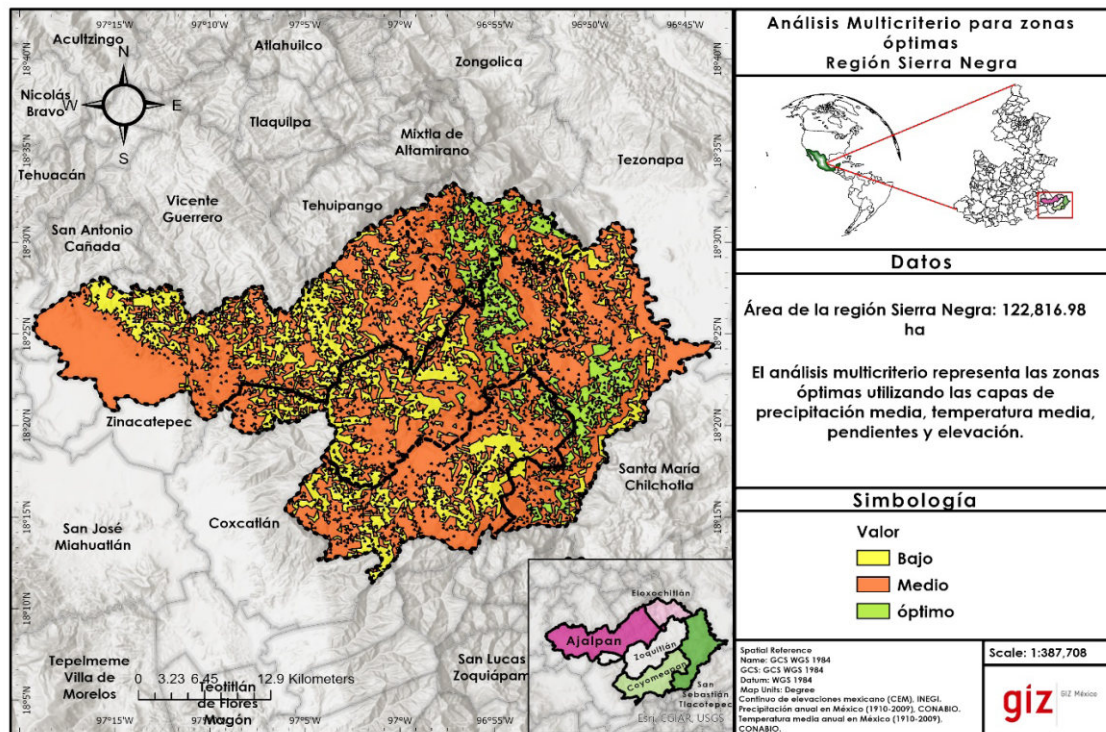


Figura 83. Sitios óptimos para la producción de café, escenario actual conjunto Sierra Negra.

Este conjunto presenta actualmente un 15.8% de su superficie en condiciones óptimas para la producción de café, al costado este, así como un 65.8% en condiciones de rango medio. Ni una sola hectárea se ubica hoy día en una condición inadecuada para el

cultivo, ello en función de las variables analizadas. De acuerdo a datos de la Secretaría de Desarrollo rural del Estado de Puebla, este conjunto produjo poco más de 8 560 toneladas de café en 2019.

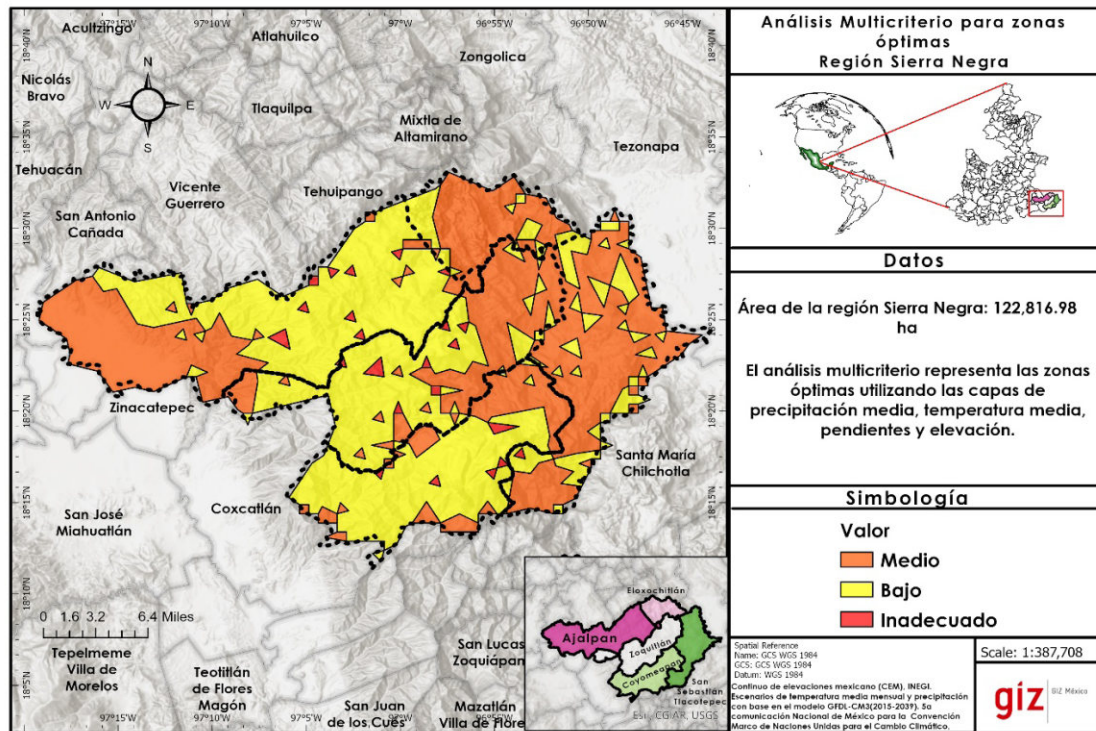
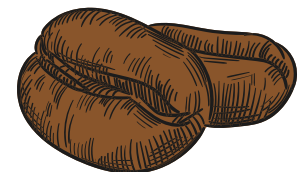


Figura 84. Sitios óptimos para la producción de café, escenario futuro en base a modelo Hadgemm2-es / 4.5 conjunto Sierra Negra

Se prevé que a futuro los sitios de producción óptima desaparezcan totalmente de la zona y se incremente tanto la categorización media como la baja, alcanzando un 45.17% y 53.44%, respectivamente. Las zonas consideradas inadecuadas para el cultivo se esperan no sean mayores al 1.38% del área bajo análisis.



CONJUNTO SIERRA NORORIENTAL

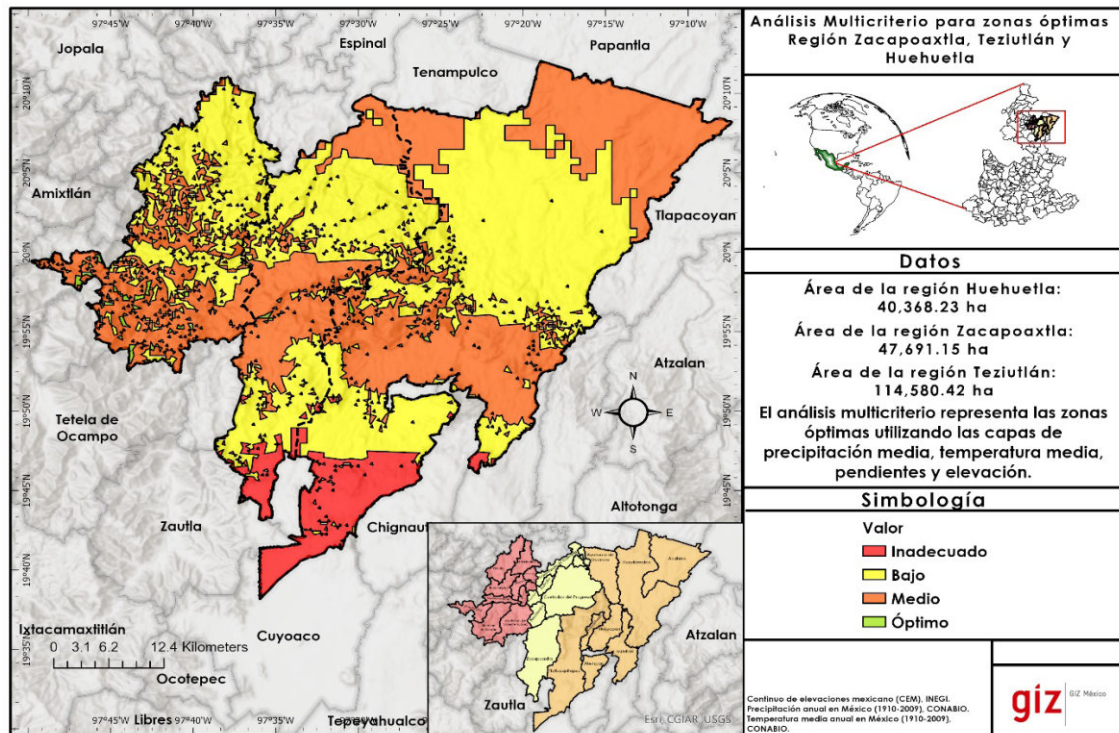


Figura 85. Sitios óptimos para la producción de café, escenario actual conjunto Sierra Nororiental

Integrado por tres regiones cafetaleras, este conjunto presenta en total el 1% de su superficie en condiciones óptimas de producción el 42% en condiciones de tipo medio y el 50% del territorio del mismo se presenta en condiciones de tipo bajo en términos de su idoneidad para la caficultura. No obstante, de acuerdo a datos de la Secretaría de Desarrollo rural del Estado de Puebla, este conjunto produjo 44 942.7 toneladas de café en

2019. Hay que tomar en consideración que su área es 65% más grande que el conjunto de Sierra Negra y 7.5 veces mayor a la del Valle de Serdán. La región que más superficie tiene en condiciones óptimas es la de Huehuetla con 1 593.44 ha lo que representa de forma individual el 5% de su superficie; le sigue Zacapoaxtla con el 0.39% de su superficie en esta condición.

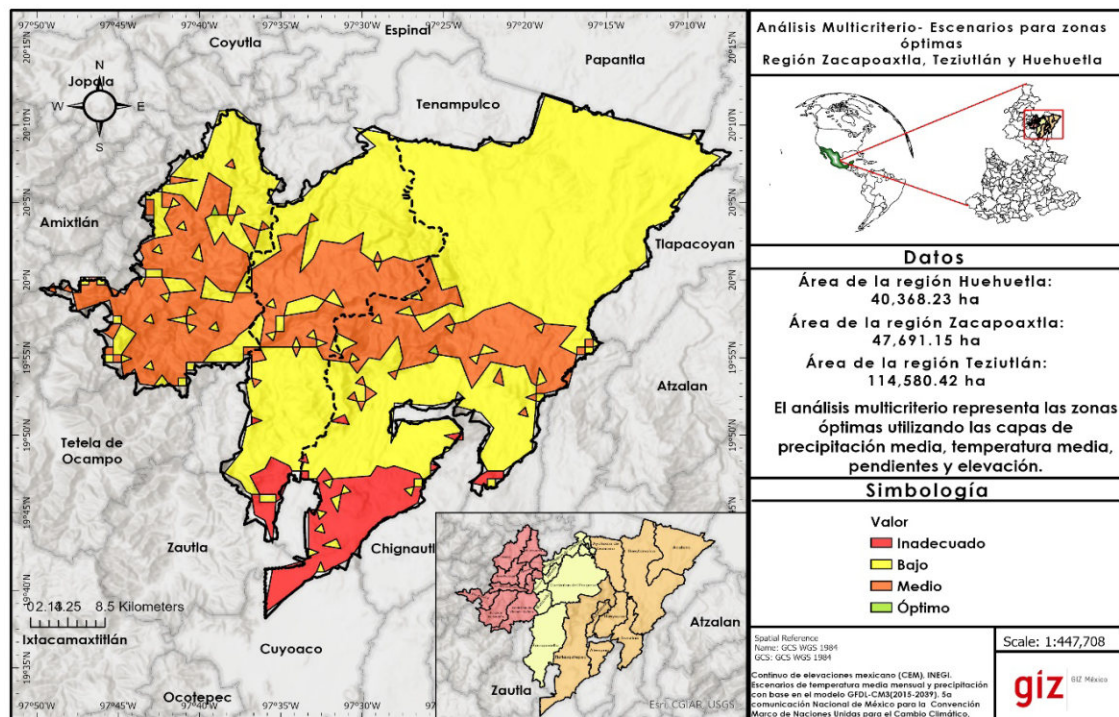


Figura 86. Sitios óptimos para la producción de café, escenario futuro en base a modelo Hadgemm2-es / 4.5 conjunto Sierra Nororiental

En función de la información empleada para el análisis, se espera que a futuro en el conjunto disminuya casi en su totalidad la superficie óptima para la producción, así como como también se presente una mayor área categorizada como media, aumentando también las zonas con condición de idoneidad baja para el cultivo. Así los porcentajes, tomando en consideración el área

total del conjunto, serían respectivamente 0.1%, 29% y 64%. La región donde se perdería más territorio considerado óptimo hoy día sería la de Huehuetla, pasando de un 3.95% a 0.13%. Por su parte, la región de Teziutlán sería la que mayor superficie considerada como de valor medio perdería, al disminuir ésta desde un 41.6% que tiene actualmente a un 15.42% en 2039.

CONJUNTO SIERRA NORTE

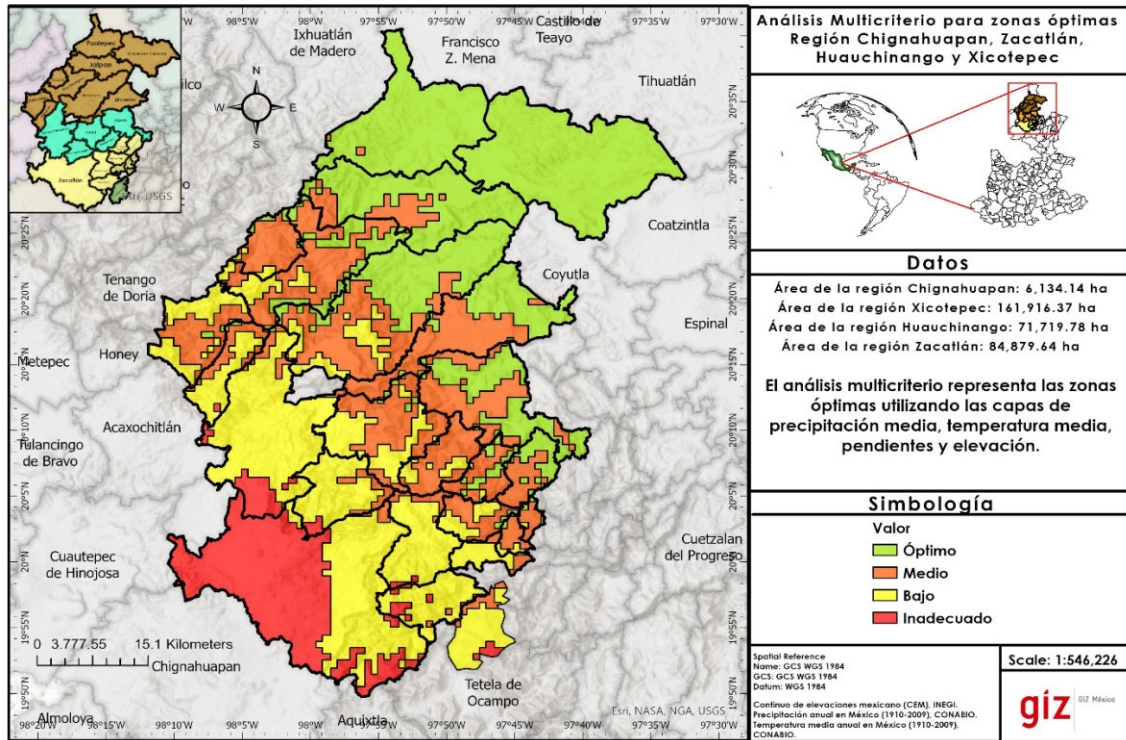


Figura 87. Sitios óptimos para la producción de café, escenario actual conjunto Sierra Norte

Este conjunto presenta un tamaño superior al resto. Tan solo la región de Xicotepec, una de las cuatro que le conforman y la más productiva del estado en cuanto a volumen de café se trata (de acuerdo a datos de la Secretaría de Desarrollo Rural de la entidad), representa el 80% del área total del conjunto Sierra Nororiental y es más grande que los conjuntos Valle de Serdán y Quimixtlán juntos. El conjunto Sierra Norte tiene el 34% de su superficie en condiciones idóneas para la producción de café. la mayoría de la región de

Xicotepec, donde las zonas con características ideales para la caficultura alcanzan el 60.6% del área. De igual manera, existe en el conjunto, distribuido entre las regiones Xicotepec, Huauchinango y Zacatlán, un 25% de zona con idoneidad media para los cafetales. Aquí se produce la mayor cantidad de café de la entidad, siendo reportado por la Secretaría de Desarrollo Rural del gobierno de Puebla un total de 92 046 toneladas para 2019, lo que equivale al 63% de la producción de la entidad.

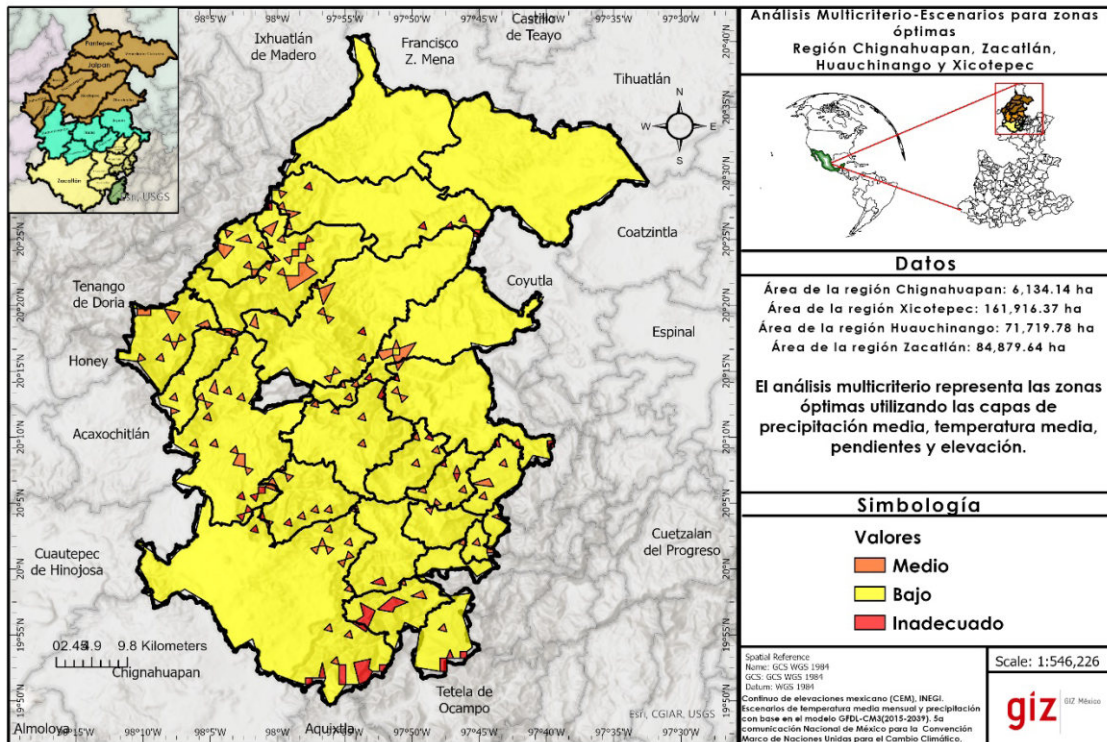


Figura 88. Sitios óptimos para la producción de café, escenario futuro en base a modelo Hadgemm2-es / 4.5 conjunto Sierra Norte

En función de los escenarios de cambio climático empleados para el presente análisis, se calcula que para 2039 prácticamente la totalidad del conjunto quede en condiciones de idoneidad bajas para el cultivo de café (96%), existiendo sólo algunos remanentes al sur de la región de Xicotepec, así como en la región de Huauchinango con valores medios

(3%). Esta proyección es la más drástica de la entidad. Debe ser tomada con precaución pues como se ha mencionado se están considerando los meses más extremos en cuanto a valores de lluvia y temperatura, sin embargo, da una clara idea de la urgente necesidad de instrumentar prácticas de adaptación en la zona.

REFLEXIONES FINALES

Puebla es uno de los tres principales estados productores de café en México. La mayoría de las plantaciones que allí se encuentran son de *Coffea arabica* (SDR, 2020), una especie que ha evolucionado en ambientes frescos y sombreados de zonas altas en Etiopía (Isaza, C y Cornejo J. 2014).

Las nueve regiones cafetaleras de la entidad presentan una importante presencia de población indígena, lo cual es congruente con lo que ocurre en otras partes de Latinoamérica.

El clima de las regiones al norte del estado las hace idóneas para la producción de café, aunque también son las que muestran una mayor transformación de la vegetación original habiéndose tornado esta, en su mayoría, hacia la agricultura.

Salvo un municipio en la región productora de Sierra Negra (Eloxochitlán), los 54 restantes implicados en la actividad al interior del estado presentan de bajo a muy bajo índice de capital natural, así como niveles medios a muy bajos de integridad ecológica, lo que significa que se ha reducido importantemente la capacidad del ecosistema para mantener procesos tróficos que soporten a la fauna mayor.

Todos los conjuntos de regiones que se han analizado presentan algún tipo de degradación del suelo, siendo más recurrente la hídrica. Ello se suma al hecho de que en 7 de las nueve regiones productoras de la entidad se está transformando la cobertura vegetal dando por resultado importantes pérdidas de las porciones boscosas de los diferentes sitios estudiados, así como la fragmentación de los remanentes. Sólo Xicotepec y Huachinango presentan una tendencia inversa, aunque mínima.

No obstante, el 85% del territorio cafetalero de la entidad se encuentra inserto en el Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental, lo que evidencia su transcendental valor entorno a la biodiversidad y, en especial, para los flujos de especies entre la zona de transición de regiones biogeográficas Neártica y neotropical, que como se ha dicho se configura en una de las cinco áreas silvestres de más alta biodiversidad a nivel global (IUNC, 2013).

Los municipios cafetaleros de Puebla están llamados desempeñar un rol importante en la conservación del capital natural del país. Es necesario que, de forma multisectorial, se tomen las medidas necesarias para asegurar la funcionalidad ecológica de los cafetales si es que se busca que aporten muchos más elementos al paisaje de lo que ahora hacen.

Precisamente a escala de paisaje es que la producción de café bajo sombra diversificada puede funcionar como corredor biológico para una parte importante de la diversidad biológica local, contribuyendo así al equilibrio entre la conservación y la producción al conectar fragmentos remanentes de bosques nativos (García-Burgos, 2014), para potenciar las funciones ecosistémicas favoreciendo a su vez la productividad.

Las plantaciones de café, entendidas como socioecosistemas productivos, generan sinergias que se manifiestan en el aumento de servicios ambientales y en un proceso co-evolutivo, lo que en gran medida depende del mantenimiento de la multifuncionalidad del paisaje, por ello las prácticas tendientes a generar espacios monofuncionales deberían ser desalentadas.

Si bien el cambio climático no es el único factor que puede afectar a la producción de café, tal vez sí sea uno de los más importantes (Isaza, C y Cornejo J. 2014), por lo cual debe ser tomando en consideración dentro de todo proceso de planeación e implementación de acciones de orden público o privado que se realice para estimular el desarrollo sostenible local y regionalmente.

De entre las regiones cafetaleras de Puebla, las proyecciones de modificación en los patrones de lluvia y temperatura apuntan a que la máxima afección se dará en las zonas de mayor producción. Esto no es dispar con lo que en general se ha modelado para la caficultura en los países en vías de desarrollo.

Esta situación puede llevar a redefinir el uso del suelo en muchas de las regiones cafetaleras (Isaza y Cornejo, 2014), lo que sin duda podría tener implicaciones de mayor trascendencia para quienes dependen de la actividad.

Es prioritario detonar acciones contundentes para evitar que sean las comunidades rurales las más afectadas por modificaciones en el rendimiento y los ciclos productivos, lo que se configura, entre otros elementos, en una de las principales consecuencias del cambio climático (Isaza, C y Cornejo J. 2014).

La agroforestería, la gestión integrada del agua, el abonado orgánico, las técnicas de bioingeniería, la labranza de conservación, la generación de sumideros de carbono, la generación de parches de vegetación nativa alrededor de las zonas de cultivo, el uso de biocontroladores de plagas, el mantenimiento de la diversidad biológica y el estímulo a la conectividad a nivel de paisaje son todas acciones de adaptación y/o mitigación que se pueden implementar desde un referente socioecológico a nivel multiescalar.

El café es un orgullo de Puebla. La gestión de las regiones cafetaleras en la entidad también debe serlo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Alejandra Miguez-Gutiérrez, Jesús Castillo, Juan Márquez e Irene Goyenechea (2012). Biogeografía de la Zona de Transición Mexicana con base en un análisis de árboles reconciliados. *Revista Mexicana de Biodiversidad* vol. 84: 215-224, 2013
2. Alfonse, A.A., Trejo-García, J.C. y M.A. Martínez-García (2018) Opción climática para la producción de café en México. *Ensayos Revista de Economía*, 37(2),135-154 DOI: <http://dx.doi.org/10.29105/ensayos37.2-1>
3. Andrade, Y. (2016). Establecimiento de la influencia de los sistemas agroforestales como alternativa sostenible en la producción de café (*Coffea arabica* L). Tesis de grado. Universidad militar nueva granada. Bogota, Colombia. 24p.
4. Anta Fonseca, Salvador (2006). El café de sombra: un ejemplode pago de servicios ambientalespara proteger la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, (80),19-31.[fecha de Consulta 26 de Abril de 2021]. ISSN: 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908002>
5. Anta, Salvador (2006). El café de sombra: un ejemplode pago de servicios ambientalespara proteger la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, (80),19-31.[fecha de Consulta 26 de Abril de 2021]. ISSN: 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908002>
6. Armenteras D, Vargas O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biol. Colomb*; 21(1)Supl:S229-239. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n1sup.50848>
7. BirdLife International (2013) BirdLife International World Bird Database, accessed 13 April 2020.
8. Cámara de Diputados (2018). El Café en México Diagnóstico y Perspectiva. Palacio Legislativo, Ciudad de México. 33pp.
9. Cámara de Diputados (2019). Propuestas para reactivar la producción y comercialización de Café en México 2019-2024. Palacio Legislativo, Ciudad de México. 19pp.
10. Cámara de Diputados bis (2019). Comercio internacional de Café, el caso de México. Palacio Legislativo, Ciudad de México. 19pp.
11. Caro-caro C, Torres-Mora M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Meta. Colombia* Vol 19 2, 16pp.
12. Cazco, K. (2015). Efectos del tipo de sombra en la escorrentía y erosión en el sistema agroforestal café en la microcuenca Santa Inés, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano Honduras. 26p.
13. CONABIO - Espinosa, D., S. Ocegueda., C. Aguilar, O. Flores and J. Llorente-Bousquets, (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. (pp. 33-65). En: Sarukhán, J., J. Soberón, G. Halffter and J. Llorente-Bousquets (Eds.). *Capital Natural de México, Vol. I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad*. CONABIO, México.
14. Corinto, GL (2014). Nikolai Vavilov's Centers of Origin of Cultivated Plants With a View to Conserving Agricultural.

15. Cruz, S. y G. Torres. 2016. "Caracterización del agroecosistema cafetalero en la Sierra Sur de Oaxaca". En Química, Biología y Agronomía. Handbook T-I. Rérez, F., E. Figueroa, L. Godínez, J. Quiroz y R. García (eds.). Texcoco (México): Ecorfan.
16. Denier, L., Scherr, S., Shames, S., Chatterton, P., Hovani, L., Stam, N. (2017). El Pequeño Libro sobre Paisajes Sostenibles (Lorenzo, J., traducción, Mercado, L., edición técnica y corrección). Global Canopy Programme: Oxford. 172p.
17. FAO (2017). Agroforestería para la restauración del paisaje. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma. 28pp
18. Figueroa-Hernández, Esther, Pérez-Soto, Francisco, Godínez-Montoya, Lucila (2015). La producción y el consumo de café. Editorial Ecorfan, Mexico.
19. Fischer J, Riechers M, Loos J, Martin-Lopez B, Temperton V. (2020). Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour. Trends in ecology and evolution 2749 9pp.
20. Flores, F. (2014) La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. Espacio I+D Innovación más Desarrollo, 4 (7), 174-194. doi: 10.31644/IMASD.7. 2015.a07
21. Franco, B (2012). Propuesta de tipologías generales de los socio -ecosistemas a escala nacional aplicable a los páramos de Guerrero Rabanal y Santurbán. Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia.
22. Gallardo, A (2013). Estudio de conectividad de parcelas cafetaleras y propuestas de restauración para limitar la dispersión de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) mediante parches de bosque tropical (turrialba) costa rica, tesis de maestría. Universidad complutense de Madrid. Alcalá de Henares, España. 51p.
23. García-Burgos, J., Gallina, S. & González-Romero, A. 2014. Relación entre la riqueza de mamíferos medianos en cafetales y la heterogeneidad espacial en el centro de Veracruz. Acta Zoológica Mexicana (n. s.), 30(2): 337-356
24. González G., H. A. y J. R. Hernández S. (2016), "Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México", Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 90, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 105-118, dx.doi.org/10.14350/rig.49329.
25. Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. Revista de Estudios Sociales. Universidad de los Andes, No. 32
26. Guhl, Andres. (2004). Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana, 1970-1997. Cenicafe. 55. 29-44.
27. Hernández-Martínez, G., Espíndola, V. y De la Rosa, A. (2018). El Café de México.
28. Hidalgo, J (2016). Vulnerabilidad y adaptabilidad a la variabilidad climática en diversos sistemas cafetaleros en Pacho – Cundinamarca. Tesis de Maestría. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, Colombia, 102 p.
29. Horcea-Milcu, A.-I., B. Martín-López, D. P. M. Lam, and D. J. Lang. 2020. Research pathways to foster transformation: linking sustainability science and social-ecological systems research. Ecology and Society 25(1):13. <https://doi.org/10.5751/ES-11332-250113>
30. Huerta Palacios, G. & Holguín Meléndez, F. (2016). ¿Cómo contener la roya del café? Revista Ecofronteras, 20(58), 18-20.
31. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). (2016.) La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe Disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional en <http://iica.int>. San José, Costa Rica, 126 p. ISBN: 978-92-9248-651-8

32. Isaza, C y Cornejo J. (2014). Cambio climático y su impacto en el cultivo del café. Solidaridad-Norad. 39pp
33. IUCN - Bertzky, B., Shi, Y., Hughes, A., Engels, B., Ali, M.K. y Badman, T. (2013) Terrestrial Biodiversity and the World Heritage List: Identifying broad gaps and potential candidate sites for inclusion in the natural World Heritage network. IUCN, Gland, Switzerland and UNEP-WCMC, Cambridge, UK. xiv + 70pp
34. Liang, Jingjing; Crowther, Thomas W; Picard, Nicolas; Wiser, Susan; Zhou, Mo; Alberti, Giorgio; Schulze, Ernst-Detlef; McGuire, A. David; Bozzato, Fabio; Pretzsch, Hans; de-Miguel, Sergio; Paquette, Alain; Hérault, Bruno; Scherer-Lorenzen, Michael; Barrett, Christopher B.; Glick, Henry B.; Hengeveld, Geerten M.; Nabuurs, Gert-Jan; Pfautsch, Sebastian; Viana, Helder; Vibrans, Alexander C.; Ammer, Christian; Schall, Peter; Verbyla, David; Tchebakova, Nadja; Fischer, Markus; Watson, James V.; Chen, Han Y. H.; Lei, Xiangdong; Schelhaas, Mart-Jan; Lu, Huicui; Gianelle, Damiano; Parfenova, Elena I.; Salas, Christian; Lee, Eungul, Lee Boknam; Seok, Hyun Kim; Bruelheide, Helge; Coomes, David A.; Piotta, Daniel; Sunderland, Terry; Schmid, Bernhard; Gurllet-Fleury, Sylvie; Sonké, Bonaventure; Tavani, Rebecca; Zhu, Jun; Brandl, Susanne; Vayreda, Jordi; Kitahara, Fumiaki; Searle, Eric B.; Neldner, Victor J.; Ngugi, Michael R.; Baraloto, Christopher; Frizzera, Lorenzo; Balazy, Radomir; Oleksyn, Jacek; Zawila-Niedwiecki, Tomasz; Bouriaud, Olivier; Bussotti, Filippo; Finér, Leena; Jaroszewicz, Bogdan; Jucker, Tommaso; Valladares, Fernando; Jagodzinski, Andrzej M.; Peri, Pablo L.; Gonmadje, Christelle; Marthy, William; O'Brien, Timothy; Martin, Emanuel H.; Marshall, Andrew R.; Rovero, Francesco; Bitariho, Robert; Niklaus, Pascal A.; Alvarez-Loayza, Patricia; Chamuya, Nurdin; Valencia, Renato; Mortier, Frédéric; Wortel, Verginia; Engone-Obiang, Nestor L.; Ferreira, Leandro V.; Odeke, David E.; Vasquez, Rodolfo M.; Lewis, Simon L. y Reich Peter B. (2016) Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. Science. (354) DOI: 10.1126/science.aaf8957.
35. Márquez Romero, Fanny, Julca Otiniano, Alberto, Canto Saenz, Manuel, Soplín Villacorta, Hugo, Vargas Winstanley, Silvana, & Huerta Fernández, Pablo. (2016). Sustentabilidad ambiental en fincas cafetaleras después de un proceso de certificación orgánica en la convención (Cusco, Perú). Ecología Aplicada, 15(2), 125-132. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.752>
36. McConnell, William (Managing Ed.). "Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change," Report and Review of an International Workshop, EUA (October 4–7, 2001): VII-XI.
37. Mérida, Jose Alfredo (2010). Tesis: Efecto del uso del suelo sobre la diversidad de abejas en paisajes dominados por cultivos de café. El Colegio de la Frontera Sur. México, 36pp.
38. Montero, A (2014). Una aproximación a los cambios del paisaje. HALAC. Belo Horizonte, volumen III, número 2, marzo-agosto 2014, p. 276-309.
39. Montes, M.a.; Urbina, L.F.; Calderón C., R.; Miguel G., A. De. Análisis de paisaje: Efecto de las coberturas de la tierra sobre la contaminación producto de la fertilización del café microcuenca La Frisolería municipio de Salamina Caldas. Manizales: APC Colombia : CENICAFE : NESPRESSO : FNC : NESTLE, 2018. 66 p
40. Oehri, Jacqueline; Schmid, Bernhard; Schaepman-Strub Gabriela y Niklaus, Pascal. (2017). Biodiversity promotes primary productivity and growing season lengthening at the landscape scale. Proceedings of the National Academy of Sciences (114), pp 1-6.
41. Rendón, D; Monroy, K. (2017). Análisis de sustentabilidad de socioecosistemas con cultivos de café (*Coffea arabica*). Estudio de caso en los municipios de rosas (cauca) y florencia (caquetá). Manizales, Caldas, Colombia.: Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas.

42. Rincón Cardona, F. (2018). Modelo explicativo territorial para paisajes agroproductivos en Colombia, caso Paisaje Cultural Cafetero. *Perspectiva Geográfica*, 23(1), 89-103. doi: 10.19053/01233769.6551
43. Rivera Silva, María del Rayo, Nikolskii Gavrillov, Iouri, Castillo Álvarez, Marcial, Ordaz Chaparro, Víctor Manuel, Díaz Padilla, Gabriel, & Guajardo Panes, Rafael Alberto. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 305-313. Recuperado en 26 de abril de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000500305&lng=es&tlng=es.
44. Rojas, A.; Hartman, K.; Almonacid, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. En *Ambiente y Desarrollo XVI* (30); 93-104
45. Salinas E, Moteo J, Costa L y Moreira, A. (2019). Cartografía de los paisajes: teoría y aplicación *Landscape Cartography: Theory and application*. *Physis Terrae*, Vol. 1, n° 1, 2019, 7-29 ISSN: 2184-626X <https://doi.org/10.21814/physisterrae.402>
46. Secretaría de Desarrollo Rural (2020). *Revista Café Orgullo de Puebla*. Gobierno del Estado de Puebla. Puebla, México. 60pp.
47. Solorzano, N; Querales, D. 2010. Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo sombra de cinco especies arbóreas. *Forestal Latinoamericana*. 25(1): 61-80. Disponile en: https://www.researchgate.net/publication/266316856_CRECIMIENTO_Y_DESARROLLO_DEL_CAFE_Coffea_arabica_BAJO_LA_SOMBRA_DE_CINCO_ESPECIES_ARBOREAS
48. Suárez-Mota, M. E. y O. Téllez-Valdés. (2014). Red de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del eje volcánico transmexicano analizando su riqueza florística y variabilidad climática. *Polibotánica* 38: 67-93.
49. Velásquez, R. (2019). *Guía de variedades de café de Guatemala*. Asociación Nacional del Café, Guatemala. 48p.
50. Xotlanihua, D. (2021). Metodología para el análisis del paisaje cafetalero como un sistema de autoprotección ante crisis ambientales en Tlaxiaco, Veracruz. *Punto Cunorte*, 7(12), 69-97
51. Zuluaga, María Lina. (2014). Transformaciones territoriales a propósito del paisaje cultural cafetero. En: Colombia, finalidad: Charla Universidad Católica de Pereira, 19p.



