



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**ANÁLISIS DE IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES DE PROYECTOS
GEOTÉRMICOS: CASO ACOCULCO, PUEBLA**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

SERGIO ENRIQUE SÁNCHEZ DE LOS SANTOS

Ensenada, Baja California, Diciembre 2019



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**ANÁLISIS DE IMPACTOS SOCIO-AMBIENTALES DE PROYECTOS
GEOTÉRMICOS: CASO ACOCULCO, PUEBLA**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

Sergio Enrique Sánchez De los Santos

Aprobada por:

Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera

Directora

Dr. Marco Antonio García Zarate

Codirector

Dra. Zayre Ivonne González Acevedo

Sinodal

Dra. María Concepción Arredondo García

Sinodal

Resumen

En la actualidad, ha sido poco estudiada la interacción que existe entre el medio ambiente y la sociedad en el desarrollo de proyectos de energía renovables como es el caso de la Geotermia. Debido a esto, no se cuenta con metodologías para la implementación de estudios de línea base socio-ambiental, este trabajo tiene como propósito elaborar una propuesta para la evaluación de impacto socio-ambiental de proyectos de energía geotermoeléctrica antes de su implementación. Para ello, se determinaron las unidades ambientales, así como el territorio donde las actividades atienden las prioridades ambientales, culturales y socioeconómicas en la zona de estudio. Para delimitar el Sistema Socio-Ambiental Regional (SAR) y determinar las unidades de paisaje dentro del sistema, se utilizó un Sistema de información Geográfica (SIG) donde se logró evaluar a macro-escala y micro-escala, para lograr obtener las unidades ambientales (UA) dentro del polígono de exploración en la geotérmica de Acoculco, Puebla. El concepto de UA proporciona información fundamental al proceso de planificación y desarrollo de planes diarios de acción del incidente a través de evaluaciones de campo, las recomendaciones para las estrategias de tratamiento, el monitoreo y seguimiento de las actividades de respuesta, la toma de muestras, la gestión de datos, y la preparación de planes para las actividades que requieren permisos y que al mismo tiempo constituya el fundamento territorial de la planificación del territorio; independientemente de los cambios de uso del suelo debidos a los índices de fragmentación y parches por el desarrollo. Por tanto, la finalidad de la definición y delimitación de UA radica en poder realizar una caracterización del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, además de crear e impulsar el desarrollo de políticas, acciones y estrategias que contribuyan a promover el proceso sustentable y de la protección efectiva del medio ambiente en las zonas de exploración para estos proyectos.

Palabras clave:

Unidades ambientales, Geotermia, Indicadores de sustentabilidad, Modelo FPEIR

Dedicatoria.

A mis padres que a lo lejos siempre cuento con su apoyo desde que abandone el nido y a mi familia en general.

A mis hermanos por siempre creer en mí.

Joel mi hermano no solo por ser mi gemelo si no que porque siempre hemos hecho ese gran equipo juntos.

Al Ingeniero Ortiz Villeda en su apoyo incondicional siempre, además de sus sabios consejos y enseñanzas antes de venir a este posgrado al cual tengo gran afecto por siempre creer en mí.

A mis amigos o hermanitos del posgrado en ellos encontré una familia en Ensenada, por soportarme y alimentarme ya que siempre andaba con mucha hambre.

A la Doctora Claudia Leyva por soportarme llamando cada día para preguntar por el posgrado y ser una gran guía en este camino.

A Doctor Marco pero para mí, Marco por ser paciente y enseñarme a escribir ya que llegue sin saber nada de eso, por soportar mis mensajes muy temprano para resolver las dudas que siempre tuviera, un gran guía y amigo.

A la Doctora Zayre por sus aportes y comentarios durante este proceso además de hacer un gran equipo para el proyecto, con quien logré empatizar con mis locas ocurrencias y sin dejar de ser yo alguien muy intrépido.

A la Doctora Conchita por permitirme tener el mejor lugar de trabajo con vista al mar en geomática, por su guía adecuada, consejos sobre todo el cafecito y el pan que nunca hacía falta.

A la Doctora Ileana a quien en un principio le tenía miedo por el respeto que le tenía, pero al final resultó ser una gran amiga y confidente por sus siempre acertados y directos consejos que me ayudaron a resolver mis crisis existenciales de la tesis e incluso personales.

Agradecimientos.

Agradezco al CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de manutención otorgada durante la realización de esta Maestría.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por la beca de colegiatura otorgada.

Se agradece a la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por todo su apoyo para el acceso al sitio de estudio. Además, se agradece al fondo SENER/CONACYT de Sustentabilidad Energética proyecto 2015-04-268074, por el apoyo económico a través del Paquete de Trabajo 9 del proyecto GEMex.

A la Facultad de Ciencias de la UABC por admitirme en la Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas y brindarme las herramientas necesarias en este camino de aprendizaje, para concretar mis estudios. Así como a mis profesores, por ayudarme en esta formación con sus cátedras, consejos y apoyo.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 La energía geotérmica	1
1.2 Sistema geotérmico mejorado	5
1.3 Impacto ambiental asociados a proyectos geotérmicos	6
II. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	8
2.1 Enfoque interdisciplinario para el Manejo de ecosistemas	8
2.2 El Territorio como sistema socio-ecológico.....	9
2.3 Modelo Fuerzas Motrices-Presión-Estado-Impacto y Respuesta (FPEIR)	10
III. OBJETIVOS.....	14
General	14
Específicos	14
IV. METODOLOGÍA	15
4.1 Macroescala Sistema Ambiental Regional (SAR).....	15
4.2 Zonificación ecológica a dos escalas geográficas.	15
4.3 Condiciones socio-ambientales en el sitio de interés.	17
4.4 Obtención de las Unidades Ambientales del Polígono de exploración en la Microescala.....	21
4.5 Evaluación de la calidad ambiental del Polígono de exploración en la Microescala	23
V. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FISICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	25
Localización	25
Clima	26
Hidrología.....	27
Geología	28
Orografía y Topografía.....	30
Edafología.....	30
Vegetación.....	31
Bosque	32
Uso de suelo	33
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
6.1 Unidades Ambientales (UA)	35
6.2 Condiciones socio-ambientales en el sitio de interés.	35
6.3 Marginación en el sitio del proyecto	39

6.4 Situación de la vivienda	40
6.5 Índice de Desarrollo Humano (IDH).....	42
6.6 Índice de Salud (is).....	44
6.7 Índice de Educación (ie).....	45
6.8 Índice de Ingreso (ii)	46
6.9 Calidad de Vida	47
6.10 Presión de la población en el territorio (Indicadores de presión).....	48
6.11 Indicadores de estado	50
6.12 Índice de Calidad del Ambiente (índice de estado).....	50
6.13 Impactos ambientales directos por la geotermia (exploración, construcción y operación) Indicadores de impacto.....	52
6.14 Medidas de mitigación y prevención en Humeros Puebla. Indicadores de respuesta	53
Modelo FPEIR para Los Humeros y Acoculco, Puebla.	55
VII. CONCLUSIONES	61
VIII. BIBLIOGRAFÍA	63
IX. ANEXOS.....	73

Indice de tablas

<i>Tabla 1.-</i> Aplicación del modelo FPEIR en diferentes escenarios seria mas interesante decir de que se trata el	13
<i>Tabla 2.-</i> Clasificación de las unidades de paisaje por cobertura de Uso de Suelo y Vegetación en la Macro escala para el SAR.....	18
<i>Tabla 3.-</i> Clasificación de las unidades de paisaje y por Suncuencia y cobertura en la Macro escala para el SAR.	18
<i>Tabla 4.-</i> Clasificación de las unidades de paisaje por condición en el uso de suelo en la Macro escala para el SAR.	20
<i>Tabla 5.-</i> Sistema de Clasificación de Unidades Ambientales Polígono de Exploración.	22
<i>Tabla 6.-</i> Geología en el Municipio de Chignahuapan.....	29
<i>Tabla 7.-</i> Caracterización del medio físico del sitio de estudio del proyecto.....	34
<i>Tabla 8.-</i> Reclasificación las localidades dentro del polígono de la CFE, Acoculco, Puebla, noviembre 2018.	37
<i>Tabla 9.-</i> Resumen de localidades clasificadas en función de numero de habitantes y grado de marginación. Acoculco Puebla.....	38
<i>Tabla 10.-</i> IDH elaborado por el Consejo Estatal de Población.....	42
<i>Tabla 11.-</i> IDH del municipio de Chignahuapan. Elaboración propia con base (PNUD, 2005; CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015).....	43
<i>Tabla 12.-</i> Calidad del Ambiente en el polígono de exploración de Acoculco.	51
<i>Tabla 13.-</i> Gestiones ambientales para dar cumplimiento al marco jurídico ambiental Humeros. Modificado de (Pastrana, 2005).	52
<i>Tabla 12.-</i> Indicadores socio-ambientales para evaluarlos con el modelo FPEIR.	57

Indice de figuras

<i>Figura 1.-</i> Representación de un sistema geotérmico ideal.....	2
<i>Figura 2.-</i> Beneficios del desarrollo de un proyecto geotérmico	4
<i>Figura 3.-</i> Emisiones de carbón en la generación de energía.....	7
<i>Figura 4.-</i> Modelo FPEIR.	11
<i>Figura 5.-</i> Polígono de exploración de CFE, Acoculco, Puebla.	15
<i>Figura 6.-</i> Metodología para la delimitación del Sistema Ambiental Regional (SAR) en el área de estudio. ...	16
<i>Figura 7.-</i> Condición de la vegetación del sistema ambiental regional (SAR).	21
<i>Figura 8.-</i> Unidades ambientales para la microescala Polígono de exploración de CFE Acoculco.	22
<i>Figura 9.-</i> Diagrama del índice de la Calidad del Ambiente en el área de estudio.	24
<i>Figura 10.-</i> Localización del Municipio de Chignahuapan.....	26
<i>Figura 11.-</i> Reclasificación de las localidades dentro del polígono de exploración de Acoculco.	38
<i>Figura 12.-</i> Grado de marginación en las localidades y secciones geoelectorales del SAR.	39
<i>Figura 13.-</i> Grado de marginación al nivel de localidades dentro del polígono de exploración de Acoculco.	40
<i>Figura 14.-</i> Servicios básicos de la vivienda de las localidades dentro del polígono de exploración.	41
<i>Figura 15.-</i> Reclasificación del IDH de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acoculco (Grado bajo y muy bajo).....	44
<i>Figura 16.-</i> Reclasificación del Índice de Salud (is) de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acoculco (grado bajo y muy bajo).	45
<i>Figura 17.-</i> Reclasificación del Índice de Educación (ie) de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acoculco (grado bajo y muy bajo).....	46
<i>Figura 18.-</i> Reclasificación del Índice de Ingreso (ii) de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acoculco.	47
<i>Figura 19.-</i> Diagrama de integración del modelo (Determinación para la situación de la calidad de vida en la zona de estudio).....	48
<i>Figura 20.-</i> Presión de población /hogares sobre el territorio y grado de IDH por localidad.	49
<i>Figura 21.-</i> Medidas de mitigación y prevención de los impactos ambientales en los Humeros, Puebla.....	54
<i>Figura 22.-</i> Trámites y cumplimientos ambientales en el campo geotermoeléctrico de Los Humeros.	54
<i>Figura 23.-</i> Modelo Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta, P-E-I/E-R (Humeros).	55
<i>Figura 24.-</i> Modelo Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta, P-E-I/E-R. (Acoculco).....	56

I. INTRODUCCIÓN

1.1 La energía geotérmica

A lo largo de las últimas décadas las poblaciones humanas han incrementado en número y con ello en necesidades por satisfacer. Una de las más sobresalientes es la demanda energética, en parte como consecuencia del desarrollo humano y tecnológico que conlleva a un estilo de vida dependiente de la energía eléctrica. Es por ello que a nivel mundial se ha generado una serie de cambios en la perspectiva de la seguridad energética. Estos cambios buscan la inclusión, dentro de la planeación energética, de temas relevantes como el cambio climático, contaminación de cuerpos de agua, tanto marina como continentales, la acidificación de suelos (*IPPC, 2001*), la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación del aire y los estragos que estas alteraciones han generado en la salud humana (*Bini; Bresolin, 1998; INECC, 2016*).

Este trabajo tiene como propósito elaborar una línea base para realizar una propuesta de manejo ambiental para el desarrollo de proyectos de exploración y aprovechamiento de energía geotérmica, en particular para la zona de Acoculco, Puebla.

Existen razones para considerar que la energía geotérmica posee ventajas sobre otros tipos de producción de energía. Entre estas ventajas están los beneficios ambientales debido a su naturaleza libre de combustibles con menos emisión de gases de efecto invernadero. Además, las centrales geotérmicas son sumamente confiables y por lo regular funcionan más del 95% del tiempo y algunas plantas lo hacen al 99%. Esto comparado con la disponibilidad del 60-70% que tienen las plantas nucleares y a base de carbón (*Fridleifsson, 2001; Yang, 2012*), las hace más competitivas.

La energía geotérmica es la energía de la Tierra, es un tipo de energía renovable prácticamente inagotable, con una madurez tecnológica sólida, limpia, versátil y útil para generar electricidad, entre otras múltiples aplicaciones (Santoyo-Gutiérrez y Torres-Alvarado, 2010). Puede ser aprovechable de dos formas distintas, la primera es para el uso directo del calor geotérmico en diversos procesos y la otra forma para producir energía eléctrica. Para lograr producir electricidad se aprovecha la salida del vapor de las zonas geotérmicamente activas, que accionan turbinas que ponen en marcha generadores eléctricos (Figura 1). Para ello es necesario que la temperatura del agua subterránea profunda (>1 km) sea superior a 150 °C (Fridleifsson et al 2008), si se usa la tecnología de ciclo binario, la temperatura puede ser de 100 °C (esta tecnología consiste básicamente en que el agua le cede el calor a otro fluido que vaporiza a menor temperatura que el agua). Estos yacimientos geotérmicos, tienen potencial total para la generación de electricidad, y se denominan como de alta temperatura (Fridleifsson, 2001; Hutterer, 2001).

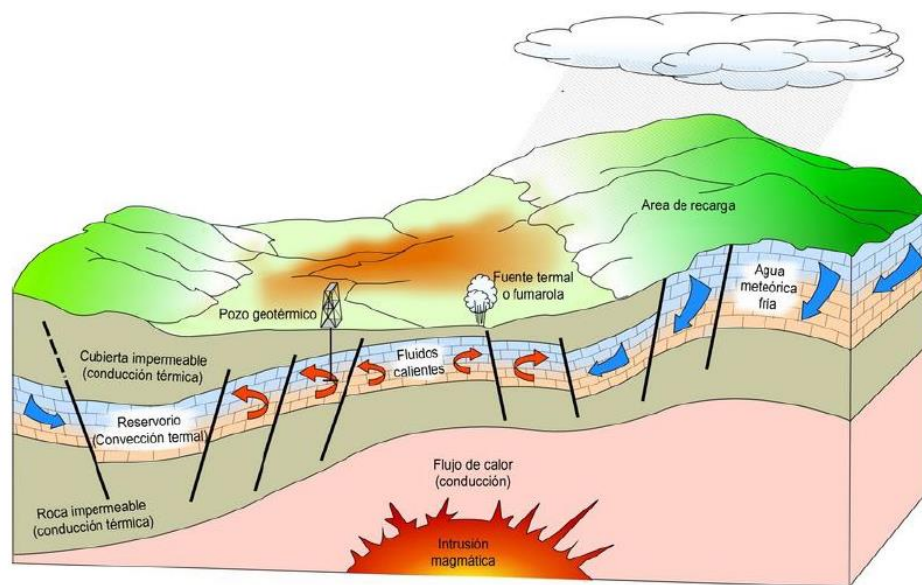


Figura 1.- Representación de un sistema geotérmico ideal.
Fuente: Dickson y Fanelli (2003).

La energía geotérmica se produce por la diferencia de temperatura que hay entre la superficie terrestre y la de su interior, que va desde una media de 15 °C en la superficie hasta los 6,000 °C que posee el núcleo interno (*Huttrer, 2001*). Debido a esta diferencia de temperatura se genera un flujo continuo de calor desde el interior de la Tierra hacia la superficie. La temperatura terrestre aumenta aproximadamente 3 °C en promedio por cada 100 m de profundidad, y en algunas zonas de la corteza existen anomalías geotérmicas que provocan que la temperatura aumente entre 100 °C y 200 °C por km, estas zonas son las que mejor se pueden aprovechar desde el punto de vista geotérmico (*Bertani, 2015*).

El país con el mayor uso de energía geotérmica es Islandia, que obtiene el 50% del uso total de energía primaria de la geotermia, el resto proviene de hidroelectricidad 18%, petróleo 30% y carbón 2%. Alrededor del 68% de la energía primaria de Islandia se produce por fuentes de energía renovable (*Fridleifsson, 2001*). Además, la energía geotérmica proporciona el 86% de la calefacción de todo el territorio de Islandia y aproximadamente el 16% de la generación de electricidad (el resto es hidroeléctrica). La energía geotérmica también se utiliza para invernaderos, industrias, piscicultura, derretimiento de nieve y baños (Figura 2) (*Ragnarsson, 2000*). Ahora bien, la energía geotérmica no solo ha mejorado la economía y el medio ambiente en Islandia (OECD, 2015), sino que también ha mejorado significativamente la calidad de vida de las personas. Los combustibles fósiles contaminantes (que deben importarse) solo se utilizan en Islandia en el sector del transporte (automóviles, barcos y aviones) (*Fridleifsson, 2001*).

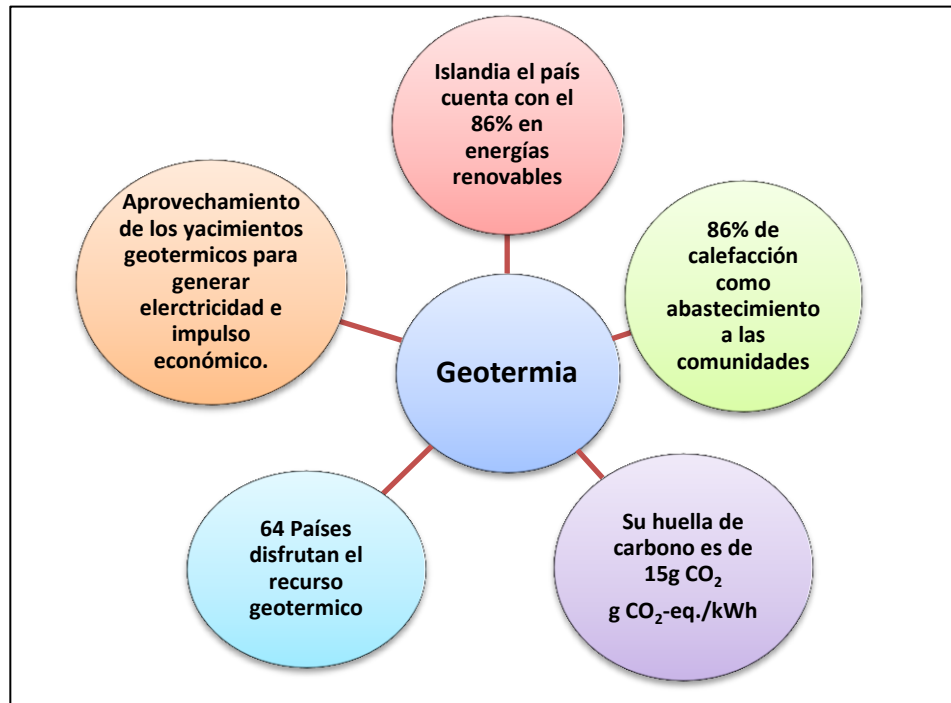


Figura 2.- Beneficios del desarrollo de un proyecto geotérmico

Elaboración propia; (Fridleifsson, 2001; Ragnarsson, 2000; González-Acevedo y Olgúin, 2016)

En México la generación geotermoeléctrica se inició en la localidad de Pathé, Hidalgo, donde la CFE perforó un total de 24 pozos con profundidades de entre 200 a 1,300 m entre los años 1955 a 1960, varios de los cuales produjeron agua y vapor, aunque eventualmente algunos de ellos dejaron de fluir. La planta operó hasta 1973 con una capacidad nominal de 3.5 MW (Milán y Herrera, 1987). México cuenta actualmente con una capacidad geotermoeléctrica instalada de 975 MWe distribuidos en cinco campos geotérmicos, de los cuales cuatro son operados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y uno por el grupo Dragón. Los operados por la CFE son: Cerro Prieto, Baja California (720 MWe); Los Azufres, Michoacán (195 MWe); Los Humeros, Puebla (40 MWe) y Las Tres Vírgenes, Baja California (10 MWe) y el operado por el grupo Dragón es el Domo de San Pedro (10 MWe) (Santoyo-Gutiérrez y Torres-

Alvarado, 2010; Gutiérrez, 2005; Ordáz et al., 2011). Esta producción representa alrededor del 2.97 por ciento de generación de energía por fuente (*SENER 2019*).

En 2014, el país era la cuarta potencia en el sector de la generación de energía geotermoeléctrica, tan solo por debajo de Estados Unidos (2 mil 687 MWe), Filipinas (1,970 MWe) e Indonesia (992 MWe). No obstante, para finales de 2017, Turquía –país que ni siquiera figuraba en los primeros diez lugares, tres años atrás- y Nueva Zelanda, se colocaron en el cuarto y quinto lugar, respectivamente. Actualmente, México ocupa el sexto lugar como generador de electricidad por medio de la energía geotérmica con una capacidad instalada de 975 MWe (*Ordáz et al., 2011*).

En México, el potencial geotérmico para las *Reservas Posibles* en recursos de alta entalpía ascienden a 5,691 MWe, para los de mediana entalpía el recurso se estima en 881 MWe y los de baja entalpía en 849 MWe con un total de 7,422 MWe. Por otra parte, las *Reservas Probables* con las que se cuenta para ser aprovechadas como recurso de alta entalpía son de 1,643 MWe, para los de mediana entalpía son 220 MWe y para los de baja entalpía de 212 MWe con un total de 2,077 MW. Además, se ha encontrado en cada uno de los campos geotérmicos conocidos una capacidad adicional total de 186 MWe (*Ordáz et al., 2011*).

1.2 Sistema geotérmico mejorado

En el caso particular de Acapulco Pue., los primeros estudios exploratorios sugieren que puede ser un yacimiento de roca seca caliente, debido a que la manifestación hidrotermal en la superficie tiene una temperatura relativamente baja (25 °C) y las rocas tienen baja permeabilidad. A este tipo de sistemas geotérmicos también se le denominan sistemas geotérmicos mejorados o

EGS por sus siglas en inglés (*EGS: Enhanced Geothermal Systems*), los cuales requieren que la roca se rompa para que deje salir el calor geotérmico, por lo que las emisiones atmosféricas de dióxido de carbono se reducen (*Brown, 2000; Pruess, 2006; Púlido et al., 2011*). Para aprovechar el calor geotérmico y utilizarlo de manera directa o indirecta en la superficie, regularmente es necesario perforar un pozo de más de 1 km de profundidad y además es necesario hacer una estimulación con fracturamiento hidráulico y/o químico, esto se requiere ya que las porosidades y permeabilidades de las rocas calientes suelen ser bajas y no permiten que fluya el sistema. Después es necesario mejorar la cantidad, calidad y conexión de las grietas y fracturas de las rocas inyectando agua a presión, y más adelante perforar otro pozo cerca del primero. Finalmente, debe inyectarse en uno de los pozos un fluido, como el agua, que se vaya calentando conforme desciende, y que después fluya hacia el otro pozo y pueda recuperarse finalmente con pérdidas mínimas de temperatura y presión. Se espera que con este tipo de sistemas, el potencial técnico sea 25 veces superior a la capacidad geotermoeléctrica instalada actual en el país y alrededor del 48% de la capacidad eléctrica total instalada en México (*Gutiérrez, 2005; Genter et al., 2010; Púlido, 2011; Viggiano et al., 2011; CeMIE-Geo, 2014; Olasolo et al., 2016*).

1.3 Impacto ambiental asociados a proyectos geotérmicos

A pesar de que la energía geotérmica es considerada como una fuente de energía renovable, los impactos ambientales no pueden ser excluidos durante el desarrollo del proyecto, éstos dependerán de la etapa de desarrollo del proyecto geotérmico. En la etapa de exploración, los impactos ambientales suelen ser mínimos, llegando a ser eventualmente mayores en la etapa

de perforación exploratoria y en la evaluación del recurso. Como es de esperarse, los mayores impactos ocurren durante la construcción de la central geotermoeléctrica, donde normalmente el sitio puede cambiar si se considera la modificación del terreno e instalación de estructuras hechas por el hombre. Además, existen posibles efectos ambientales de la industria geotérmica, en donde puede haber: subsidencia (hundimiento del terreno), micro-sismicidad, ruido, emisiones a la atmósfera, contaminación de aguas superficiales, subterráneas y el suelo, cambios en el paisaje y el uso del suelo, generación de residuos sólidos y afectación ambiental. Durante la etapa de generación de energía eléctrica existen impactos menores (*Haraldsson 2011; González-Acevedo y Olgún, 2016*).

En cuanto al rango de emisiones de CO₂ de los campos geotérmicos de alta temperatura utilizados para la producción de electricidad en el mundo es de 13-380 g/kWh, mientras que las emisiones de CO₂ son de 453 g/kWh para gas natural, 906 g/kWh para petróleo y 1,042 g/kWh para el carbón. Las emisiones de azufre también son significativamente menores para la energía geotérmica en comparación con las centrales eléctricas de combustibles fósiles (*Fridleifsson 2000*).

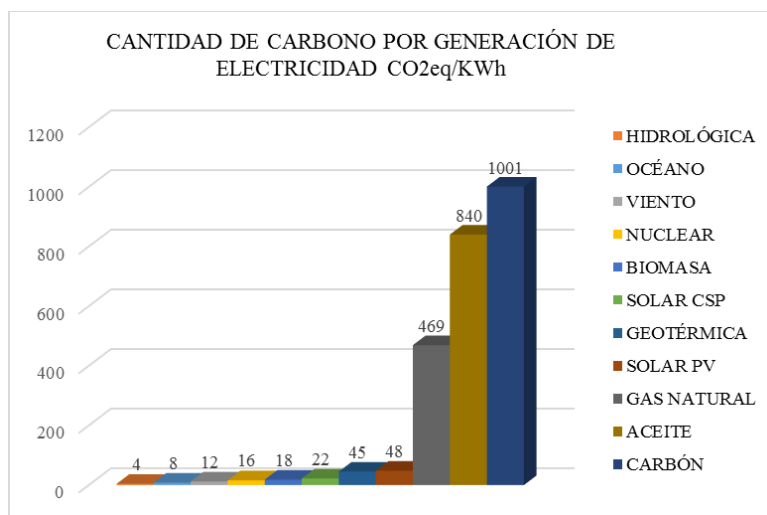


Figura 3.- Emisiones de carbón en la generación de energía. (Modificada de González-Acevedo 2016)

II. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

2.1 Enfoque interdisciplinario para el Manejo de ecosistemas

El manejo de ecosistemas entendido como la construcción transdisciplinaria e interdisciplinaria de estrategias que determinan procesos para la protección, conservación y aprovechamiento de los socioecosistemas como respuesta a agentes de cambio (*Meza, 2018*), representa un enfoque adecuado para el análisis de los impactos asociados a proyectos de aprovechamiento geotérmico. Donde la complejidad de los factores socioecológicos de los sitios de exploración, demanda una aproximación apropiada que considere las múltiples visiones de los actores sociales y los diversos factores ambientales que se ven involucrados en el proceso. Haciendo frente a los nuevos retos que la geotermia necesita, con base en los diversos enfoques de estudio de las distintas disciplinas, utilizando herramientas que permitan el desarrollo adecuado de los proyectos (*Carlsson y Berkes, 2005*).

Por otro lado, el enfoque interdisciplinario es necesario para la conservación de los ecosistemas, dado que aporta nuevos métodos y conceptos integradores en la implementación de políticas de conservación. Para lo cual es importante poner atención a los impactos derivados de la degradación que las actividades antropogénicas originan en el ambiente, para contrarrestar la pérdida de la biodiversidad como también funciones y procesos ecológicos de distintas escalas. Este enfoque socioecológico es el nuevo paradigma en el ámbito de la conservación (*Washitani, 2001; Buzai, 2007; Chávez y Chávez, 2006*).

Para una efectiva comprensión del enfoque interdisciplinario es necesaria la creación de nuevos procesos que faciliten el entendimiento de los problemas socioecológicos como sistemas complejos (*Christie, 2011; Pretty, 2011; Holm, 2012; Pahl-Wostl et al., 2012; Carlsson y*

Berkes, 2005). A su vez, el aspecto esencial de la interdisciplina en el manejo de ecosistemas radica en la posibilidad de superar la separación entre las disciplinas, evitando la visión fragmentada, la toma de decisiones unilaterales y/o la duplicidad de funciones. El trabajo se asume, de acuerdo a la función de cada especialista, sino atendiendo a las necesidades de un proyecto con fines sustentables en este caso específico proyectos geotérmicos (*Canetti y Da Luz, 2005; Blackstock, 2007; Pohl, 2008; Lang et al., 2012*).

2.2 El Territorio como sistema socio-ecológico

La ecología del paisaje considera la conducta antropogénica dentro de los sistemas ecológicos, denominados modelos socioecológicos que permiten estudiar los paisajes en una escala humana (*Nassaeur, 1995*;). La asociación internacional de ecología del paisaje (*IALE, 2005*) argumenta que en la actualidad se deben de considerar cuatro aspectos fundamentales:

- a) La estructura espacial del paisaje, extendiéndose desde lo natural hasta las ciudades.
- b) La relación entre la estructura y los procesos del paisaje.
- c) La relación de las actividades antrópicas y los patrones del paisaje, procesos y cambios.
- d) Los efectos de la escala y el disturbio en el paisaje.

Las unidades de paisaje han sido caracterizadas por rasgos físicos, geológicos, climáticos, bióticos y abióticos de cada sitio en particular, de manera jerarquizada según cada unidad (*Bolós y Ortiz, 2006*), y pueden ser divididas en unidades de paisaje y/o ambientales con base a sus características de homogeneidad. Pueden concebirse como la representación externa del ecosistema por medio de indicadores fácilmente perceptibles (*Gómez-Orea, 1978*), donde se considera al paisaje como una unidad funcional y dinámica integrada por elementos biofísicos y

socioeconómicos interrelacionados, que al aproximarse a los componentes y procesos que ocurren en él, se interpreta con una visión sistémica o ecológica (*Ramos, 1979; Serrano, 2012*). En este contexto, el paisaje se entiende como una superficie de terreno heterogénea, compuesta por un conjunto de ecosistemas en interacción que se repiten de forma similar en ella (*Forman y Godron, 1986*).

Estas unidades constituyen la expresión de los elementos y procesos del territorio en términos comprensibles y, sobre todo, en términos operativos (*Winter, 2001*). El interés de clasificar al territorio en unidades ambientales es diagnosticar el grado de alteración de la comunidad vegetal, comprender la dinámica de la fragmentación a través de cambios en el uso del suelo (*Jenerette y Wu, 2001; Hunter, 1996*). En términos de conservación del territorio, las UA permiten conocer las amenazas por actividades incompatibles con el mantenimiento de la calidad ambiental, la vocación natural del suelo, la degradación e impactos existentes, incluso son necesarias para fines de monitoreo (*Rodríguez, 1999; Arellano, 2001; Díaz-Pérez, 2001*).

Definir el territorio como sistema socioecológico (SSE) nos permite construir el conocimiento de los patrones y procesos del paisaje, desarrollar herramientas integradoras, aplicables a paisajes y situaciones reales para que apoyen la resolución de problemas, con respuestas de gestión o políticas eficientes capaces de mantenerlos (*IALE, 2005; Arredondo-García, 2006 ; Hansen et al., 2010; Peters, 2013*).

2.3 Modelo Fuerzas Motrices-Presión-Estado-Impacto y Respuesta (FPEIR)

El modelo FPEIR (Figura 4) probablemente es el marco conceptual más aceptado a nivel mundial debido a su simpleza, facilidad de uso y la posibilidad de aplicación a diferentes niveles,

escalas y actividades humanas (Winograd, 1995; García, 2006). Paralelamente, en 1991 este esquema fue modificado por la OECD (organization for economic cooperation and development) posteriormente en 1993, se definió como un grupo de indicadores ambientales seleccionados para la evaluación del desempeño ambiental (Carr et al., 2007). Por lo que es una herramienta analítica que trata de categorizar o clasificar la información sobre los recursos naturales a la luz de sus interrelaciones con las actividades sociodemográficas y económicas las cuales a su vez están sujetas a fuerzas políticas o demás respuestas que las causan o propician (INEGI-INE, 2000; García, 2006).



Figura 4.- Modelo FPEIR. (Modificado de Carr et al., 2007).

El modelo propone un conjunto de indicadores que puedan ser cuantificados de forma sistemática dividido en cinco grupos de indicadores: el primero es para visualizar las fuerzas motrices (F) que originan los conflictos ambientales (presión); el segundo tiene que ver con la calidad del ambiente en función de los efectos de las acciones antropogénicas (estado); el tercero visualiza el impacto de las actividades antropogénicas sobre el ambiente y viceversa (impactos); el cuarto revisa las medidas y respuestas que toma la sociedad para mejorar el ambiente

(respuestas); y el quinto grupo son indicadores prospectivos que se relacionan con los procesos necesarios para la sustentabilidad (progresos hacia la sustentabilidad) (*Winograd, 1995*). De esta manera se trata de dar importancia al considerar el potencial y limitantes en el uso del territorio y sus recursos con acciones enfocadas hacia un desarrollo sustentable para la elaboración de nuevas políticas (*Arredondo-Garcia, 2006*). Este enfoque ha demostrado ser útil para comprender los problemas ambientales a diferentes escalas y se ha adoptado ampliamente (*UNEP, 2002*).

En este trabajo se identificaron indicadores para ser integrados dentro del modelo FPEIR de sustentabilidad a dos escalas: regional y local de proyectos geotermoeléctricos en Acoculco Puebla, donde se proponen estrategias adaptativas a través de la construcción de capacidades y confianza para el desarrollo del proyecto (*Fabricius y Currie, 2015*).

El modelo FPEIR comprende una amplia gama de aplicaciones en diversos escenarios, que permiten ilustrar y categorizar el grado de sustentabilidad de la zona que se estudia, y sobre todo ayuda a determinar hacia cuál de los componentes se deben enfocar mayores esfuerzos en la evaluación de proyectos en desarrollo (*Cendreo, 1997*). Los indicadores de sustentabilidad pueden ponderarse y categorizarse en la construcción del mismo, si se determina cuál es el nivel de bienestar deseable. En la tabla 1 se muestran algunas aplicaciones del modelo:

Tabla 1.- Aplicación del modelo FPEIR en diferentes escenarios sería mas interesante decir de que se trata

Nombre del investigacion	Lugar (PAIS) o sitio	Referencia
Estudio de la vulnerabilidad social (Ambiental-energética-espacial) y aplicación del modelo FPEI (Vu) R en el municipio de La Plata.	Municipio de La Plata	Arteaga, A., y San Juan, G. A. (2011)
Indicadores por y para el desarrollo sostenible, un estudio de caso.	porque no tiene el sitio	Sotelo, <i>et al.</i> , (2011).
Minería en Colombia: un asunto a analizar desde el modelo de fuerzas motrices.	Colombia	Osorno (2015).
Aplicación de las metodologías DPSIR, ANP y ARS en el manejo y conservación del Parque Nacional Waraira Repano, Venezuela	Venezuela	Martín, D. D. (2015).
Aplicación de la metodología FPEIR al diagnóstico ambiental del Humedal Lucre-Huacarpay,	, Perú	Acostupa <i>et al.</i> , (2017).
Aplicación de la metodología FPEIR al diagnóstico ambiental de los procesos de degradación de suelos por erosión en el departamento de Casanare.	Bogotá - Colombia	Gómez Salcedo,
Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. .	Jalisco, México. 2018	Vázquez-Valencia, <i>et al.</i> , (2018)..
Modelo “Fuerzas Motrices–Presión–Estado–Impacto–Respuesta y Sostenibilidad Ambiental”, en el Área de Conservación Municipal-ACM “Bosque de Huamantanga”.	Perú 2019	Yajahuanca Gaytán, K. R. (2019).
Indicadores Para la Sostenibilidad del Servicio Ambiental Hídrico de la Microcuenca Rumiyacu, Mishquiyacu y Almendra, Moyobamba–San Martín.	Perú	Luna, 2019

(Elaboración propia, 2019).

III. OBJETIVOS

General

Proponer un esquema de línea base para analizar los impactos socio-ambientales de un proyecto geotérmico exploratorio en Acoculco, Puebla.

Específicos

- Esquematizar un área de influencia del sitio en exploración para aprovechamiento geotérmico
- Desarrollar una zonificación ecológica a dos escalas geográficas
- Examinar las condiciones socio-ambientales en el sitio de interés.
- Identificar indicadores socio-ambientales de proyectos geotérmicos.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Macroescala Sistema Ambiental Regional (SAR)

Para la delimitación del área de interés del sitio de Acozulco (Figura 5), a partir del polígono de exploración (Secretaría de Energía SENER oficio DG/014/2015) se optó por justificar un área de influencia directa por la actividad geotérmica, con base en los datos del polígono de exploración autorizado tomando en cuenta la información cartográfica proporcionada por INEGI y CONABIO en escala 1: 250,000

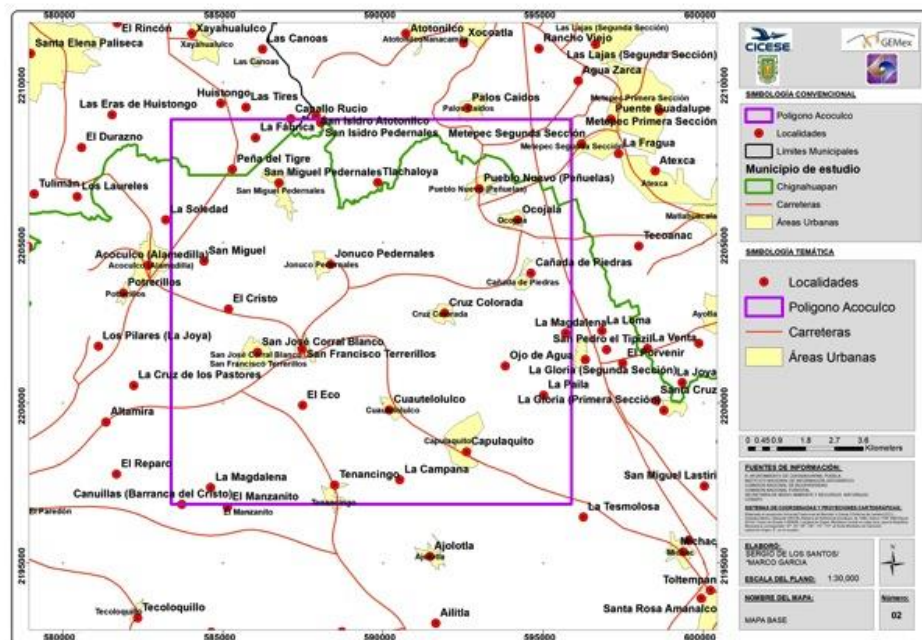


Figura 5.- Polígono de exploración de CFE, Acozulco, Puebla.

4.2 Zonificación ecológica a dos escalas geográficas.

Una vez obtenido el SAR, se sobreponen las capas de uso de suelo y vegetación para obtener las unidades de paisaje. De acuerdo a la metodología de Gómez-Morín (1995, Figura 6), donde se utilizan variables como geología, hidrología, subcuencas, orografía, topografía, vegetación y uso de suelo (Anexos 3 y 4).

Las Unidades Ambientales se identifican en el área del polígono de exploración donde se representan a microescala los rasgos ambientales del SAR, como son subcuencas, geología, uso de suelo y vegetación (Tabla 5).

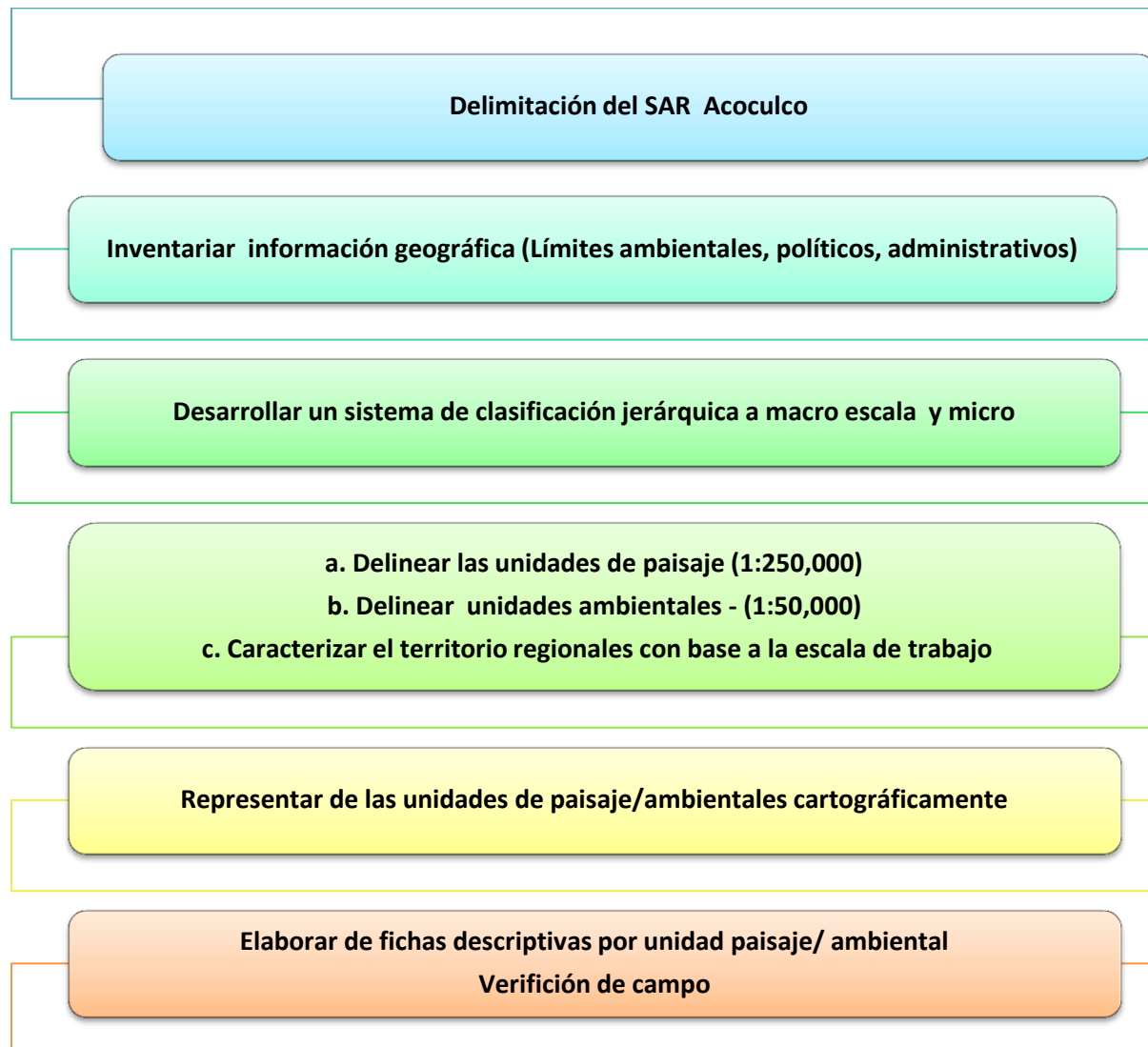


Figura 6.- Metodología para la delimitación del Sistema Ambiental Regional (SAR) en el área de estudio.
Fuente: (Modificado de Gómez-Morin, 1995).

4.3 Condiciones socio-ambientales en el sitio de interés.

Para representar las características de las localidades del polígono de Acoculco CFE, se utilizaron las secciones geoelectorales que contienen información de parámetros socioeconómicos del sitio, permitiéndolo determinar el grado de marginación a microescala (localidad). Para este trabajo fue necesaria una reclasificación de cada uno de los indicadores que necesita la determinación del IDH como son: Índice de Salud (is), Índice de Educación (ie) y el Índice de Ingreso (ii) de las localidades en la zona del proyecto para ser analizadas en la microescala. De esta manera las cuales se reclasificaron al interior del polígono con la información obtenida de la visita de campo, lo que permitió corroborar el indicador de marginación con los datos que presenta la CONAPO (*INEGI, 2010, 2015; CONAPO, 2010, 2015*)

En la salida de campo de abril del 2018, se describieron y valoraron las UA (Unidades Ambientales). Al cotejar el modelo del SAR con la información de campo se observó la falta de datos para algunos sitios, por lo que en la salida de noviembre 2018, se reubicaron geográficamente todas las UA en la región para analizar aquellas que todavía no se tenían documentadas y de esta manera lograr tener una visión espacial de la totalidad del territorio en el polígono de exploración del sitio Acoculco, Chignahuapan, Puebla.

Las UA quedan descritas mediante la combinación de indicadores ambientales como unidades territoriales homogéneas con elementos de diagnóstico como la fisiografía, la vegetación, el uso del suelo y el paisaje, especialmente del entorno natural descritas en las tablas (Tabla 2, 3 y 4) y posteriormente en la microescala o escala del polígono de exploración se identifican las unidades ambientales.

Tabla 2.- Clasificación de las unidades de paisaje por cobertura de Uso de Suelo y Vegetación en la Macro escala para el SAR.

Cobertura de Uso de Suelo y Vegetación	Número	Porcentaje
1.-asentamientos humanos	2	3.70%
10 agricultura de riego anual y semipermanente	1	1.85%
11 agricultura de temporal anual	4	7.41%
12 agricultura de temporal anual y permanente	4	7.41%
13 agricultura de temporal permanente	2	3.70%
14 vegetacion secundaria arbustiva de bosque de oyamel	1	1.85%
15 vegetación secundaria arbórea de bosque de táscate	1	1.85%
16 vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	2	3.70%
17 vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	4	7.41%
18 Bosque cultivado	1	1.85%
19 vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	3	5.56%
2 urbano construido	2	3.70%
20 vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	1	1.85%
21 vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	2	3.70%
22 vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	1	1.85%
23.- vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	1	1.85%
24.- cuerpo de agua	3	5.56%
3 bosque de oyamel	2	3.70%
4 bosque de pino	4	7.41%
5 bosque de pino-encino	3	5.56%
6 bosque de encino	3	5.56%
7 bosque de encino-pino	3	5.56%
8 matorral crasicaule	1	1.85%
9 pastizal inducido	3	5.56%
Total general	54	100.00%

Tabla 3.- Clasificación de las unidades de paisaje y por Suncuencia y cobertura en la Macro escala para el SAR.

SUBCUENCA y COBERTURAS	Unidad	Porcentaje
RH26Du	10	18.52%
11 Agricultura De Temporal Anual	1	1.85%
12 Agricultura De Temporal Anual Y Permanente	1	1.85%
17 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino	1	1.85%

21 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Encino	1	1.85%
3 Bosque De Oyamel	1	1.85%
4 Bosque De Pino	1	1.85%
5 Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
6 Bosque De Encino	1	1.85%
7 Bosque De Encino-Pino	1	1.85%
9 Pastizal Inducido	1	1.85%
RH26Dv	17	31.48%
1.-Asentamientos Humanos	1	1.85%
10 Agricultura De Riego Anual Y Semipermanente	1	1.85%
11 Agricultura De Temporal Anual	1	1.85%
12 Agricultura De Temporal Anual Y Permanente	1	1.85%
13 Agricultura De Temporal Permanente	1	1.85%
15 Vegetación Secundaria Arbórea De Bosque De Táscate	1	1.85%
17 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino	1	1.85%
18 Bosque Cultivado	1	1.85%
19 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
2 Urbano Construido	1	1.85%
21 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Encino	1	1.85%
23.- Vegetación Secundaria Arbustiva De Matorral Crasicaule	1	1.85%
24.- Cuerpo De Agua	1	1.85%
4 Bosque De Pino	1	1.85%
5 Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
6 Bosque De Encino	1	1.85%
8 Matorral Crasicaule	1	1.85%
RH27Bb	10	18.52%
11 Agricultura De Temporal Anual	1	1.85%
12 Agricultura De Temporal Anual Y Permanente	1	1.85%
16 Vegetación Secundaria Arbórea De Bosque Mesófilo De Montaña	1	1.85%
17 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino	1	1.85%
19 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
20 Vegetación Secundaria Arbórea De Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
24.- Cuerpo De Agua	1	1.85%
4 Bosque De Pino	1	1.85%
7 Bosque De Encino-Pino	1	1.85%
9 Pastizal Inducido	1	1.85%
RH27Bc	17	31.48%
1.-Asentamientos Humanos	1	1.85%
11 Agricultura De Temporal Anual	1	1.85%
12 Agricultura De Temporal Anual Y Permanente	1	1.85%
13 Agricultura De Temporal Permanente	1	1.85%

14 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Oyamel	1	1.85%
16 Vegetación Secundaria Arbórea De Bosque Mesófilo De Montaña	1	1.85%
17 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino	1	1.85%
19 Vegetación Secundaria Arbustiva De Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
2 Urbano Construido	1	1.85%
22 Vegetación Secundaria Arbórea De Bosque De Encino	1	1.85%
24.- Cuerpo De Agua	1	1.85%
3 Bosque De Oyamel	1	1.85%
4 Bosque De Pino	1	1.85%
5 Bosque De Pino-Encino	1	1.85%
6 Bosque De Encino	1	1.85%
7 Bosque De Encino-Pino	1	1.85%
9 Pastizal Inducido	1	1.85%
Total general	54	100.00%

Tabla 4.- Clasificación de las unidades de paisaje por condición en el uso de suelo en la Macro escala para el SAR.

Subcuencas	Paisajes naturales	Paisajes transformados	Total de unidades de paisaje por subcuenca	Superficie (%)
RH26Du	7	3	10	18.52
RH26Dv	11	6	17	31.48
RH27Bb	7	3	10	18.52
RH27Bc	11	6	17	31.48
Total general	36	18	54	100.00

Elaboración propia, 2019.

Dentro del polígono del SAR en la Cuenca/SubCuenca RH26 (Dv y Du) y RH27 (Bb y Bc) existen 54 unidades de paisaje de las cuales 36 corresponden al sistema natural y representan solamente el 7.5% de la superficie. Por otra parte las 18 unidades restantes representan el 92.5% y corresponden a suelo transformado, esta situación es importante pues indica el grado de

fragmentación y deterioro del área (Figura 7) (Anexos 5 y 6: Tablas de Unidades de paisaje, Anexo 10 y 11 mapa de condición de la vegetación y mapa de unidades ambientales).

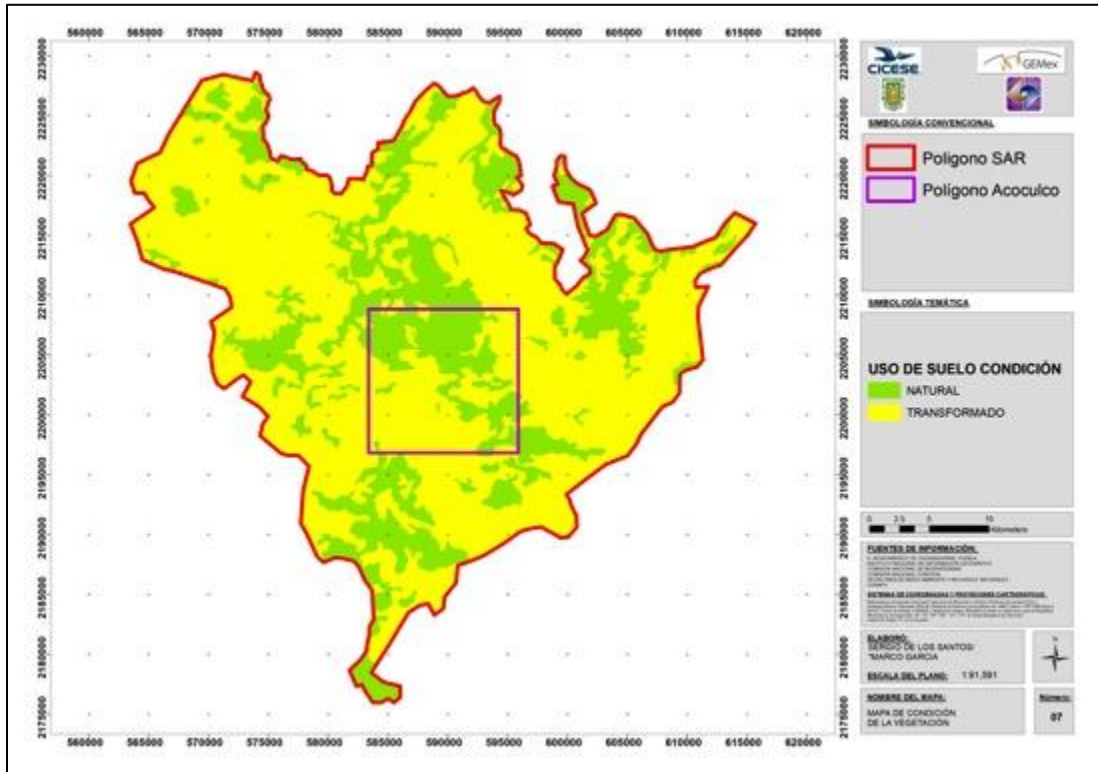


Figura 7.- Condición de la vegetación del sistema ambiental regional (SAR).

4.4 Obtención de las Unidades Ambientales del Polígono de exploración en la Microescala

Las Unidades Ambientales se identifican en el área del polígono de exploración donde se representan a microescala los rasgos ambientales del SAR, como son subcuencas, geología, uso de suelo y vegetación (Tabla 5).

Tabla 5.- Sistema de Clasificación de Unidades Ambientales Polígono de Exploración.

Sistema: Subcuenca	Unidad Ambiental: Usos de suelo y vegetación	Área: km ²	Porcentaje de la Superficie
RH26Dv	Bosque de pino	17.528	11.68
RH26Du	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino/ pino –encino (Mixto)	46.904	31.26
	Agricultura de Temporal anual	76.284	50.85
RH27Bb	Pastizal Inducido	1.353	0.902
RH27Bc	Agricultura de anual y permanente/Agricultura permanente	7.931	5.28

Elaboración propia, 2019

Dentro del análisis de las unidades ambientales del sitio de exploración (microescala) se encontro que, a diferencia del SAR el área natural ocupa el 42.45% de la superficie y el 57% restante es área trasformada, principalmente con uso de suelo de agricultura de temporal (Figura 8) (Anexo 9: Fichas descriptivas).

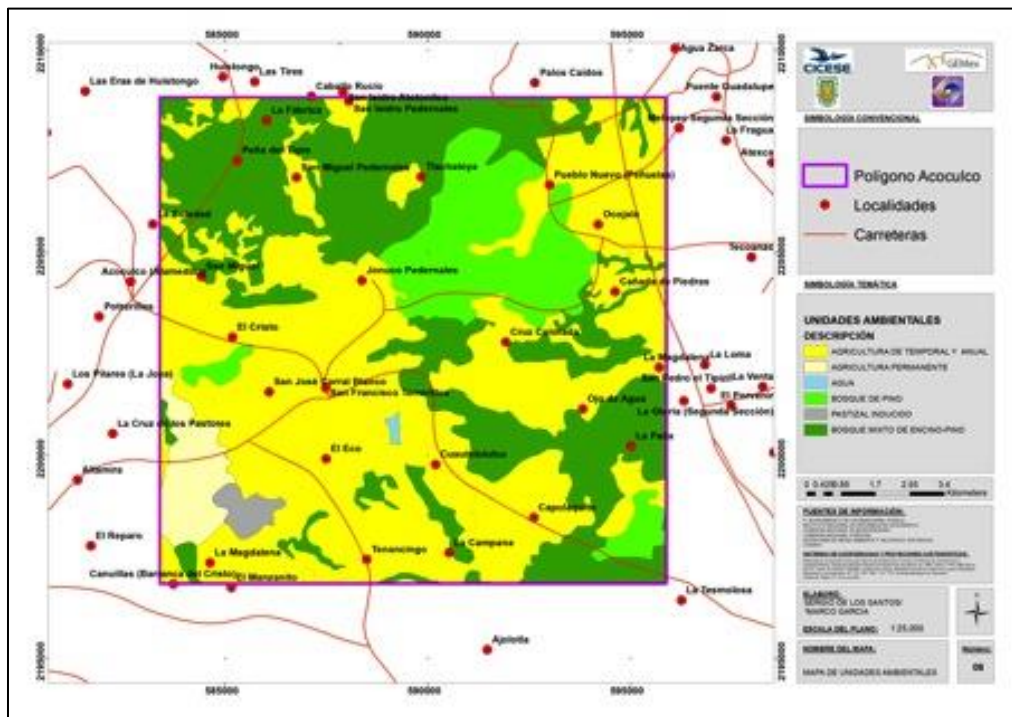


Figura 8.- Unidades ambientales para la microescala Polígono de exploración de CFE Acoaculco.

4.5 Evaluación de la calidad ambiental del Polígono de exploración en la Microescala

Por otra parte, Seingier (2009) propone determinar la calidad del ambiente tomando en cuenta la superficie vegetación natural dentro de un municipio, (subíndice de cobertura natural ICN). La calidad de este entorno se estima mediante un indicador de calidad del paisaje, que representa el número de localidades de diversos tamaños en relación con el área municipal (perforación por subíndice de localidad). La suma de ambos subíndices representa el Índice de Estado (IE), que aumenta con mayor cobertura de vegetación natural y disminuye con el desarrollo de perforación (más localidades, pueblos y ciudades).

Existen diversos criterios de evaluación de calidad ambiental que se aplican de acuerdo al área a diagnosticar y según el desarrollo o proyecto que se pretende llevar a cabo. Para proyectos relacionados con el sector energético, en particular el aprovechamiento de la energía geotérmica, no existen lineamientos básicos para evaluar la calidad ambiental, lo que conlleva a que no existan incluso evaluaciones posteriores o seguimiento de los efectos del proyecto sobre el ambiente. Esta situación hace evidente la necesidad de buscar propuestas o lineamientos que permitan la evaluación de la calidad ambiental en este tipo de proyectos como el que se presenta en esta estimación (Figura 9)

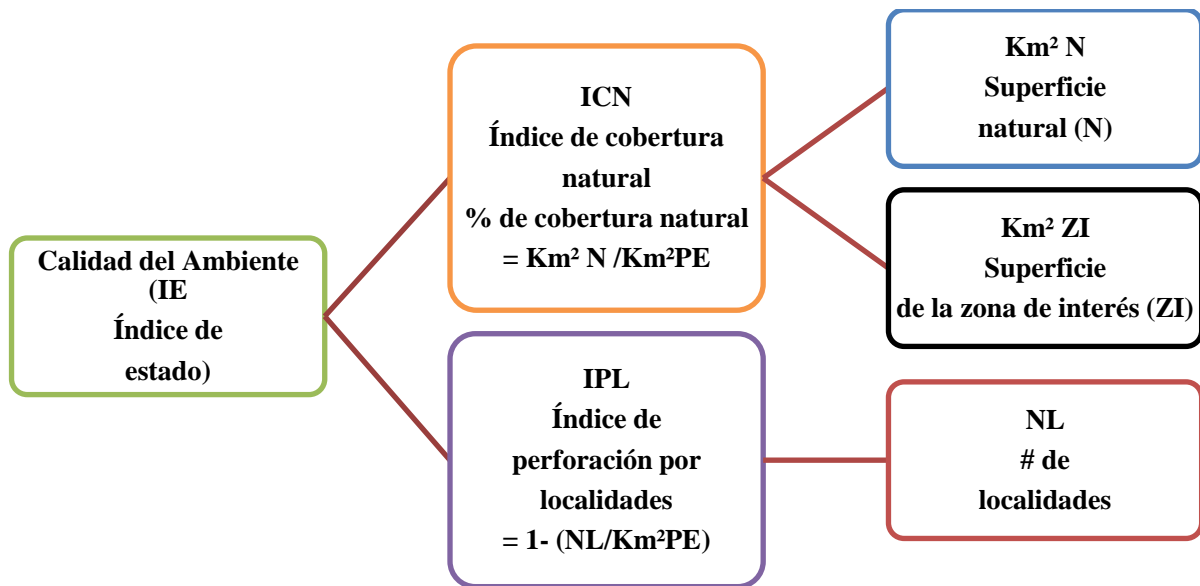


Figura 9.- Diagrama del índice de la Calidad del Ambiente en el área de estudio.

(Modificado de G. Seingier 2009).

V. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FISICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Localización

El área de estudio es el municipio de Chignahuapan, que se localiza en la sierra norte de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 39' 42" y 19° 58' 48" de latitud norte y los meridianos 97° 57' 18" y 98° 18' 06" de longitud occidental, colinda al norte con los municipios de Juan Galindo, Chiconcuaula, Tlapacoya, San Felipe Tepatlán y Hermenegildo Galeana, al sur con el estado de Tlaxcala y el municipio de Libres, al este colinda con los municipios de Ocotepc, Zautla, Xochiapulco, Huitzilán de Serdán, Hueytlalpan y Olintla, y al oeste con el estado de Hidalgo. Tiene una superficie de 591.92 km², que lo ubica en el tercer lugar con respecto a los demás municipios del estado. Al norte del municipio cruza una sierra formada por los cerros la Tlachaloya, las Canoas y otros. Al suroeste de Chignahuapan se levanta un complejo de lomeríos conformado por los cerros Amanalco y Huixtepec. Al centro del municipio se levanta la extensa mesa ondulada de más de 7 km de largo y tres de ancho. Además, existen gran cantidad de cerros aislados, dispersos por todo el territorio, como: el Apapasco, la Paila, Media Luna y el Tecajete (*INAFED, 1999; SMRN, 2007; INEGI, 2010*). En la figura 10, se muestra el mapa de localización de Chignahuapan, Puebla (Ver Anexo 2 y 3).

- C(w2), templado subhúmedo: Temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la temperatura del mes más frío fluctúa entre -3 y 18 °C y la del mes más caliente asciende hasta 22 °C; la precipitación total anual va de 700 a 1,500 mm y el porcentaje de lluvia invernal varía entre 5 y 10% (*Salinas, 2015*).
- Cb'(w1) Semifrío, húmedo con verano fresco largo: Temperatura media anual entre 5 y 12 °C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. (*Zamora, 2009; Salinas, 2015*).
- Cb'(w2) Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo: Este clima es el más frío dentro del grupo de los climas semifríos subhúmedos, teniendo una precipitación invernal que varía entre 5 y 10% del total de la anual, la precipitación promedio anual es de 860.5 mm. El mes más cálido es abril con una temperatura promedio de 14.5 °C mientras que la temperatura media anual promedio es de 13.6 °C (*Salinas, 2015*)

Hidrología

El municipio de Chignahuapan pertenece a las regiones hidrológicas Tuxpan–Nautla con un 76% de su superficie, Pánuco (22%). Las cuencas más importantes incluyen el río Tecolutla que abarca el 76% de la superficie del municipio, el río Moctezuma el cual representa el 22% y el río Atoyac con tan solo el 2%. Las subcuencas que destacan son la del río Laxaxalpan (73%), laguna Tochac y Tecocomulco (13%), río Metztlán (9%), río Necaxa (2%), río Zahuapan (2%) y río Tecuatepec (1%). Chignahuapan cuenta con corrientes de agua perennes denominadas: Ario, Ahualtongo, Blanco, Cantarranas, Hondo, San Pedro, Totolapa y Xalatlaco e intermitentes como: Agua Escondida, Capulaque, Hondo, La Mora y San Lorenzo (*PIGMEUM, 2009*).

La cuenca está integrada por siete municipios que cubren una extensión de 260.556 km² (260,556 ha) equivalentes al 7.6% de la superficie total del estado de Puebla, que son: Chignahuapan, Ahuazotepec, Aquixtla, Ixtacamaxtitlán, Tetela de Ocampo, Huauchinango y Zacatlán. El territorio pertenece en su mayor parte a la Microcuenca del Laxaxalpan, excepto el norte, que es parte de la subcuenca del Necaxa. El municipio es recorrido por ríos pertenecientes a la subcuenca del Tecolutla. El río Laxaxalpan, corre por el valle intermontano por más de 25 km. A su paso, recibe numerosos afluentes que bañan el norte y sur, de los cuales destacan el Chignahuapan, la Magdalena, San Pedro, Arroyo Hondo y Río Blanco (*Zamora, 2009; González, 2014*). (Anexo: Mapa de subcuencas e hidrología)

Geología

El tipo de roca que predomina en el municipio es ígnea y existe una porción no clasificada pero reconocida como suelo, producto de la depositación de sedimentos del río Laxaxalpa. Dentro de las rocas de origen volcánico se presentan tres grandes variedades: 1. Ígnea extrusiva ácida, que es una gran masa que ocupa la parte centro, oeste y suroeste del municipio; 2. Ígnea extrusiva intermedia localizada, con gran extensión, al sur del municipio; 3. Ígnea extrusiva básica; existen varias porciones con este tipo de roca, al norte, centro y este de Chignahuapan (Tabla 6) (*Zamora, 2009*).

Tabla 6.- Geología en el Municipio de Chignahuapan.

ID: PERIODO	ROCA	SUPERFICIE (km²)	PORCENTAJE
Q(Igea): Cenozóico	<i>Ígnea extrusiva ácida</i>	0.5	0.1
Q(Igeb): Cenozóico	<i>Ígnea extrusiva básica</i>	8.9	1.2
Q(s): Cenozóico	<i>Aluvial</i>	59.3	7.8
Ts(Igea): Terciario	<i>Ígnea extrusiva ácida</i>	303.6	40
Ts(Igeb): Terciario	<i>Ígnea extrusiva intermedia</i>	162.1	21.3
Ts(Igei): Terciario	<i>Ígnea extrusiva básica</i>	224.8	29.6

Elaboración propia, 2019 con base en Zamora, 2009).

Existen dos grandes extensiones de permeabilidad baja media, que corresponden a las zonas donde las elevaciones son mayores y el tipo de roca es ígnea. En cuanto a material no consolidado, al centro del municipio y con gran extensión, la permeabilidad del material es media. La mayor parte del municipio se encuentra dentro de una zona de veda, donde la extracción de agua subterránea y construcción de pozos se encuentra bajo control de Comisión Nacional del Agua, la cual extiende los permisos e incluso puede prohibir dichas actividades (Zamora, 2009; González, 2014).

En la zona donde se ubica la ciudad de Chignahuapan y los baños termales se encuentran de manera específica algunos tipos de roca como son: tobas, lapillis, lahares y derrames andesíticos del terciario-neógenos, escoras y derrames basálticos-andesíticos del cuaternario. Existen otros tres tipos con menor presencia: limonita y conglomerados polimícticos del jurásico medio; tobas pumicíticas y andesíticas del cuaternario; y tobas ignimbríticas de composición riolítica del paleógeno. El vulcanismo reciente en la región ha generado varios aparatos volcánicos y focos termales como el que se encuentra en Chignahuapan, reconocido por el Servicio Geológico Mexicano como Veta Hidrotermal con coordenadas 19° 50'17" N y 97° 59'38" W (INEGI 2000, Zamora, 2009) (Anexo: Mapa Geológico).

Orografía y Topografía

El relieve en el Municipio es variado, los sistemas de tofoformas que existen son: sierra volcánica de laderas escarpadas en la parte norte y noroeste; lomerío de tobas con llanuras al oeste; llanura con lomerío de piso rocoso en la parte centro-sur y lomerío de tobas al suroeste. Las elevaciones principales están al sur y suroeste, en los límites con Tlaxcala, donde forman un complejo montañoso representado por los cerros de El Rosario (3,440 m) con las coordenadas al norte $19^{\circ} 40' 30''$ y al oeste $98^{\circ} 12' 21''$, Peña del Tigre (3,240 m) con las coordenadas al norte $19^{\circ} 41'$ y al oeste $98^{\circ} 13'$, Las Tablas (3,160 m) con las coordenadas al norte $19^{\circ} 42'$ y al oeste $98^{\circ} 08'$, Las Casas (3,080 m) con las coordenadas al norte $19^{\circ} 43'$ y al oeste $98^{\circ} 15'$ y Las Tetelas (2,760 m) con las coordenadas al norte $19^{\circ} 44'$ y al oeste $98^{\circ} 06'$.

La zona de interés o de exploración pertenece a la unidad orográfica denominada Redondo (2,850 m) con las coordenadas al norte $19^{\circ} 53'$ y al oeste $98^{\circ} 12'$. Donde el relieve es variado, con sistemas de tofoformas de sierra volcánica de laderas escarpadas en la parte norte y noroeste; lomerío de tobas con llanuras al oeste; llanura con lomerío de piso rocoso en la parte centro-sur y lomerío de tobas al suroeste (*Zamora, 2009*).

Edafología

El municipio presenta gran diversidad edafológica, en la zona se identifican suelos pertenecientes a cinco grupos, el tipo y distribución de cada suelo está directamente relacionado con la litología del lugar (*Boul et al., 2000; González, 2014*):

- **Andosol:** suelos derivados de cenizas volcánicas recientes, muy ligeros y de alta capacidad de retención de agua y nutrientes, por su alta susceptibilidad a la erosión y potencial fijación de fósforo, solo deben destinarse a la explotación forestal o al

establecimiento de parques recreativos. Este tipo de suelo es predominante y cubre grandes áreas del sureste y noroeste del municipio; presenta fase lítica (roca a menos de 50 centímetros de profundidad), lítica profunda roca entre 50 y 100 cm de profundidad (pedregosa) (Boul et al., 2000; González, 2014).

- **Cambisol:** son adecuados para actividades agropecuarias con actividad moderada, según a la fertilización a que sean sometidos; por ser arcillosos y pesados, tienen problemas de manejo. Se presenta en áreas muy reducidas del norte y oeste (Boul et al., 2000; González, 2014).
- **Feozem:** son adecuados para el cultivo, toleran exceso de agua aunque mediante obras de drenaje, son de fertilidad alta a moderada. Cubren grandes extensiones del centro y centro-oeste del municipio. Presentan fase dúrica (tepetate a menos de 50 cm de profundidad) o dúrica profunda (tepetate entre 50 y 100 cm de profundidad) (Boul et al., 2000; González, 2014).
- **Luvisol:** suelos fértiles con mayor contenido de arcilla en los horizontes profundos que en los horizontes superiores. Cuando se encuentran en pendientes fuertes requieren medidas de control de la erosión. En el municipio de Chignahuapan se localizan al sureste y representan el 7.5% de la extensión territorial, con una superficie de 57.1 km². Están cubiertos por vegetación boscosa, por lo que en las capas superficiales presentan una abundante cantidad de materia orgánica, de coloración parda, gris o rojo amarillento (Boul et al., 2000; González, 2014).
- **Regosol:** suelos prácticamente infértiles formados por material suelto de origen no aluvial reciente como: cenizas volcánicas, presentan fase pedregosa (fragmento de roca o tepetate de 7.5 centímetros de diámetro) y su uso varía según su origen ya que son muy pobres en nutrientes. En la zona cubren una porción del sureste (Boul et al., 2000; González, 2014).

Vegetación

La carta de vegetación de INEGI (2017) y del Inventario Nacional Forestal (2015), reportan que en la región Chignahuapan, existen bosques de coníferas, principalmente de pinos, asociaciones boscosas de bosque de pino-encino, encino-pino, oyamel, y pino-oyamel. Las especies más comunes en la zona son del género *Pinus* (*Pinus patula*, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrabus*, *Pinus teocote*, *Pinus leiophylla*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus rudis*).

Bosque

Se define como bosque a una masa de vegetación arbórea, principalmente de zonas templadas y semifrías, en climas subhúmedos a muy húmedos (CONABIO, 2011). Existen distintos tipos de bosques dependiendo de las especies presentes en ellos. En el polígono de exploración se encuentran presentes los siguientes tipos de bosque:

- **Bosque de pino:** Ocupa el 40.5% de la zona de exploración, aproximadamente 49,900 hectáreas, las principales especies que se encuentran son *Pinus patula*, *P. moctezumae*, *P. ayacahuite var. veitchii*, *P. leiophylla*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* y *P. teocote*, dentro del estrato arbustivo se presentan especies como *Arbutus xalapensis* y *Baccharis conferta*. Se localizan en altitudes superiores a los 2,500 msnm (Avalos y Baca, 2007).
- **Bosque de pino-encino:** Se encuentra en el 2.3% de la superficie total, equivalentes a 2,987 ha. Constituido principalmente por especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, son bosques por lo general bajos, con troncos delgados y de crecimiento lento (CONABIO, 2011). Las especies de encino que se pueden encontrar son *Quercus crassifolia*, *Q. scytophylla* y *Q. conglomerata*; también están presentes especies como *Alnus jorullensis*, *Arbutus xalapensis*, *Baccharis conferta* y *Pteridium sp* (Avalos y Baca, 2007).
- **Pastizal inducido:** Comunidad vegetal dominada por gramíneas (pastos o zacates), originado por influencia humana, se desarrolla al eliminarse la vegetación original (bosque, selva, matorral, etc.) o en áreas agrícolas abandonadas (INEGI, 2015). Es tipo de vegetación se encuentra en 1,644 hectáreas de la zona, aproximadamente el 1.3% de la superficie total.

Es importante mencionar que en el municipio de Chignahuapan también hay bosque de Oyamel con 809.3 hectáreas (0.64%) dada la escasa superficie que ocupa, no es visible en el mapa. Se localiza en las partes más altas del municipio entre los 2,500 y 3,200 msnm, la especie dominante es *Abies religiosa*, comúnmente mezclado con especies del género *Pinus* y algunas veces con *Quercus* (González, 2014).

Exceptuando al *Pinus ayacahuit* la vegetación natural del municipio ha sufrido una grave y constante degradación, principalmente por la tala de bosques que han sido deforestados con fines diversos tales como agricultura, ganadería, infraestructura y centros de población.

Uso de suelo

El uso de suelo que predomina en el municipio es la agricultura de temporal, está distribuido en casi todo el territorio municipal, excepto en las zonas montañosas. En los lugares con mayores elevaciones, como ya se menciono, la vegetación es básicamente de coníferas, generalmente, asociada con vegetación secundaria arbustiva (*Zamora, 2009*). El pastizal inducido está presente en el municipio en un bloque al oeste y otro más pequeño al noroeste. Otro uso de suelo es el urbano, localizado sobre todo en la porción oeste (*INEGI, 2015*).

La tabla 7 presenta un resumen de las principales características del medio físico del municipio de Chignahuapan.

Tabla 7.- Caracterización del medio físico del sitio de estudio del proyecto

Rasgos del Medio Físico Natural para el Sistema Ambiental Regional (SAR) Acoaculco.																																												
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN		Clima		CUENCAS/SUBCUENCAS/MICROCUENCAS			TIPO DE SUELO			FISIOGRAFÍA				GEOLOGÍA			GEOMORFOLOGÍA		OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA																									
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	Área	Clima	Características	CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS	POTENCIALIDAD DEL SUELO	PROVINCIA	SUBPROVINCIA	CARACTERÍSTICAS	SISTEMA DE TOPOFORMAS	ELEMENTOS DEL MEDIO FÍSICO	ROCA	DISTRIBUCIÓN	CARACTERÍSTICAS	FORMAS DE RELIEVE	SISTEMA MONTAÑOSO	TOPOFORMAS																								
Agricultura de Temporal anual	74.624 km ²	<i>C(w1). TEMPLADO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO, DE HUMEDAD MEDIA.</i>	La temperatura media anual varía entre los 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío entre 3° y 18°C, la precipitación total anual se encuentra entre los 600 mm y los 1,000 mm; precipitación del mes más seco menor de 40 mm; y el porcentaje de lluvia invernal es menor del 5%.	RH26 RIO PANUOCO	(26D) Río Moctezuma	Du-Lago Tuchac y Tecocomulco Du-Río Metzittitlán	Andosol	Derivados de cenizas volcánicas, poco desarrollados, muy ligeros y de alta capacidad de retención de agua, poco fértiles y muy susceptibles a la erosión hídrica. Existen en el 35.9 % de la superficie del Municipio, equivalente a 272.1 km ² .	Para uso potencial forestal, por la clase de capacidad de uso forestal, la condición de la vegetación y la aptitud para la extracción de los productos forestales.	Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	Ocupa 409.4 km ² (53.9%) del territorio de Chignahuapan. Está constituida por sierras volcánicas o grandes aparatos individuales compuestos por materiales ácidos, básicos e intermedios, estas estructuras alternan con amplias llanuras y planicies aluviales, ocupadas en su mayoría por cuerpos de agua y zonas urbanas. Se distribuye a través de una franja que recorre de noreste al suroeste, así como la porción sur; está representada por sierras de origen volcánico, lomeríos y domos de composición variable, resultado de los diferentes episodios ocurridos desde el Terciario y que continuaron durante el Cuaternario.	A. El Rosario (3 440 m), B. Peña del Tigre (3 240 m)	Las temperaturas oscilan entre los 12° y 18°C, con precipitaciones de los 600 mm y los 1,000 mm. Se encuentra la cabecera municipal como principal asentamiento humano y la laguna de Chignahuapan.	Ts(lgea): Terciario, ígnea extrusiva ácida	Se encuentra en una superficie de 303.6km ² y representa un 40%	Durante el mismo periodo, se presentó un evento caracterizado por la expulsión de rocas de composición intermedia (lgei) y ácida (lgea), conforman un sistema montañoso, coladas y domos volcánicos que sobreyacen los materiales señalados anteriormente, por lo que su distribución está condicionada por el relieve preexistente resultado del vulcanismo ácido.	Laderas desarrolladas sobre roca	Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes de Anáhuac	H. Tlachaloya (3 080 m)																							
Agricultura permanente	4.781 km ²						Feozem	Suelos oscuros, porosos, ricos en materia orgánica y nutriente. Susceptibles a la erosión eólica e hídrica. Se presenta en tres fases, calcárico, háplico y lúvico. Toleran exceso de agua; mediante ciertos métodos de drenaje son adaptables a varios tipos de cultivos, su fertilidad es de moderada a alta. Existe en el 31.6 % de la superficie del Municipio, equivalente a 239.4 km ² .	Áreas con potencial agrícola, pecuario y forestal; con posibilidad de irrigación; áreas que requieren control de erosión.				C. Las Tablas (3 160 m), D. Las Casas (3 080 m) y E. Las Tetelas (2 760 m).									Ts(lgei): Terciario, ígnea extrusiva básica	Se encuentra en una superficie de 224.8km ² y representa un 29.6%	Corresponden principalmente a los frentes lávicos. A diferencia de las estructuras conformadas por materiales ácidos, las coladas basálticas generan pendientes más suaves, lo que minimiza la acción erosiva del agua.	Derrame de constitución basáltica formando mesa lávica																			
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	44.9424 km ²						Vertisol	Suelos de textura arcillosa de color pardos oscuros a grises, forman grietas anchas y profundas en la época de sequía, susceptibilidad al anegamiento, plásticos cuando están húmedos y muy compactos cuando están secos. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Existe en el 12.7 % de la superficie del Municipio, equivalente a 96.1 km ² .	Ubicación de áreas con potencial de desarrollo urbano.				En la parte sureste los cerros: A. El Viejo (2 940 m), B. Atlapango (3 100 m) y C. El Muerto (2 700 m).													Ts(lgeb): Terciario, ígnea extrusiva intermedia	Se encuentra en una superficie de 162.1km ² y representa un 21.3%	La fase explosiva está caracterizada por la emisión de materiales piroclásticos y tobas de composición ácida e intermedia, estos productos piroclásticos constituyen depósitos de profundidad variable que sobreyacen las estructuras anteriormente descritas.	Laderas desarrolladas sobre depósitos piroclásticos															
Pastizal Inducido	1.342 km ²						RH27 TUXPAN	(27B) Río Tecolobuta (17.46%)	Bb-Río Necaxa				Bc-Río Laxaxalpan																	Vertisol	Suelos de textura arcillosa de color pardos oscuros a grises, forman grietas anchas y profundas en la época de sequía, susceptibilidad al anegamiento, plásticos cuando están húmedos y muy compactos cuando están secos. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Existe en el 12.7 % de la superficie del Municipio, equivalente a 96.1 km ² .	Ubicación de áreas con potencial de desarrollo urbano.	Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	Ocupa 409.4 km ² (53.9%) del territorio de Chignahuapan. Está constituida por sierras volcánicas o grandes aparatos individuales compuestos por materiales ácidos, básicos e intermedios, estas estructuras alternan con amplias llanuras y planicies aluviales, ocupadas en su mayoría por cuerpos de agua y zonas urbanas. Se distribuye a través de una franja que recorre de noreste al suroeste, así como la porción sur; está representada por sierras de origen volcánico, lomeríos y domos de composición variable, resultado de los diferentes episodios ocurridos desde el Terciario y que continuaron durante el Cuaternario.	A. El Rosario (3 440 m), B. Peña del Tigre (3 240 m)	Las temperaturas oscilan entre los 12° y 18°C, con precipitaciones de los 600 mm y los 1,000 mm. Se encuentra la cabecera municipal como principal asentamiento humano y la laguna de Chignahuapan.	Ts(lgea): Terciario, ígnea extrusiva ácida	Se encuentra en una superficie de 303.6km ² y representa un 40%	Durante el mismo periodo, se presentó un evento caracterizado por la expulsión de rocas de composición intermedia (lgei) y ácida (lgea), conforman un sistema montañoso, coladas y domos volcánicos que sobreyacen los materiales señalados anteriormente, por lo que su distribución está condicionada por el relieve preexistente resultado del vulcanismo ácido.	Laderas desarrolladas sobre roca	Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes de Anáhuac	H. Tlachaloya (3 080 m)
Bosque de pino	17.128 km ²								Domo volcánico conformado por material basáltico																																			
Cuerpo de agua	0.1971 km ²						RH27 TUXPAN	(27B) Río Tecolobuta (17.46%)	Bb-Río Necaxa				Bc-Río Laxaxalpan																	Vertisol	Suelos de textura arcillosa de color pardos oscuros a grises, forman grietas anchas y profundas en la época de sequía, susceptibilidad al anegamiento, plásticos cuando están húmedos y muy compactos cuando están secos. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Existe en el 12.7 % de la superficie del Municipio, equivalente a 96.1 km ² .	Ubicación de áreas con potencial de desarrollo urbano.	Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	Ocupa 409.4 km ² (53.9%) del territorio de Chignahuapan. Está constituida por sierras volcánicas o grandes aparatos individuales compuestos por materiales ácidos, básicos e intermedios, estas estructuras alternan con amplias llanuras y planicies aluviales, ocupadas en su mayoría por cuerpos de agua y zonas urbanas. Se distribuye a través de una franja que recorre de noreste al suroeste, así como la porción sur; está representada por sierras de origen volcánico, lomeríos y domos de composición variable, resultado de los diferentes episodios ocurridos desde el Terciario y que continuaron durante el Cuaternario.	A. El Rosario (3 440 m), B. Peña del Tigre (3 240 m)	Las temperaturas oscilan entre los 12° y 18°C, con precipitaciones de los 600 mm y los 1,000 mm. Se encuentra la cabecera municipal como principal asentamiento humano y la laguna de Chignahuapan.	Ts(lgea): Terciario, ígnea extrusiva ácida	Se encuentra en una superficie de 303.6km ² y representa un 40%	Durante el mismo periodo, se presentó un evento caracterizado por la expulsión de rocas de composición intermedia (lgei) y ácida (lgea), conforman un sistema montañoso, coladas y domos volcánicos que sobreyacen los materiales señalados anteriormente, por lo que su distribución está condicionada por el relieve preexistente resultado del vulcanismo ácido.	Laderas desarrolladas sobre roca	Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes de Anáhuac	H. Tlachaloya (3 080 m)
Agricultura de anual y permanente	4.1991 km ²																																											
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino (Mixto)	2.748 km ²						RH27 TUXPAN	(27B) Río Tecolobuta (17.46%)	Bb-Río Necaxa				Bc-Río Laxaxalpan																	Vertisol	Suelos de textura arcillosa de color pardos oscuros a grises, forman grietas anchas y profundas en la época de sequía, susceptibilidad al anegamiento, plásticos cuando están húmedos y muy compactos cuando están secos. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Existe en el 12.7 % de la superficie del Municipio, equivalente a 96.1 km ² .	Ubicación de áreas con potencial de desarrollo urbano.	Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	Ocupa 409.4 km ² (53.9%) del territorio de Chignahuapan. Está constituida por sierras volcánicas o grandes aparatos individuales compuestos por materiales ácidos, básicos e intermedios, estas estructuras alternan con amplias llanuras y planicies aluviales, ocupadas en su mayoría por cuerpos de agua y zonas urbanas. Se distribuye a través de una franja que recorre de noreste al suroeste, así como la porción sur; está representada por sierras de origen volcánico, lomeríos y domos de composición variable, resultado de los diferentes episodios ocurridos desde el Terciario y que continuaron durante el Cuaternario.	A. El Rosario (3 440 m), B. Peña del Tigre (3 240 m)	Las temperaturas oscilan entre los 12° y 18°C, con precipitaciones de los 600 mm y los 1,000 mm. Se encuentra la cabecera municipal como principal asentamiento humano y la laguna de Chignahuapan.	Ts(lgea): Terciario, ígnea extrusiva ácida	Se encuentra en una superficie de 303.6km ² y representa un 40%	Durante el mismo periodo, se presentó un evento caracterizado por la expulsión de rocas de composición intermedia (lgei) y ácida (lgea), conforman un sistema montañoso, coladas y domos volcánicos que sobreyacen los materiales señalados anteriormente, por lo que su distribución está condicionada por el relieve preexistente resultado del vulcanismo ácido.	Laderas desarrolladas sobre roca	Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes de Anáhuac	H. Tlachaloya (3 080 m)
		Piedemonte generado por el transporte y acumulación de materiales																																										
		RH27 TUXPAN	(27B) Río Tecolobuta (17.46%)	Bb-Río Necaxa	Bc-Río Laxaxalpan	Vertisol	Suelos de textura arcillosa de color pardos oscuros a grises, forman grietas anchas y profundas en la época de sequía, susceptibilidad al anegamiento, plásticos cuando están húmedos y muy compactos cuando están secos. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Existe en el 12.7 % de la superficie del Municipio, equivalente a 96.1 km ² .	Ubicación de áreas con potencial de desarrollo urbano.	Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	Ocupa 409.4 km ² (53.9%) del territorio de Chignahuapan. Está constituida por sierras volcánicas o grandes aparatos individuales compuestos por materiales ácidos, básicos e intermedios, estas estructuras alternan con amplias llanuras y planicies aluviales, ocupadas en su mayoría por cuerpos de agua y zonas urbanas. Se distribuye a través de una franja que recorre de noreste al suroeste, así como la porción sur; está representada por sierras de origen volcánico, lomeríos y domos de composición variable, resultado de los diferentes episodios ocurridos desde el Terciario y que continuaron durante el Cuaternario.	A. El Rosario (3 440 m), B. Peña del Tigre (3 240 m)	Las temperaturas oscilan entre los 12° y 18°C, con precipitaciones de los 600 mm y los 1,000 mm. Se encuentra la cabecera municipal como principal asentamiento humano y la laguna de Chignahuapan.	Ts(lgea): Terciario, ígnea extrusiva ácida	Se encuentra en una superficie de 303.6km ² y representa un 40%	Durante el mismo periodo, se presentó un evento caracterizado por la expulsión de rocas de composición intermedia (lgei) y ácida (lgea), conforman un sistema montañoso, coladas y domos volcánicos que sobreyacen los materiales señalados anteriormente, por lo que su distribución está condicionada por el relieve preexistente resultado del vulcanismo ácido.	Laderas desarrolladas sobre roca	Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes de Anáhuac	H. Tlachaloya (3 080 m)																								
																					Domo volcánico conformado por roca ígnea extrusiva ácida																							
		RH27 TUXPAN	(27B) Río Tecolobuta (17.46%)	Bb-Río Necaxa	Bc-Río Laxaxalpan	Vertisol	Suelos de textura arcillosa de color pardos oscuros a grises, forman grietas anchas y profundas en la época de sequía, susceptibilidad al anegamiento, plásticos cuando están húmedos y muy compactos cuando están secos. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Existe en el 12.7 % de la superficie del Municipio, equivalente a 96.1 km ² .	Ubicación de áreas con potencial de desarrollo urbano.	Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	Ocupa 409.4 km ² (53.9%) del territorio de Chignahuapan. Está constituida por sierras volcánicas o grandes aparatos individuales compuestos por materiales ácidos, básicos e intermedios, estas estructuras alternan con amplias llanuras y planicies aluviales, ocupadas en su mayoría por cuerpos de agua y zonas urbanas. Se distribuye a través de una franja que recorre de noreste al suroeste, así como la porción sur; está representada por sierras de origen volcánico, lomeríos y domos de composición variable, resultado de los diferentes episodios ocurridos desde el Terciario y que continuaron durante el Cuaternario.	A. El Rosario (3 440 m), B. Peña del Tigre (3 240 m)	Las temperaturas oscilan entre los 12° y 18°C, con precipitaciones de los 600 mm y los 1,000 mm. Se encuentra la cabecera municipal como principal asentamiento humano y la laguna de Chignahuapan.	Ts(lgea): Terciario, ígnea extrusiva ácida	Se encuentra en una superficie de 303.6km ² y representa un 40%	Durante el mismo periodo, se presentó un evento caracterizado por la expulsión de rocas de composición intermedia (lgei) y ácida (lgea), conforman un sistema montañoso, coladas y domos volcánicos que sobreyacen los materiales señalados anteriormente, por lo que su distribución está condicionada por el relieve preexistente resultado del vulcanismo ácido.	Laderas desarrolladas sobre roca	Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes de Anáhuac	H. Tlachaloya (3 080 m)																								
																					Laderas desarrolladas sobre depósitos piroclásticos																							

(Elaboración propia, 2019).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Unidades Ambientales (UA)

La comprensión de los procesos demográficos en las zonas rurales es de particular importancia para el análisis ambiental. En el caso de Chignahuapan Pue, donde se tiene un sistema ambiental regional (SAR) de paisaje predominantemente agrícola y forestal, las comunidades están asentadas no solo en poblados definidos de acuerdo a los criterios que establece INEGI, sino también en asentamientos dispersos de muy pocos habitantes con carencia de servicios públicos, algunos de ellos dentro del área de estudio y otros en la zona de influencia (Figura 9).

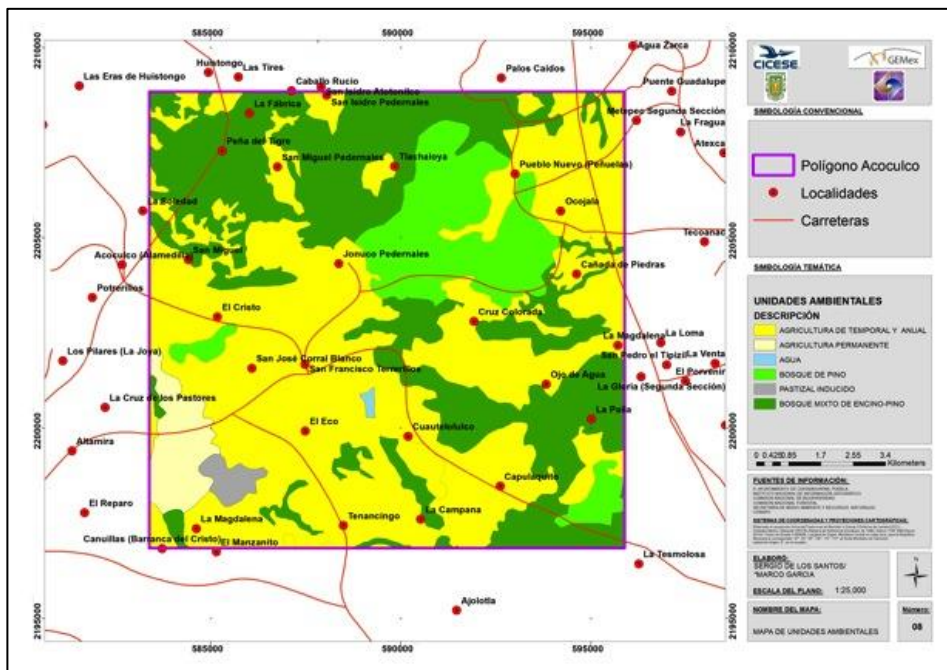


Figura 8.- Unidades ambientales para la micro escala (Polígono de exploración de CFE Acoaculco).

6.2 Condiciones socio-ambientales en el sitio de interés.

El cambio de uso de suelo de Chignahuapan muestra la misma tendencia de deforestación que el modelo del sistema ambiental regional (SAR). Estas áreas se localizan cerca de los límites agrícolas y

pecuarios, en general, la superficie forestal muestra un patrón fragmentado por la agricultura y ganadería, que incrementa el riesgo de deforestación como en las localidades de Acoculco, Ocojala, Cruz de los Pastores y Jonuco Pedernales.

En términos generales puede decirse que la vegetación en Acoculco ó el área de estudio presenta cierto grado de alteración, con diferentes niveles de degradación y que existen algunos sitios donde el bosque ha sido sustituido por el uso agrícola o ganadero de subsistencia, también se presentan terrenos abandonados que pueden perder su capacidad productiva y en pocos años podrían estar sujetos a procesos de erosión, sin embargo, el manejo forestal es todavía una actividad importante para los habitantes de la zona y puede ayudar a recuperar estos terrenos.

El cambio de uso forestal a uso de agrícola de temporal observado en campo tiene una relación significativa con el grado de marginación de las diferentes poblaciones de las localidades ubicadas dentro del polígono determinado por la CFE como zona de exploración. Al revisar a detalle la definición de las unidades denominadas como Zona Urbana fue necesario hacer una nueva reclasificación para denominarlos como Poblados y hacer un diagnóstico a las diferentes comunidades en función de la población y servicios básicos (Tabla 8).

Para este ajuste se consideraron 14 localidades con menos de 50 habitantes que no cuentan con información en el censo y no tienen servicios básicos de agua, drenaje y energía eléctrica (observación de campo) a las que se denominarán como Rancherías. Cuatro localidades que de acuerdo al censo (INEGI, 2010) tienen entre 50 y 100 habitantes que no tienen servicios básicos, denominadas para esta clasificación como Poblados chicos. Doce localidades con población entre 100 y 500 habitantes reconocidas como Poblados medianos, donde más del 50% de sus viviendas no tienen servicios básicos y finalmente se reconoció como Poblados aquellas localidades con más de 500 habitantes en donde más del 50% de sus viviendas tienen servicios de luz, agua y drenaje.

Tabla 8.- Reclasificación las localidades dentro del polígono de la CFE, Acapulco, Puebla, noviembre 2018.

Localidad	Población Total	Clasificación	Grado de marginación	Grado de educación	Grado de Ingreso	Grado de Salud	Grado del Índice de Desarrollo Humano (IDH)
La Cruz de los Pastores	1	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Loma	1	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Magdalena	2	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Pedro el Tipizil	4	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Miguel	5	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Santa Cruz	8	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Tesmolosa	12	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Los Pilares (La Joya)	16	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Magdalena	17	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Cristo	20	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Reparo	24	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Porvenir	26	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Soledad	37	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Altamira	39	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Ojo de Agua	48	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Isidro Pedernales	48	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Guaymas (Barranca del Cristo)	64	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Paila	65	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Campana	76	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Cañada de Piedras	120	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Miguel Pedernales	133	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Manzanito	139	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Gloria (Primera Sección)	228	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Potreros	234	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Gloria (Segunda Sección)	235	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Tenancingo	313	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ocojala	337	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Capulaquito	417	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Jonuco Pedernales	418	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cruz Colorada	464	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ajotla	500	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Pueblo Nuevo (Peñuelas)	530	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
San Francisco Terrerillos	546	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cuautelolulco	635	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
San José Corral Blanco	1099	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Acapulco (Alamedilla)	1735	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Elaboración propia, 2019.

En el nuevo modelo se consideran variables biofísicas y socioeconómicas con base en la información de la tabla 9, con esta propuesta se busca que el análisis de impacto socioambiental de los proyectos considere la escala apropiada al fenómeno o proceso bajo estudio y debe utilizarse al nivel espacial al cual se diseñen y apliquen las políticas públicas y de estrategias de manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales (Figura 11).

Tabla 9.- Resumen de localidades clasificadas en función de número de habitantes y grado de marginación. Acoculco Puebla.

Habitantes	Clasificación	Localidades	Habitantes	Color
0 – 50	Ranchería	14	260	
50 -100	Poblado chico	4	253	
100 – 500	Poblado medio	12	3538	
500 – 1500	Poblado grande	5	4545	

Elaboración propia, 2019.

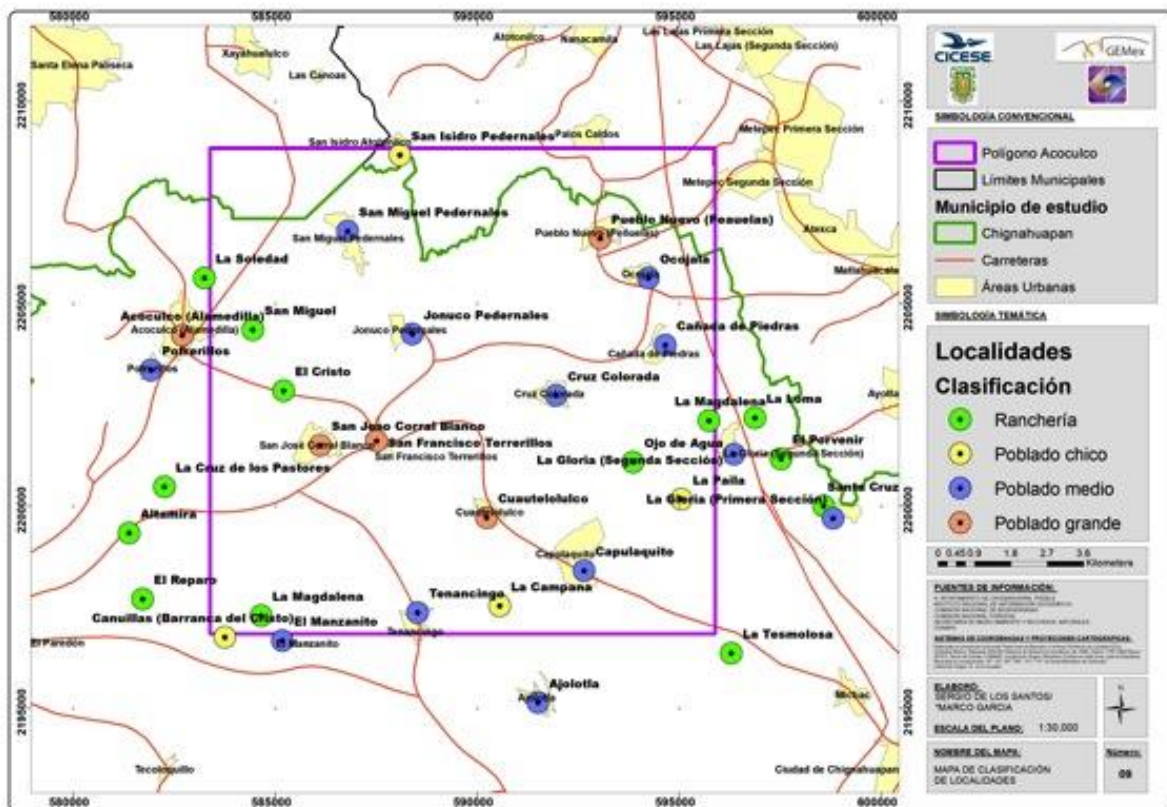


Figura 11.- Reclasificación de las localidades dentro del polígono de exploración de Acoculco.

6.3 Marginación en el sitio del proyecto

Entre los retos que enfrenta la planificación del uso del territorio está el garantizar mejores niveles de bienestar para la población para una sociedad en paz, incluyente y próspera. En la actualidad se cuenta con diferentes instrumentos que permiten la planeación de acciones tendientes la consecución de dichos retos y por ende del desarrollo territorial (PNUD, 2005; 2008). Por tal motivo, dentro de la zona de exploración geotérmica (polígono de Aocolco CFE) del municipio de Chignahuapan, el índice de alta y muy alta marginalidad representan un reto importante para el cumplimiento de la meta de bienestar social. Esto, en la medida que se requieren identificar las necesidades de diferentes localidades y con ello focalizar las acciones necesarias que permitan atender las condiciones de los habitantes (Figura 12; Anexo 14) (CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015).

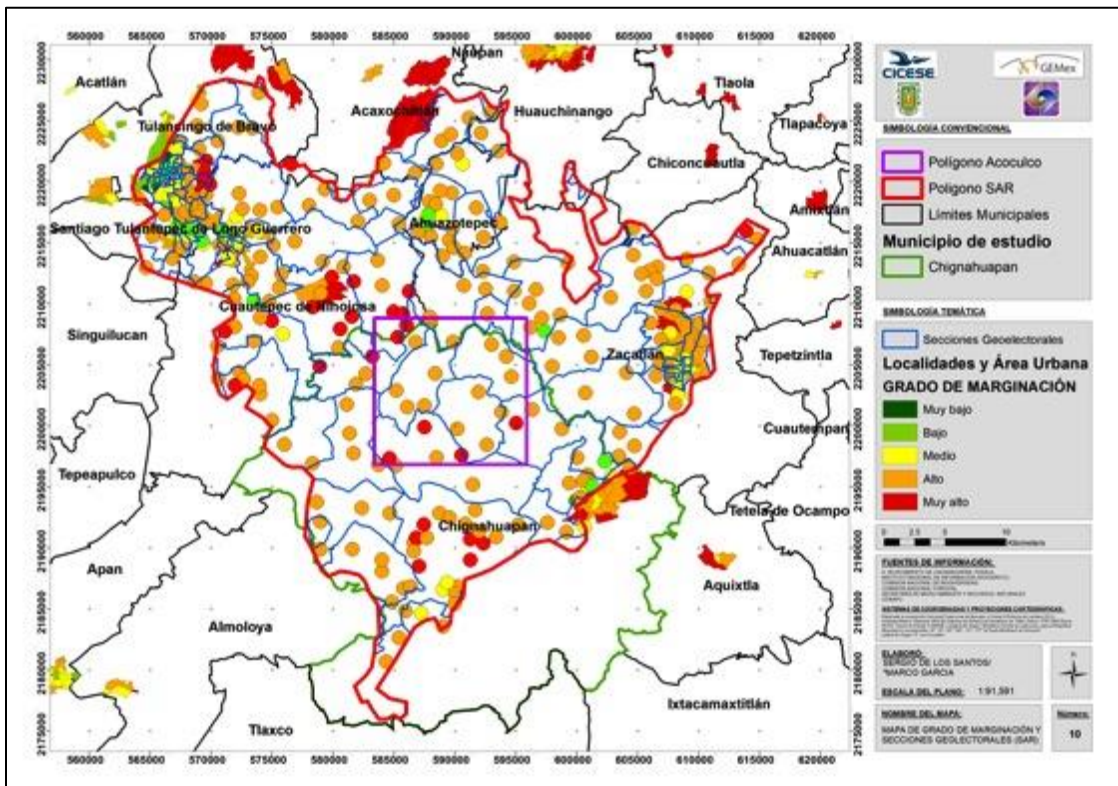


Figura 12.- Grado de marginación en las localidades y secciones geoelectorales del SAR.

Chignahuapan se registraron un total de 13,990 viviendas habitadas. El promedio de habitantes por vivienda es de 4.1. Pero en las localidades dentro del polígono de Acozulco presenta una situación de la vivienda entre muy baja y baja, lo que significa que el promedio de habitantes por vivienda es de 3.3.

De las viviendas habitadas en Chignahuapan, el 78.5% cuenta con piso firme, y el 10.9% con piso de tierra, por lo que la calidad de vivienda en la mayoría de ellas es de categoría regular. Adicionalmente, el servicio de acceso al agua entubada en las viviendas pobladas de Chignahuapan, es medio. Lo anterior de acuerdo a los criterios propuestos por el Consejo Nacional de la Vivienda y conforme a los resultados del Censo de Población y Vivienda 2010, donde de las 13,990 viviendas del territorio de Chignahuapan; 7,113 (50.8%) cuentan con agua entubada dentro de su vivienda. Por el contrario, en el polígono de Acozulco los servicios básicos se encuentran en un margen muy bajo a bajo, por lo cual son sitios con alta prioridad de atención al carecer de los servicios básicos de una vivienda digna (Figura 14) (CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015).

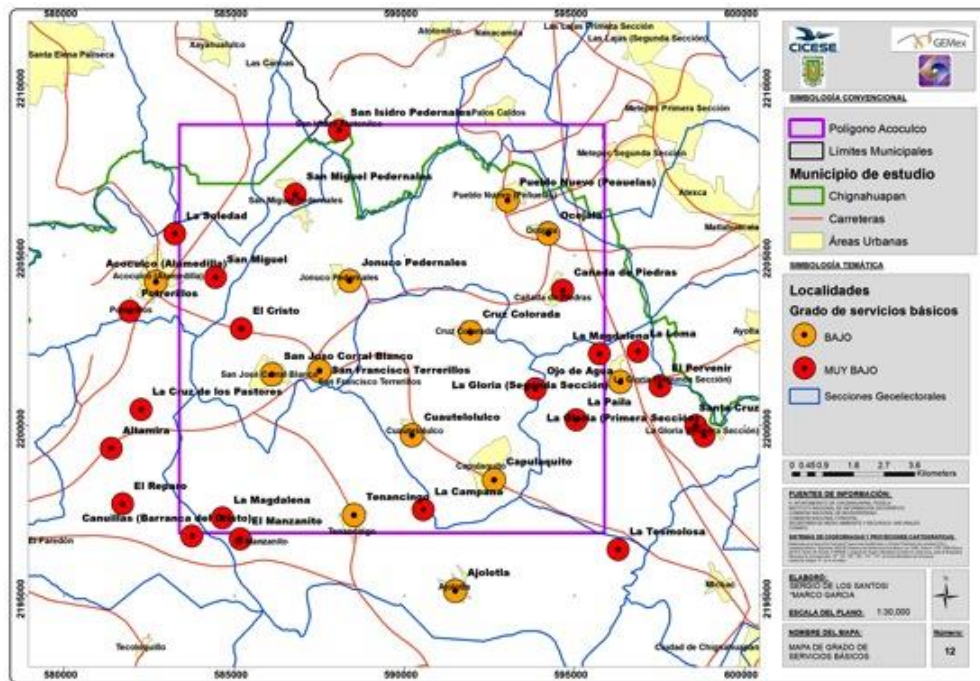


Figura 14.- Servicios básicos de la vivienda de las localidades dentro del polígono de exploración.

6.5 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

El crecimiento urbano debe ser una constante que obliga a dar atención prioritaria al ciudadano, a través programas que contribuyan a mejorar la calidad de vida, en aspectos básicos para su desarrollo integral como la salud, educación, cultura, recreación, deporte, capacitación para el trabajo y fomento a proyectos productivos (PNUD, 2005). Sin embargo, estas metas no son directamente aplicables al desarrollo rural que requiere de sus propios indicadores. De esta manera el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que tiene como objetivo medir el conjunto de capacidades y libertades que tienen los individuos para elegir entre formas de vida alternativas, puede ser un conjunto de indicadores aplicables al desarrollo rural. Para el cálculo del IDH se toman en cuenta tres dimensiones básicas: 1) la posibilidad de gozar de una vida larga y saludable; 2) la capacidad de adquirir conocimientos; 3) la oportunidad de tener recursos que permitan un nivel de vida digno. El desarrollo humano es un proceso dinámico y ligado al contexto local, por ello el indicador sirve para evaluar pertinentemente los avances o retrocesos en las condiciones de vida de las personas en contextos que evolucionan constantemente (PNUD, 2005; CONAPO, 2010).

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) para el caso de Acozulco resultó ser muy bajo debido a las condiciones socioeconómicas en las que se encuentra. En las tablas 10 y 11 se muestra el IDH del municipio de Chignahuapan.

Tabla 10.- IDH elaborado por el Consejo Estatal de Población.

Nivel Educativo	Cobertura (%)		Deserción (%)	
	Municipal	Estatal	Municipal	Estatal
Preescolar	86.80	92.10	2.30	NA

Primaria	102.20	97.70	1.90	1.00
Secundaria	83.00	91.70	3.40	4.60
Media Superior	60.50	65.90	7.50	9.10

Tomado de: INEGI 2010. XIII Censo de Población y Vivienda

Tabla 11.- IDH del municipio de Chignahuapan. Elaboración propia con base (PNUD, 2005; CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015).

Chignahuapan	Índice de educación	Índice de ingreso	Índice de salud	Valor del Índice de Desarrollo Humano (IDH)
Total de población				
57,759	0.522	0.596	0.797	0.628

Para el polígono de Acozulco se reclasificó el IDH para el análisis espacial de la situación de cada una de las localidades con base a los datos estadísticos de CONAPO e INEGI, y los resultados fueron más bajos que los del municipio (Figura 15).

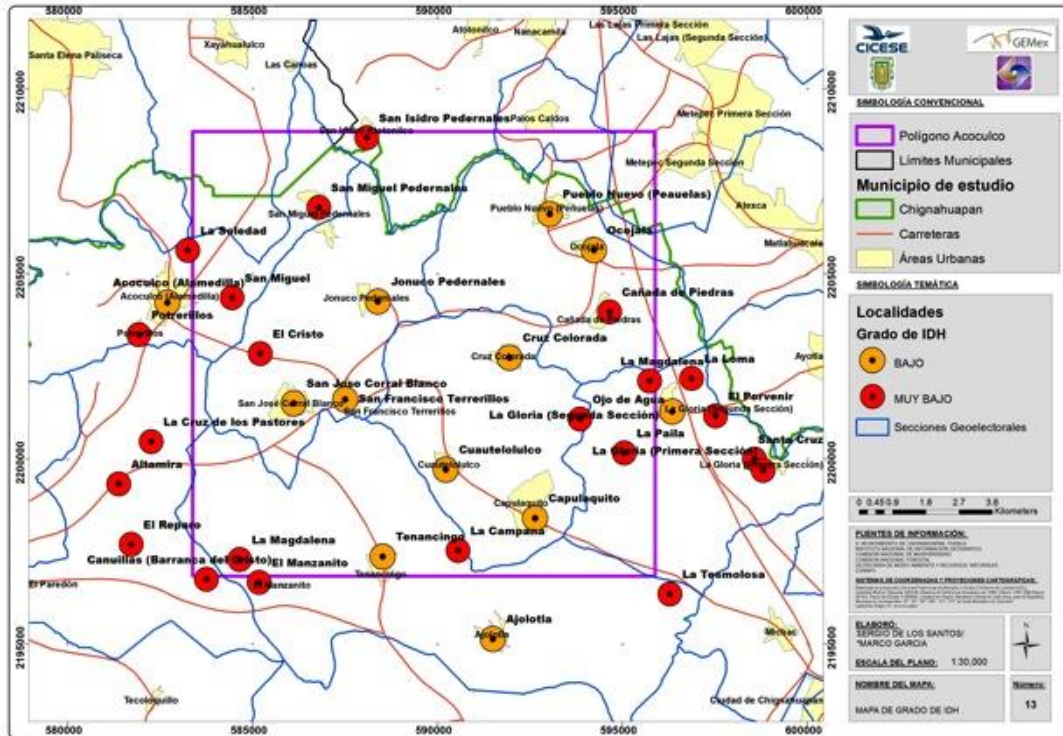


Figura 15.- Reclasificación del IDH de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acapulco (Grado bajo y muy bajo).

6.6 Índice de Salud (is)

El indicador de salud es una estimación de una dimensión determinada de la salud en una población específica. Donde la esperanza de vida al nacer es un indicador de supervivencia a largo plazo. Por lo tanto, se puede utilizar como un indicador de salud a nivel municipal, la tasa de mortalidad infantil (PNUD, 2005; CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015). En Acapulco se obtuvo un índice de salud muy bajo debido a las condiciones en las que se encuentran las localidades, situación que se pudo corroborar durante los recorridos de campo. Sin embargo, para poder ser interpretado cartográficamente una vez obtenida la información se realizó una reclasificación (Figura 16).

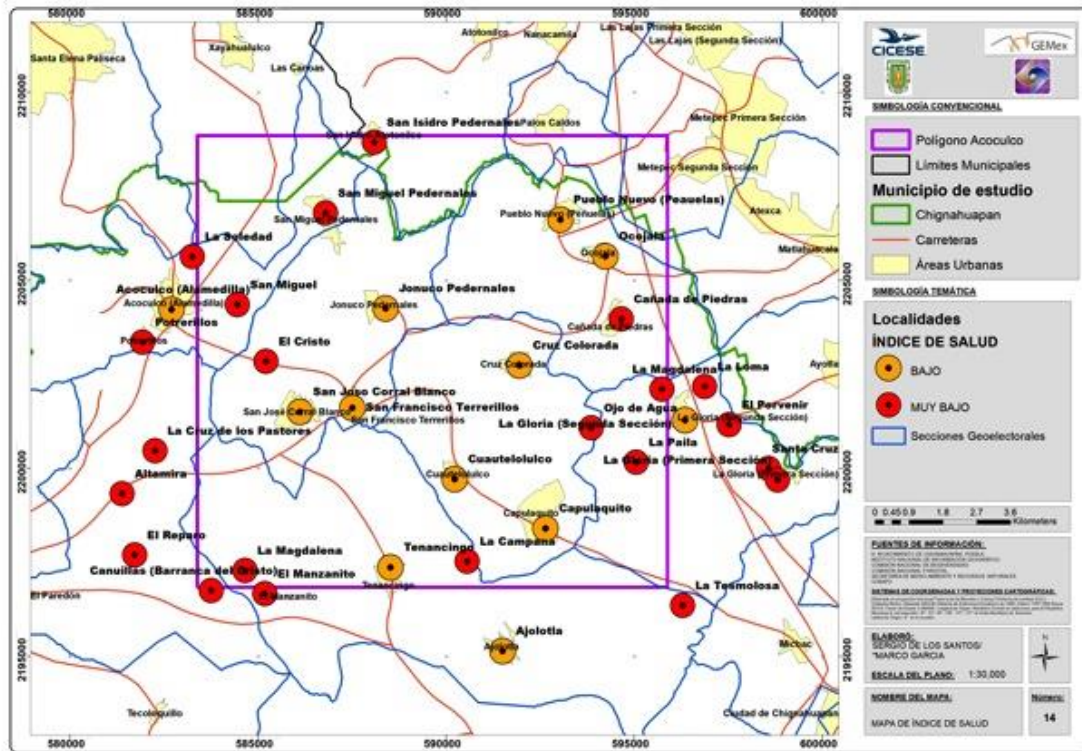


Figura 16.- Reclasificación del Índice de Salud (is) de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acozulco (grado bajo y muy bajo).

6.7 Índice de Educación (ie)

El Índice de Educación (ie) mide el progreso relativo de un municipio en materia de años promedio de escolaridad para personas mayores de 24 años y años esperados de escolaridad para personas entre 6 y 24 años. Como el resto de los indicadores sociales es necesario definir y medir las cuestiones relacionadas con la escolaridad, por lo que en esta propuesta metodológica se incluye (PNUD, 2005; CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015). A causa del alto grado de marginación del sitio de estudio uno de los sectores más impactados es el sector educativo, por las condiciones en las que viven el (ie) es de bajo a muy bajo lo que significa que solo una parte de la población logra terminar la primaria y después se ven en la necesidad de trabajar para poder tener un sustento económico (Figura 17). Los indicadores

educativos constituyen un instrumento de análisis que proporcionan información de gran interés sobre la realidad educativa y sus diferencias entre grupos por localidades en espacios más amplios (PNUD, 2005 ; CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015).

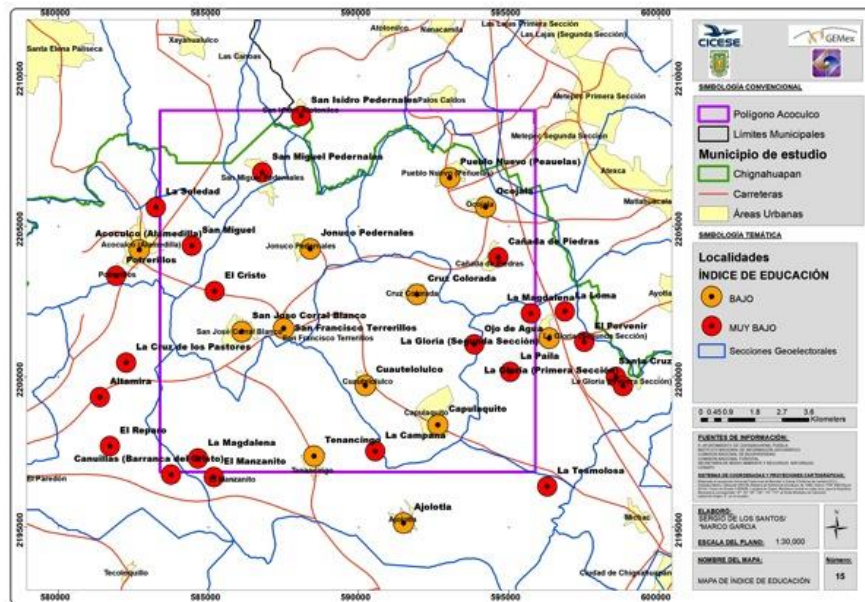


Figura 17.- Reclasificación del Índice de Educación (ie) de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acoculco (grado bajo y muy bajo).

6.8 Índice de Ingreso (ii)

La dimensión de ingreso del IDH refleja el acceso a recursos que permiten gozar de una vida digna y no es tan dinámica como la de educación y salud (PNUD, 2016a). En Acoculco la principal actividad económica es la agricultura de temporal, una actividad primaria puntual y mal remunerada. De igual manera la falta de oportunidades laborales por la misma lejanía de las localidades de la ciudad o los grandes poblados, ha mantenido un nivel de ingreso de bajo a muy bajo. El Índice de Ingreso (ii), se calculó contrastando la información de Acoculco con el Ingreso Nacional Bruto (inb) como un indicador de los recursos disponibles (Figura 18) (PNUD, 2005; CONAPO, 2010; INEGI, 2010, 2015).

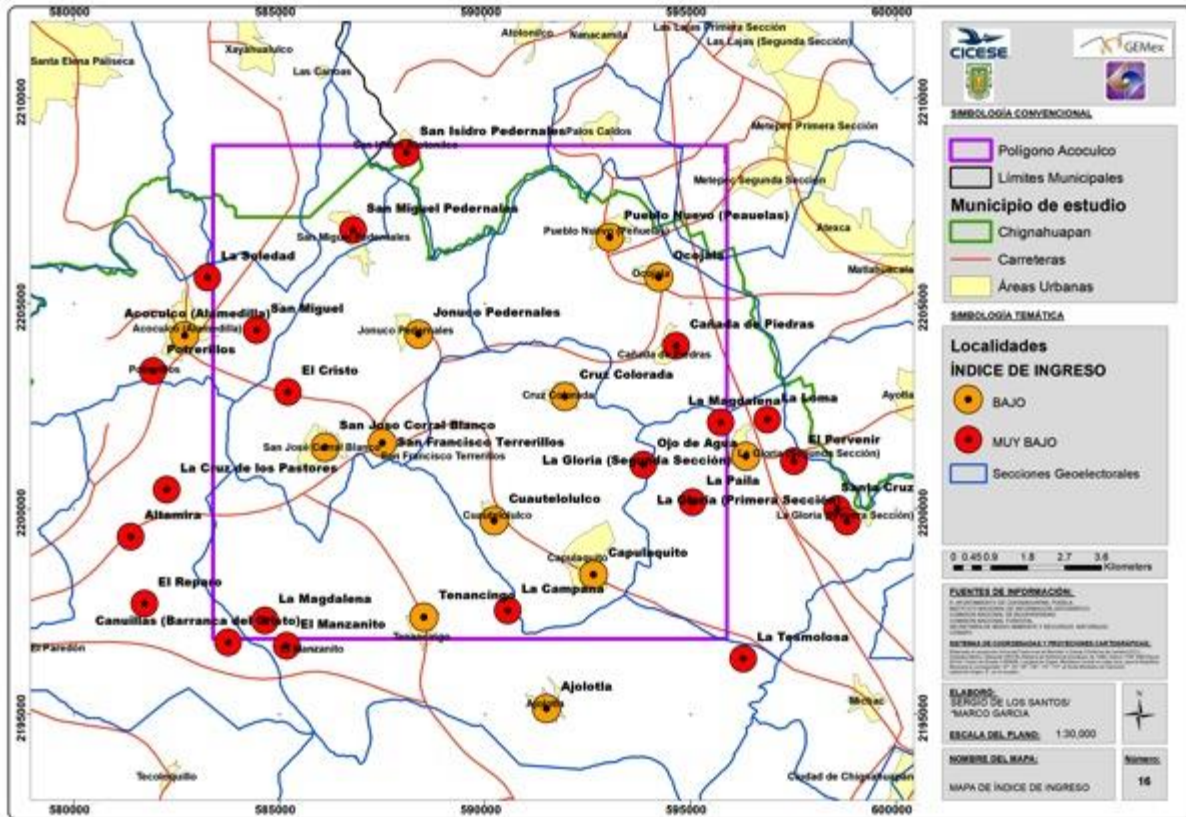


Figura 18.- Reclassificación del Índice de Ingreso (ii) de las localidades cercanas al polígono de exploración de Acapulco.

6.9 Calidad de Vida

En este apartado se analizan los indicadores que representan el bienestar de la sociedad relacionado con el concepto de desempeño o equidad (Seingier et al., 2011). En realidad, este indicador de desempeño indica el estado de la sociedad, en términos de pobreza, educación, salud y vivienda como lo que expresa el índice de marginación (Ardila, 2003; Hernández, 2009). Este indicador de la calidad de vida o del desempeño de la sociedad, permite establecer el bienestar social de una población a partir de los datos cualitativos y objetivos, utilizando preferentemente la metodología de los indicadores sociales y económicos (Sirgy et al. 2006; Cruz, 2014). Este enfoque no deja de lado los aspectos cualitativos de la vida real, si no que trata de elaborar modelos teóricos correspondientes que sirvan para visualizar los

hechos reales. El uso de indicadores sociales como en áreas de la salud, educación y bienestar social (Bloom, 1978; Jiménez y Gómez, 1996), permitió establecer la calidad de vida de una población en el caso específico en Acozulco de acuerdo a la base de información disponible en CONAPO (2010;2015), INEGI (2010; 2015) y las secciones geoelectorales, dando como resultado para el polígono de Acozulco un índice de calidad de vida de grado bajo y muy bajo, lo cual se corroboró en las visitas de campo de las localidades (Figura 19).



Figura 19.- Diagrama de integración del modelo (Determinación para la situación de la calidad de vida en la zona de estudio).

(Modificado de Seingier 2009). Ver el anexo 15 análisis de los indicadores socio-económicos del sitio.

6.10 Presión de la población en el territorio (Indicadores de presión)

Este índice se obtuvo al integrar la información demográfica de las 11 secciones geoelectorales dentro del polígono de exploración y la información con el IDH (Seingier, 2009; INEGI; CONAPO,

2010; Cruz, 2014). Este índice se refiere a las fuerzas antropogénicas que actúan sobre el medio natural. Presiones por las cuales el ambiente es afectado por el incremento de la población, las actividades humanas como la agricultura de temporal, forestal, industria, transporte y por el cambio de uso de suelo o la extracción de algún recurso (Quiróga, 2007; Cruz, 2014). En general, el empleo de este concepto aparece asociado al estudio de impactos ambientales y recursos naturales, sin considerar los riesgos naturales existentes. Con base a estos descriptores se analizan las necesidades primarias, actividades económicas y culturales, para obtener datos que permitan realizar el diagnóstico del sitio en exploración geotérmica (Brown, 1994; Arnot et al., 2004; Walz, 2011; Lausch et al., 2015; Moro et al., 2017).

El índice de presión presentó valores alto y muy alto, para la zona de exploración y se puede observar que existe relación entre el grado de transformación del uso de suelo y del IDH con lejanía de las zonas urbanas (Figura 20).

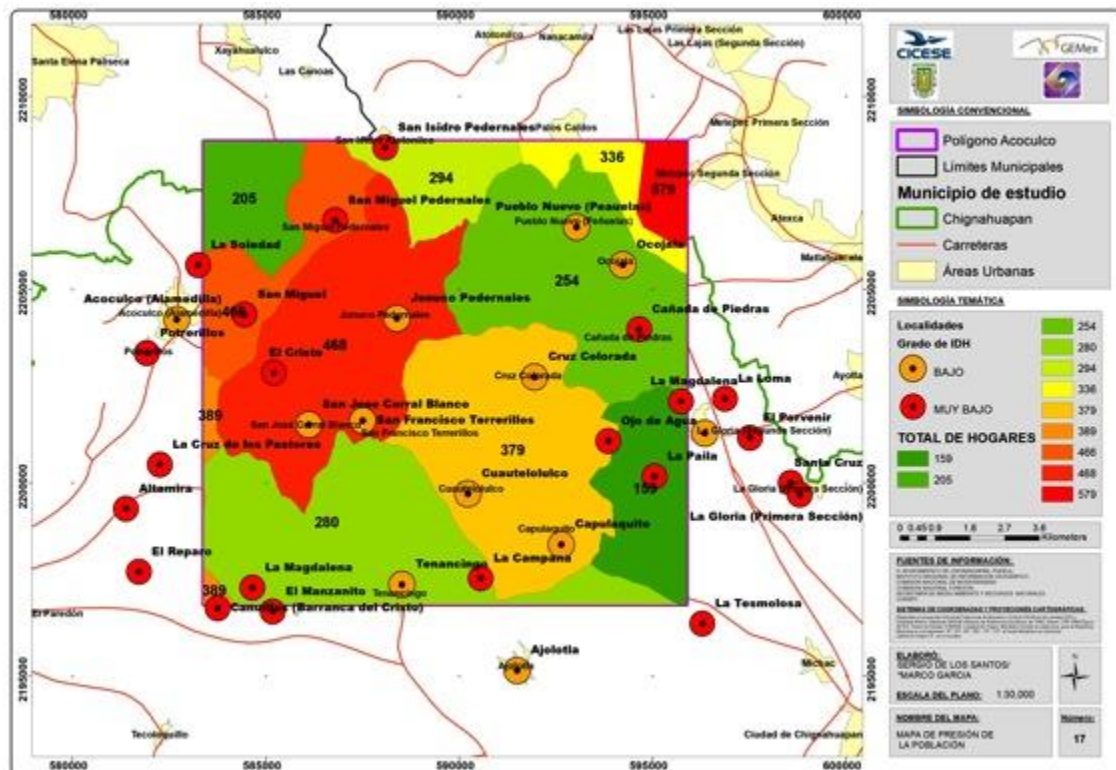


Figura 20.- Presión de población /hogares sobre el territorio y grado de IDH por localidad.

6.11 Indicadores de estado

Por su parte, el componente de estado muestra la organización espacial basada en la ocurrencia natural de los componentes y sus interacciones. La cual combina atributos de la estructura, la composición y el funcionamiento de los paisajes. En un primer nivel, tenemos las unidades naturales las cuales describen las características que se tienen en ellas, para lo cual se desarrollan indicadores de la estructura y composición geomorfológica. En un segundo nivel, en la que se encuentra la denominada base biótica que busca la relación naturaleza-naturaleza en el ecosistema a través del análisis de las coberturas naturales de vegetación. En el ultimo nivel, el análisis de las interrelaciones espaciales entre las unidades naturales y el paisaje como un todo con cada característica dentro del paisaje (*Arredondo-Garcia, 2006*). En este caso se agruparon los indicadores de medio físico natural con la cobertura de vegetación para determinar el indicador de estado.

6.12 Índice de Calidad del Ambiente (índice de estado)

La calidad ambiental se define como el conjunto de variables (ambientales, sociales, culturales y económicas) que califican el estado, disponibilidad y acceso a componentes de la naturaleza y la presencia de posibles alteraciones en el ambiente. Esta evaluación permite determinar la presencia de una afectación y así establecer objetivos de aprovechamiento y conservación mediante el uso de diversos indicadores ambientales (*CELEC, 2013*). Así mismo, el objetivo de estos indicadores ambientales es suministrar información sobre la calidad del medio biofísico (estado del medio abiótico y biótico) y

representar la complejidad del sistema (Durán, 2000). Algunos indicadores de estado son: superficie de vegetación natural, número de especies, biodiversidad, calidad del aire y calidad del agua (Cruz, 2014).

En la tabla 12 se determinan los kilómetros cuadrados de vegetación natural dentro del polígono de exploración divididos por el área total del polígono dieron una estimación de la cantidad de ambiente natural que cubre el polígono de exploración (subíndice de cobertura natural NCI). La calidad de este entorno se estimó mediante un indicador de calidad del paisaje, al igual que el número de localidades de diversos tamaños con relación a la superficie del polígono de exploración (perforación por subíndice de localidad). La suma de ambos subíndices representa el índice de estado SI, construido de manera que aumenta con una mayor cobertura de vegetación natural y disminuye con el desarrollo de la perforación más pueblos y localidades (G. Seingier 2009).

Tabla 12.- Calidad del Ambiente en el polígono de exploración de Aocolco.

Calidad del Ambiente (IE Índice de estado)	
ICN Índice de cobertura natural % de cobertura natural= Km²N / Km²PE	65.0155 Km ² /150 km ² = 0.433436 * 100 = (43.3436)
km²N Superficie natural (N)	65.0155 Km ²
Km²PE Superficie del polígono de exploración (PE)	150 km ²
IPL Índice de perforación por localidades = 1- (NL/ Km²PE)	1 - (36/150 km ²) = 0.76
NL # de localidades	36
Resultado	44.1036
Observaciones: Con nuestro resultado se puede aseverar que la calidad ambiental es buena en un rango (Medio-Alta) incluso a pesar de las problemáticas sociales dentro del sitio.	

6.13 Impactos ambientales directos por la geotermia (exploración, construcción y operación) Indicadores de impacto

Para poder determinar los indicadores de impacto fue necesario analizar un sitio donde exista aprovechamiento geotérmico, el área seleccionada fue Los Humeros, localidad que se encuentra ubicada en la sierra norte de Puebla a 300 kilómetros de Acapulco. Existen trabajos que evalúan los impactos ambientales directos debidos a la actividad geotermoelectrica en Los Humeros (Tabla 13) (*Mendoza, 2004; Pastrana, 2005*). En estos trabajos se determina un conjunto de indicadores ambientales que pueden ser aplicables al modelo FEPEIR y servir de referencia para conocer el posible impacto ambiental en el sitio de exploración de Acapulco. Cabe mencionar que en Los Humeros no se observa impacto positivo directo sobre la comunidad como generadora de desarrollo (PNUD, 2005).

Tabla 13.- Gestiones ambientales para dar cumplimiento al marco jurídico ambiental Humeros. Modificado de (Pastrana, 2005).

Materia	Dependencia	Trámite
Impacto ambiental Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera	DGNA-INE- SEDESOL	Presentación de la MIA-G para la instalación de unidades generadoras de 5 MW de capacidad en el Campo Geotérmico de Los Humeros (Abril 1993)
		Entrega de la información adicional (IA) a la MIA-G (Marzo 1994)
	SMA-DFP- SEMARNAT	Presentación de la solicitud para la LF de las fuentes fijas de emisión del Campo Geotérmico Los Humeros (1993)
Entrega de la información adicional de la LF (Abril y Agosto de 1995)		
Residuos peligrosos	CNA	Solicitud de registro como empresa generadora de Residuos Peligrosos (Febrero 1997)
Aguas Nacionales		Segunda solicitud como empresa generadora de RP (Julio 2000)
Derechos en Materia de Agua		Solicitud del permiso de descarga de aguas residuales del campo al yacimiento por medio de pozos inyectores y del campamento a través del sistema de tratamiento.

Para el caso de Acoculco se aplicó el modelo FPEIR con los indicadores propuestos para Los Humeros, para identificar las amenazas e impactos ambientales potenciales, a partir de la situación actual y los escenarios de impacto que puedan ocurrir en el sitio, para proponer las acciones de prevención, control y mitigación que sean aplicables al sistema socioambiental del área exploración (Tabla 12).

6.14 Medidas de mitigación y prevención en Humeros Puebla. Indicadores de respuesta

En las figuras 21 y 22 se presentan algunas de las medidas de mitigación y prevención realizadas por parte de la CFE en Los Humeros, para dar cumplimiento a los términos y condicionantes impuestos por la SEMARNAT en el resolutivo de impacto ambiental, el cual incluye actividades de:

- Manejo y rescate de especies de flora y fauna catalogadas en estado de conservación (Término 3.5).
- Restauración en las áreas en las que la CFE desmantele infraestructura (Término 3.7).
- Análisis ambiental periódico (monitoreo de aire y agua) (Términos 3.10, 3.12 y 3.13).
- Seguimiento al programa de reforestación manifestado (Término 3.17).
- Mantenimiento de los caminos de acceso (Término 3.18).



Figura 21.- Medidas de mitigación y prevención de los impactos ambientales en los Humeros, Puebla.

Elaboración propia con base a: (Pastrana et al., 2005).

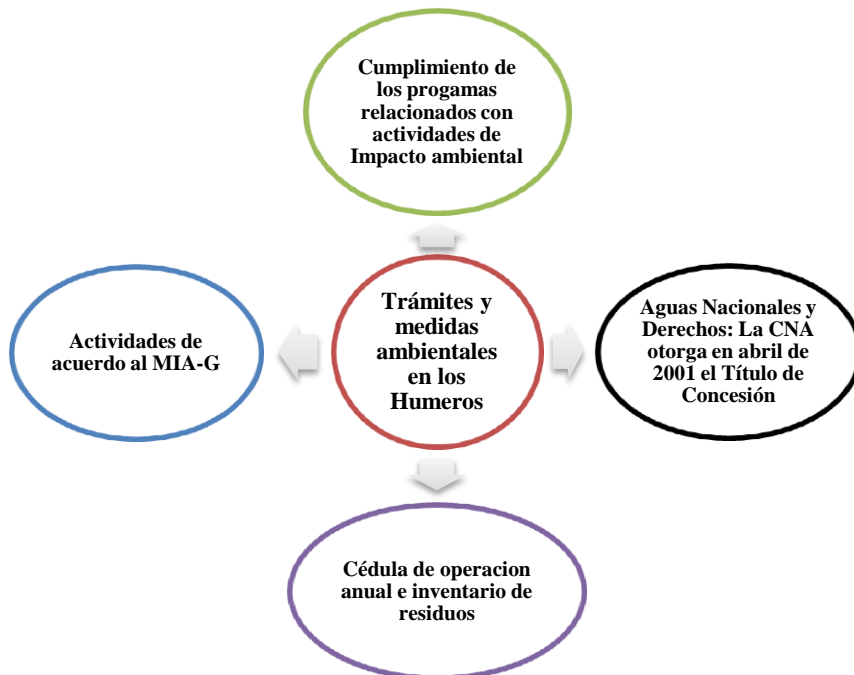


Figura 22.- Trámites y cumplimientos ambientales en el campo geotermoeléctrico de Los Humeros.

Elaboración propia con base en Pastrana et al., 2005.

Es importante hacer notar, que las medidas propuestas son correctivas, como respuestas orientadas hacia los impactos y no hacia las presiones como medidas de mitigación y prevención.

Modelo FPEIR para Los Humeros y Acoculco, Puebla.

En las figuras 23 y 24 se presenta el modelo FPEIR para cada uno de los sitios (Los Humeros y Acoculco). En la tabla 12 se incluyen los indicadores socio-ambientales que se identifican con base a la situación actual en Los Humeros. Así mismo se incluyen los posibles escenarios de impacto esperados en el sitio en exploración de Acoculco.



Figura 23.- Modelo Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta, P-E-I/E-R (Humeros).
Elaboración propia con base en Carr et al., 2007; Arredondo-García, 2006).

Los Humeros en el que las respuestas van más hacia las presiones e impactos por ello no lo hace sustentable. Acoculco en donde al crear el estudio de línea base se espera que las respuestas tiendan más hacia las presiones y estados para cumplir con la categoría sustentable que el modelo propone.



Figura 24.- Modelo Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta, P-E-I/E-R. (Acoculco)

Tabla 14.- Indicadores socio-ambientales para evaluarlos con el modelo FPEIR.

Sitio	Indicadores FPEIR				
	Fuerzas Motrices	Presión	Estado	Impacto	Respuesta
Humeros	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de energías renovables, acuerdos internacionales 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento poblacional Tasa de crecimiento, índice de marginación, población económicamente activa e inactiva Potencial geotérmico (yacimientos) 	<ul style="list-style-type: none"> Calidad ambiental (fragmentación, uso de suelo y vegetación, cobertura natural) Calidad de vida (Economía doméstica, marginación) 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de uso de suelo, fragmentación ambiental Calidad del Aire (Emisiones a la Atmósfera ton/año) Perdida de Biodiversidad Perdida de Recursos forestales Generación de Residuos peligrosos Perdida de Hábitat Aumento de la Marginación 	<ul style="list-style-type: none"> Medidas de prevención y mitigación ambiental (SEMARNAT) Vigilancia y monitoreo (PROFEPA/CFE) Medidas de mitigación y restauración (CFE/CONAFOR)
Acoculco	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de energías renovables, acuerdos internacionales Autorización de área de exploración geotérmica (Secretaría de Energía SENER oficio DG/014/2015) 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento poblacional Tasa de crecimiento, índice de marginación, población (es una condición social económicamente activa e inactiva (IDEM)) Sitio con potencial geotérmico (yacimientos) 	<ul style="list-style-type: none"> Calidad ambiental (fragmentación ambiental, uso de suelo y vegetación, cobertura natural) Calidad de vida (economía, marginación) 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de uso de suelo, (el cambio a una condición, no un impacto por fragmentación ambiental) Cambios en la calidad del Aire (Emisiones a la atmósfera (ton/año)). Generación de Residuos peligrosos 	<ul style="list-style-type: none"> Línea base plan de manejo socio-ambiental de proyectos Geotérmicos (SENER) C-EVIS (Impacto social por proyectos renovables)

Elaboración propia con base a: (Carr et al., 2007).

En este trabajo se presenta un esquema de línea base para analizar los impactos socio-ambientales para un proyecto geotérmico en Aocolco, Puebla. El análisis de información presentó limitantes ambientales, geopolíticas y administrativas. Para poder conocer el sitio de estudio se tuvieron que incorporar criterios sociales, económicos y ecológicos que permitieron definir un Sistema Ambiental Regional (SAR), tal y como lo plantea el Reglamento en Materia de Impacto Ambiental (*SEMARNAT, 2002; Delgado, 2015*).

El sistema ambiental regional (SAR) es un conjunto de elementos que interactúan y son interdependientes, de forma tal que las interrelaciones pueden modificar a uno o a todos los demás componentes del sistema dentro de la región en donde se va a desarrollar un proyecto. De esta forma, para el polígono de exploración de Aocolco se delimitó un Sistema Ambiental Regional (SAR) con base en las interacciones entre los medios abiótico, biótico y socioeconómico de la región. Esta delimitación permitió integrar las actividades humanas que se desarrollan en los ecosistemas de la zona, como sistemas funcionales estructurados jerárquicamente a diferentes escalas temporales, macroescala y microescala, para lograr obtener indicadores sociales, ambientales y económicos (*SEMARNAT, 2002; Delgado 2015*), y de esta manera determinar el estado actual de la zona del proyecto.

Es importante que al delimitar el sistema ambiental regional (SAR) se justifique la interacción que existe entre los socioecosistemas. Así mismo los sistemas de información geográfica (SIG) son muy útiles para poder obtener las unidades de paisaje (up) en la macroescala y delimitar las unidades ambientales (ua) para la microescala (*Zonneveld, 1989; Cendrero y Fischer 1997; Arellano, 2001; Arnot et al., 2004; Bolós y Ortiz, 2006; Walz, 2011*).

Cabe mencionar que el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para evaluar las unidades ambientales (UA) permitió analizar y crear espacialmente

escenarios de impacto de proyectos de desarrollo geotérmico. La representación espacial de estos impactos para la investigación de la ecología de paisaje ambiental y geográfico, facilitan el análisis de los efectos sobre los procesos ambientales permitiendo modelar los cambios de un proyecto de desarrollo geotérmico con ayuda de indicadores.

Diversos estudios han modelado y analizado el proceso de deforestación considerando variables socioeconómicas y ambientales (*Cendrero y Fischer, 1997*). Debido a que este proceso observado puede o no repetirse en otras localidades de la región estudiada, es importante conocer los patrones ambientales, sociales y económicos que estimulan la deforestación y sus amenazas, por actividades incompatibles con el mantenimiento de la calidad ambiental. Esto se hace con el objetivo de identificar áreas biológicamente significativas, comenzando con un inventario a gran escala de patrones de paisaje, vegetación y estructura del hábitat, así como de la vocación natural del suelo a diferentes escalas espaciales para la generación de escenarios futuros de uso de terrenos (*Zonneveld, 1989; Cendrero y Fischer, 1997; Arellano, 2001; Arnot et al, 2004; Bolós y Ortiz, 2006; Walz, 2011*).

La zonificación en unidades de paisaje se utilizó para hacer un diagnóstico del sitio con base en un modelo de indicadores ambientales (*Carr et al., 2007; Wölfl et al., 2009; OECD, 2010*), los cuales permitieron tener una aproximación a las condiciones socioambientales del área de exploración de Acoculco. Los indicadores socioeconómicos y la verificación de campo, mostraron que las condiciones de vida son precarias con grado de calidad de vida muy bajo – bajo. Este resultado plantea la necesidad de que el proyecto geotérmico que se proponga integre el uso de la energía geotérmica directa, que permita aprovechar este recurso en actividades económicas para mejorar la calidad de vida de los residentes de la zona, los servicios básicos de

salud, educación, vivienda y calidad del agua, programas de apoyo del sector social y empleos, tal y como sucede en Filipinas e Islandia (*Fridleifsson, 2001*).

Actualmente la zona de Acoculco muestra indicadores de impacto ambiental en un rango medio – alto en la calidad ambiental por las actividades como la agricultura temporal y permanente que se realizan, aun con el aprovechamiento legal e ilegal del bosque. Aunque no se ve reflejado en la mejora de sus condiciones de vida, dado que el grado de marginalidad, como ya se comentó, es alto y muy alto.

Por otro lado, al contrastar los impactos ambientales y la marginalidad del campo geotermoeléctrico de Los Humeros, localizado a 300 km de Acoculco. Se encontró un alto impacto ambiental, un grado de marginación alto - muy alto y de calidad vida muy bajo – bajo, lo que muestra que el proyecto geotermoeléctrico existente no ha contribuido a mejorar integralmente las condiciones ambientales y la calidad vida de las comunidades aledañas. Por lo que es necesario que los nuevos proyectos geotermoeléctricos que se propongan consideren un esquema de participación comunitaria que permita gozar de los beneficios que el proyecto puede ofrecerles y mejore su calidad de vida, como sucede en campos geotermoeléctricos de países como Filipinas e Islandia (*Fridleifsson, 2001; Lidula et al., 2007*).

Por último hay que mencionar que no existe un sistema único para establecer un modelo de indicadores para la evaluación de impacto ambiental de proyectos Geotermoelectricos, pero el sistema de indicadores provee de una visión agregada de la condición ambiental, que debe ser coherente con los intereses sociales y útil para la toma de decisiones, adecuada a las condiciones locales (*Perevochtchikova, 2013*), como se presenta en este trabajo que responde a la necesidad

de contar con herramientas de diagnóstico aplicables a los planes de desarrollo en la zona de Acoculco.

VII. CONCLUSIONES

- * Se determinó el Sistema Ambiental de Regional (SAR) del sitio en exploración para aprovechamiento geotérmico en Acoculco Puebla, con base en las características del medio físico natural como hidrología, geología y geomorfología.
- * Se delimitaron las unidades de paisaje con base en el uso de suelo y vegetación del SAR las cuales de las 54 unidades de paisaje tienen condiciones de suelo transformado en un 92.5% y suelo natural en un 7.5%, y las unidades ambientales con base en las condiciones del uso de suelo y vegetación tomando en cuenta de igual manera las actividades económicas del sitio de exploración como son las secciones geoelectorales.
- * La descripción y análisis espacial de las Unidades Ambientales (UA) permitió reclasificar las 36 localidades del polígono de exploración y determinar los indicadores socioeconómicos de manera precisa, el resultado mostró el alto y muy alto grado de marginación en la zona, tales como Cruz de los Pastores como la de mas alto grado de marginación y Acoculco la localidad con el más bajo grado de marginación.
- * En este trabajo se analizaron los impactos socio-ambientales de un sitio de exploración para el desarrollo de un posible proyecto geotérmico en Acoculco, Puebla, con base en indicadores ambientales.

- * La zona de estudio se identificó una calidad ambiental medio y alto grado de deterioro ambiental lo que indica que hay que se deben implementar acciones para la conservación de las unidades naturales dentro del sistema.
- * Los indicadores socio-ambientales evaluados en el modelo FPEIR. representan una propuesta de línea base para la evaluación del impacto socio-ambiental de potenciales proyectos geotérmicos para esta zona.
- * Por último, hay que mencionar que esta es solo una propuesta de modelos de indicadores para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, y debe ser aplicada para probar la pertinencia de los componentes que lo conforman para los proyectos geotermoelectricos propuestos para la zona de estudio.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ardila R. (2003). Calidad de vida: una definición integradora. *Revista Latinoamericana de psicología*, 35(2), 161-164.
- Acostupa, Y., Aréstegui, D., Castro, E., Choquevilca, W., Guzmán, G., y Sánchez, P. (2017). Aplicación de la metodología FPEIR al diagnóstico ambiental del Humedal Lucre-Huacarpay, 2017. *Yachay-Revista Científico Cultural*, 6(01), 90-114.
- Arellano Reyes, A. (2001), Delimitación de unidades ambientales por medio de una regionalización geomorfológica del Mesobloque El Encantado, Oaxaca, tesis, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM (40-48)
- Arnot, C., Fisher, P.F., Wadsworth, R. y Wellens, J., (2004). Landscape metrics with ecotones: pattern under uncertainty. *Landsc. Ecol.* 19, 181–195.
- Arteaga, A., y San Juan, G. A. (2011). Estudio de la vulnerabilidad social (Ambiental-energética-espacial) y aplicación del modelo FPEI (Vu) R en el municipio de La Plata. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15.
- Avalos, F, S. y J. C. Baca C. 2007. Diagnóstico socio-económico y de manejo forestal. Unidad de Manejo Forestal-Zacatlán. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SMRN)-Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán, A. C. 280 p
- Bertani, R., (2015). Geothermal power generation in the world 2010–2014 update report. *Proc. World Geotherm. Congr* 1–19
- Bini, C., y Bresolin, F. (1998). Soil acidification by acid rain in forest ecosystems: A case study in northern Italy. *Science of the total environment*, 222(1-2), 1-15.
- Bolós, M., y Ortiz, A. G. (2006). L'Alt Pirineu i Aran. Cartografia d'unitats funcionals de paisatge. *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*, 65-75.
- Brown, D. G. (1994). Predicting vegetation types at treeline using topography and biophysical disturbance variables. *Journal of Vegetation Science*, 5(5), 641-656.
- Brown, D. W. (2000). A hot dry rock geothermal energy concept utilizing supercritical CO₂ instead of water. In *Proceedings of the twenty-fifth workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University (pp. 233-238).
- Buzai, G. D. (2007). Dilemas de la relación Geografía-SIG entre la disciplina, la interdisciplina y la transdisciplina. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (7), 5-7.
- Campbell, H. E., Montero, G., y Lambert, A. A. (2011). Impactos económicos, ambientales y sociales del desarrollo geotérmico y del ahorro y uso eficiente de la electricidad en Baja California, México. *GEOTERMIA*, 25.
- Campbell, H. E., Montero, G., y Lambert, A. A. (2011). Impactos económicos, ambientales y sociales del desarrollo geotérmico y del ahorro y uso eficiente de la electricidad en Baja California, México. *GEOTERMIA*, 25.

- Canet, C., Arana, L., González-Partida, E., Pi, T., Prol-Ledesma, R. M., Franco, S. I., y López-Hernández, A. (2010). A statistics-based method for the short-wave infrared spectral analysis of altered rocks: An example from the Acoculco Caldera, Eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Geochemical Exploration*, 105(1-2), 1-10.
- Canet, C., Hernández-Cruz, B., Jiménez-Franco, A., Pi, T., Peláez, B., Villanueva-Estrada, R. E., ... y Salinas, S. (2015). Combining ammonium mapping and short-wave infrared (SWIR) reflectance spectroscopy to constrain a model of hydrothermal alteration for the Acoculco geothermal zone, Eastern Mexico. *Geothermics*, 53, 154-165.
- Canet, C., Trillaud, F., Prol-Ledesma, R. M., González-Hernández, G., Peláez, B., Hernández-Cruz, B., y Sánchez-Córdova, M. M. (2015). Thermal history of the Acoculco geothermal system, eastern Mexico: Insights from numerical modeling and radiocarbon dating. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 305, 56-62.
- Careaga, J. R. (2005). Zonificación agroecológica de la Sierra Norte de Puebla. Buap.
- Carlsson, L., y Berkes, F. (2005). Co-management: Concepts and methodological implications. *Journal of Environmental Management*, 75, 65–76.
- Carr, E. R., Wingard, P. M., Yorty, S. C., Thompson, M. C., Jensen, N. K., y Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 14(6): 543-555.
- CeMIE-Geo (Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica) "Evaluación de los recursos geotérmicos nacionales" 2014
- Cendrero, A. y Fischer D. (1997). A Procedure for Assessing the Environmental Quality of Coastal Areas for Planning and Management. *Journal of Coastal Research*, 13(3):732-744
- Chávez M. y Chávez J. (2006) "La influencia de la transdisciplinariedad en el manejo de recursos naturales y la conservación"
- Christian, C. S. y Stewart, G. A. (1968): "Methodology of integrated surveys", en UN ESCO (ed.): *Aerial surveys and integrated studies*. París, UNESCO, pp. 233-281.
- Christie, P. (2011). Creating space for interdisciplinary marine and coastal research: five dilemmas and suggested resolutions. *Environmental Conservation* 38:172-186.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. Editorial Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. 408 p.
- CONAFOR Comisión Nacional Forestal (2003) *En la historia y el futuro de la política forestal de México*
- Consejo Nacional de Población). (Índice de marginación por localidad 2010). <https://datos.gob.mx/busca/organization/conapo>
- Cruz Ortiz, M. (2014). "Tendencias de desarrollo sustentable en los municipios costeros del pacífico centro-sur de México". tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California UABC (94 pp.)

- Cruz-Huerta, C., González-Guillén, M. J., Martínez-Trinidad, T., y Escalona-Maurice, M. J. (2015). Modelaje del cambio de uso del suelo y la deforestación futura en dos escalas espaciales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 21(2), 137-156.
- Dale V. H. y Beyeler S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1:3-10
- De programas, Inventario CONEVAL (2013); DE DESARROLLO SOCIAL, Acciones Federales. México DF.
- Del Río Monges, J. A. (2019). ¿Cómo podría eliminar México gradual y sosteniblemente el uso de combustibles fósiles para generar electricidad?.
- Delgado, J., Garza, G., Ortiz, M. I., Chias, J. L., Ibarra, V., Toscana, A., y Gasca, J. (2015). Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región”, Proyecto hidroeléctrico “La Parota”. Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), CFE-UNAM, México. pp: 733-1011.
- Diario Oficial de la Federación, D. O. (2014). DECRETO por el que se expiden la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. Título Cuatro, Capítulo VII disposiciones finales, Transitorios, Artículo tercero. In H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos (11 de agosto de 2014). Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php.
- Díaz-Pérez, S. (2001), Cartografía morfogenética de la Cuenca de Toluca a escala 1:100 000, tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Dickson, M. H., y Fanelli, M. (2003). Geothermal background. *Geothermal Energy, Utilization and Technology, UNESCO, Paris, 125*.
- Durán, G. E. M. M. A. (2000). Medir la sostenibilidad: indicadores económicos, ecológicos y sociales. VII Jornadas de economía crítica: La fragilidad financiera del capitalismo.
- Escobar, L. (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *Eure (Santiago)*, 32(96), 73-98.
- Estadísticas Censales a Escalas Geoelectorales (2010)
- Fabricius, C., y Currie, B. (2015). Adaptive co-management. In: Fabricius C., Currie B. (eds). *Adaptive management of social-ecological systems*. Springer, Dordrecht. 147-179 pp.
- Forman, R.T.T. y Godron, M. (1986), *Landscape Ecology*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Fridleifsson, I. B. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and sustainable energy reviews*, 5(3), 299-312.
- Fridleifsson, I. B., Bertani, R., Huenges, E., Lund, J. W., Ragnarsson, A., & Rybach, L. (2008). The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In IPCC scoping meeting on renewable energy sources, proceedings, Luebeck, Germany (Vol. 20, No. 25, pp. 59-80).

- Gandolfi, A., y Cortazar, M. (2006). El desafío de la Interdisciplina en la formación de los Profesionales de la Salud. VIII Jornadas de Psicología Universitaria.(73-78) Universidad de la República, Facultad de Psicología.
- Arredondo-García, M.C. (2006). Modelo multiescalar de indicadores como herramienta para la planificación ambiental en la región del Golfo de California (Tesis de Doctorado en Oceanografía Costera. FCM-IIO; UABC.
- García-Vallès, M., Pi, T., Alfonso, P., Canet, C., Martínez, S., Jiménez-Franco, A., ... & Hernández-Cruz, B. (2015). Kaolin from Acoculco (Puebla, Mexico) as raw material: Mineralogical and thermal characterization. *Clay Minerals*, 50(3), 405-416.
- Genter, A., Evans, K., Cuenot, N., Fritsch, D., y Sanjuan, B. (2010). Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *Comptes Rendus Geoscience*, 342(7-8), 502-516.
- Gómez Orea, D. (1978). Medio físico y la planificación. In *CIFCA Cuadernos* (Vol. 10). Cifca.
- Gómez Salcedo, M. D. Aplicación de la metodología FPEIR al diagnóstico ambiental de los procesos de degradación de suelos por erosión en el departamento de Casanare.
- Gómez-Morin L, JL Fermán-Almada, DW Fischer e I Espejel-Carbajal.1996. Planificación Ambiental del Desarrollo Sustentable en la zona costera. Dossier ¿Desarrollo Sustentable realidad o retórica? *Revista Universidad de Guadalajara*. Agosto-septiembre; No. 6 (p 65-70)
- González M. (2014), “Identificación de áreas prioritarias para restauración ecológica, en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla” (Tesis de Maestría., Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, 2014) 32-40.
- González Ovando, M. L. (2014). Identificación de áreas prioritarias para restauración ecológica, en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla.
- González Ovando, M. L., Plascencia Escalante, F. O., y Martínez-Trinidad, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y bosques*, 22(2), 41-52.
- González-Acevedo, Z. I., y Olguín, F. P. (2016). Propuesta metodológica para determinar el desarrollo sustentable de zonas con potencial geotérmico. *REVISTA MEXICANA DE GEOENERGÍA*• ISSN 0186 5897, 29(2), 37.
- Guigue, A.L y León C. 2015 Claves para la Elaboración de la Evaluación del Impacto Social en el Sector Energético (C-EVIS). Guía gratuita Guigue-León. CEGAM.
- Gutiérrez-Negrín, L. C., y Quijano-León, J. L. (2004). Update of geothermics in Mexico. *Geotermia*, 17, 21-30.
- Gutiérrez-Negrín, L. C., y Quijano-León, J. L. (2004). Update of geothermics in Mexico. *Geotermia*, 17, 21-30.

- Hansen, L., Hoffman J., Drews C., y Mielbrecht E. (2010). Designing climate-smart conservation: guidance and case studies. *Conservation Biology* 24:63-69. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01404.x>
- Haraldsson I. G. (2011). Environmental monitoring of geothermal power plants in operation, Notes of the short course on geothermal drilling, resource development and power plants 2011, UNU-GTP and LaGeo, El Salvador.
- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y Medio Ambiente Urbano: indicadores locales de sustentabilidad y calidad de vida urbana. *Revista Invi*, 24(65), 79-111.
- Hoechstetter, S., Tinh, N.X., Walz, U. (2006). 3D-indices for the analysis of spatial patterns of landscape structure. In: Kremers, H., Tikunov, V. (Eds.), *InterCarto-InterGIS 12. International Conference on Geoinformation for Sustainable Development*. Deutsche Gesellschaft für Kartographie, Berlin, pp. 108–118.
- Holm, P., M. E. Goodsite, S. Cloetingh, M. Agnoletti, B. Moldan, D. J. Lang, R. Leemans, J. O. Moeller, M. P. Buendi'a, W. Pohl, R. W. Scholz, A. Sors, B. Vanheusdenm, K. Yusoff, and R. Zondervan. (2012). Collaboration between the natural, social and human sciences in global change research. *Environmental Science and Policy*.
- Huttrer, G.W. (2001). The status of world geothermal power generation 1995-2000. *Geothermics* 30, 1-27.
- IALE (International Association of Landscape Ecology) (2005).
- Ibarra B. P. (1993): "Una propuesta metodológica para el estudio del paisaje integrado". *Geographicalia*, 30, pp. 229-242.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal) (1999). *Enciclopedia de los Municipios de México*, Puebla.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2016): *Potencial de Mitigación en México*. Claudia Octaviano Villasana, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (1997) *El ingreso y la desigualdad en su distribución*
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2000) *Conjunto de datos vectoriales de la serie topográfica y de recursos naturales. Escala 1: 250:000*.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) ,2000. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*.
- INEGI, T. B. D. L. M. (2005). *II Censo de población y vivienda 2005*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Marco geoestadístico nacional*
- INEGI-INE.2000. *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. SEMARNAP, México, D.F. 88 pp.
- INF (Inventario Nacional Forestal) *Información estadística y vectorial del inventario nacional forestal y de suelos*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Encuesta intercensal 2015*.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): (Working Group I, *Climate Change: The Scientific Basis (summary for policymakers, IPCC, Suiza. 2001)*.

- Jenerette, G. D. y Wu J.. (2001). Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region. *Landscape Ecology* 16: 611-626
- Jiménez, B. M. y Gómez, C. X. (1996). Evaluación de la calidad de vida. Manual de evaluación en psicología clínica y de la salud. Madrid: Universidad Autónoma.
- Kutscher, C. (2000). The status and future of geothermal electric power (No. NREL/CP-550-28204). National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US).
- Lang, D. J., A. Wiek, M. Bergmann, M. Stauffacher, P. Martens, P. Moll, M. Swilling, and C. J. Thomas. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability Science* 7:25-43. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x>
- Lausch, A., Blaschke, T., Haase, D., Herzog, F., Syrbe, R. U., Tischendorf, L., y Walz, U. (2015). Understanding and quantifying landscape structure—A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*, 295, 31-41.
- Lidula, N. W. A., Mithulananthan, N., Ongsakul, W., Widjaya, C., y Henson, R. (2007). ASEAN towards clean and sustainable energy: Potentials, utilization and barriers. *Renewable Energy*, 32(9), 1441-1452.
- Lindenmayer, D.B., Margules, C.R. y Botkin, D.B., 2000. Indicators of biodiversity for ecological sustainable forest management. *Conservation Biol.* 14, 941–950.
- López-Hernández, A., García-Estrada, G., Aguirre-Díaz, G., González-Partida, E., Palma-Guzmán, H., y Quijano-León, J. L. (2009). Hydrothermal activity in the Tulancingo–Aocolco Caldera Complex, central Mexico: exploratory studies. *Geothermics*, 38(3), 279-293.
- Lourens, J., C. van Zwol y J. Kuperus. 1997. "Indicators for environmental issues in European coastal zone". En: Intercoast Network. Pp. 3-31.
- Luna, M. S. S. A. C. Indicadores Para la Sostenibilidad del Servicio Ambiental Hídrico de la Microcuenca Rumiyaqu, Mishquiyaqu y Almendra, Moyobamba–San Martín.
- Magaly Flores (CFE) REVISTA MEXICANA DE GEOENERGÍA • ISSN 0186 5897 Volumen 29
- Martín, D. D. (2015). Aplicación de las metodologías DPSIR, ANP y ARS en el manejo y conservación del Parque Nacional Waraira Repano, Venezuela (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Martínez-Corona, B. (2012). Género, participación social, percepción ambiental y remediación ante desastres naturales en una localidad indígena, Cuetzalan, Puebla. *Ra Ximhai*, 8(1), 113-126.
- Méndez, C. A. O., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Potencial geotérmico de la República Mexicana. *Geotermia*, 50.
- Mendoza-Rangel, E., y Hernández-Ayala, C. (2004). La protección ambiental en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich. *GEOTERMIA*, 2.
- Mercado, S., Arellano, V. M., y Barragán, R. M. (2007). Medio ambiente, geotermia y toma de conciencia. *GEOTERMIA*, 77.
- Meza (2018). Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Definición de “Manejo”.

- Milán V., M. y Herrera F., J.J. (1987). Aspectos geológicos importantes de la exploración geotérmica del campo de Pathé, Estados de Hidalgo y Querétaro. *Geotermia*, Vol. 3 (1), pp. 31-39.
- Moro, R. S., Gomes, I. A., y Pereira, T. K. (2017). Selección de unidades ecotonales de paisaje en Plató Meridional, Sur de Brasil. *BOSQUE*, 33(3), 299-302.
- Nassauer, J. I. (1995). Messy ecosystems, orderly frames. *Landscape journal*, 14(2), 161-170.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) (2010). *Education at a glance 2010: OECD indicators*. Paris: OECD.
- OECD, 2015. "Iceland", in: *Environmental Indicators – Country Profiles*, OECD Publishing. www.oecd.org/site/envind/iceland.htm
- Olasolo, P., Juárez, M. C., Morales, M. P., y Liarte, I. A. (2016). Enhanced geothermal systems (EGS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 133-144.
- Ordáz Méndez C. A. (2011) Potencial geotérmico de la República Mexicana Comisión Federal de Electricidad "Geotermia, Vol. 24, No.1, Enero-Junio de 2011".
- Osorno, M. M. P. (2015). Minería en Colombia: un asunto a analizar desde el modelo de fuerzas motrices. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 531-538.
- Pahl-Wostl, C., C. Giupponi, K. Richards, C. Binder, A. de Sherbinin, D. Sprinz, T. Toonen, and C. van Bers. (2012). Transition towards a new global change science: requirements for methodologies, methods, data and knowledge. *Environmental Science and Policy*..
- Pastrana-Melchor, E., Fernández-Solórzano, M. E., Mendoza-Rangel, E., y Hernández-Ayala, C. (2005). Contexto Ambiental del desarrollo del Campo Geotérmico de Los Humeros, Pue. *GEOTERMIA*, 3.
- Peiffer, L., Bernard-Romero, R., Mazot, A., Taran, Y. A., Guevara, M., y Santoyo, E. (2014). Fluid geochemistry and soil gas fluxes (CO₂–CH₄–H₂S) at a promissory Hot Dry Rock Geothermal System: The Acoculco caldera, Mexico. *Journal of volcanology and geothermal research*, 284, 122-137.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.
- Peters, G. P., R. M. Andrew, T. Boden, J. G. Canadell, P. Ciais, C. Le Quéré, G. Marland, M. R. Raupach, y C. Wilson. (2013). The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nature Climate Change* 3:4-6. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1783>
- PIGMEUM (Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Puebla) (2009). Clave geoestadística 21053 y 21208. Documento en línea en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21053.pdf> (Consultado en noviembre de 2015).
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México) (2005) Índice de Desarrollo Humano (idh).
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México) (2010). Índice de Desarrollo Humano (idh)

- Pohl, C. (2008). From science to policy through transdisciplinary research. *Environmental Science and Policy* 11:46-53. [http://dx. doi.org/10.1016/j.envsci.2007.06.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2007.06.001)
- Pretty, J. (2011). Interdisciplinary progress in approaches to address social-ecological and ecocultural systems. *Environmental Conservation*, 38(2), 127-139.
- Pruess, K. (2006). Enhanced geothermal systems (EGS) using CO₂ as working fluid - A novel approach for generating renewable energy with simultaneous sequestration of carbon. *Geothermics*, 35(4), 351-367..
- Pulido, C. L., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Caracterización de un yacimiento de roca seca caliente en la zona geotérmica de Acoculco, Pue. *Geotermia*, 24(1), 59-69.
- Quinto, A., Santoyo, E., Torres, V., González, E., y Castillo, D. (2015). Estudio geoquímico-ambiental de los efluentes naturales producidos en la zona geotérmica de Acoculco, Puebla. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(3), 21-27.
- Ragnarsson, A. (2000). Geothermal development in Iceland 1995-1999. In *Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan* (Vol. 1, pp. 363-375).
- Ramos A (1979) *Planificación física y ecológica: modelos y métodos*. Editorial Emesa, Madrid, España. 216 pp.
- Rodríguez, R. (1999), *Cartografía morfogenética jerárquica a tres escalas del área del microbloque "El Colorado", Chamela, Jalisco*, tesis de licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Rojas-López, O., González-Guillen, M. D. J., Gómez-Guerrero, A., y Romo-Lozano, J. L. (2012). Renta de la tierra y pago de servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(11), 41-56.
- Rojas-López, O., González-Guillen, M. D. J., Gómez-Guerrero, A., y Romo-Lozano, J. L. (2012). Renta de la tierra y pago de servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(11), 41-56.
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., y Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y bosques*, 20(1), 21-35.
- Salinas C. E. (2015). "Impacto de la actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla" (tesis de maestría, Colegio de postgraduados, campus Montecillo, 2015), 19-23.
- Salinas Cruz, E., González Guillén, M. D. J., León Merino, A., y Rodríguez Hernández, F. R. (2017). La actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla. *Región y sociedad*, 29(69), 185-218.
- Salinas Cruz, E., González Guillén, M. D. J., León Merino, A., y Rodríguez Hernández, F. R. (2017). La actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla. *Región y sociedad*, 29(69), 185-218.
- Sánchez J., C. Ríos E. Pérez-Chacón y C. Suárez. (1995). *Cartografía del potencial del medio natural de Gran Canaria*. Cabildo Insular de Gran Canaria. Universitat de València (Estudios generales), Universidad Las Palmas de Gran Canaria, España.

- Santoyo-Gutiérrez, E., y Torres-Alvarado, I. S. (2010). Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. *Revista Digital Universitaria*, 11(10), 1-26.
- Santoyo-Gutiérrez, E., y Torres-Alvarado, I. S. (2010). Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. *Revista Digital Universitaria*, 11(10), 1-26.
- Seingier, G., Espejel, I., Fermán-Almada, J. L., Montañó-Moctezuma, G., Azuz-Adeath, I., y Aramburo-Vizcarra, G. (2011). Mexico's coasts: Half-way to sustainability. *Ocean and coastal management*, 54(2), 123-128.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2002) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Reglamento de la ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental".
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) Manifestación de Impacto Ambiental Regional guía (2000)
- SENER (2018) Secretaria de Energía "Estado de la Energía Geotérmica en México".
- Serrano, E. (2012): "Montañas, paisaje y patrimonio". *Nimbus*, nº 29-30, 701-718.
- SEVILLA, J. A. B. Después de la pelea viene la reconciliación: manejo forestal y conservación de la diversidad florística.
- SEVILLA, J. A. B. Después de la pelea viene la reconciliación: manejo forestal y conservación de la diversidad florística.
- Sirgy, M. J., Michalos, A. C., Ferriss, A. L., Easterlin, R. A., Patrick, D., y Pavot, W. (2006). The quality-of-life (QOL) research movement: Past, present, and future. *Social indicators research*, 76(3), 343-466.
- SMRN (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2007). Diagnóstico socioeconómico y de manejo forestal de la Unidad de Manejo Forestal Zacatlán.
- Sotelo Ruíz, E. D., González Hernández, A., Cruz Bello, G., Moreno Sánchez, F., y Cruz Cárdenas, G. (2011). Los suelos del Estado de México y su actualización a la base referencial mundial del recurso suelo 2006. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(8), 71-84.
- Sotelo, J. A., Tolón, A., y Lastra, X. (2011). Indicadores por y para el desarrollo sostenible, un estudio de caso. *Estudios Geográficos*, 72(271), 611-654.
- Tricart, J., (1956): Etude experimentale du probleme de la gelivariation. *Biul. Peryglacial*, 4: 285-318.
- UNEP, G. M. A. (2002). United Nations Environment Programme. Chemicals.
- Vázquez-Valencia, R. A., y García-Almada, R. M. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 27(53-1), 1-26.
- Viggiano Guerra, J. C., Flores Armenta, M., y Ramírez Silva, G. R. (2011). Evolution of the geothermal system in Acoculco, Pue., Mexico: Study based on petrography of well EAC-2 and other information; Evolucion del sistema geotermico de Acoculco, Pue., Mexico: un estudio con base en estudios petrograficos del pozo EAC-2 y en otras consideraciones.

- Viggiano-Guerra, J. C., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Evolución del sistema geotérmico de Acoculco, Pue., México: un estudio con base en estudios petrográficos del pozo EAC-2 y en otras consideraciones. *Geotermia*, 24(1), 14-24.
- Walz, U. (2011). Landscape structure, landscape metrics and biodiversity. *Living reviews in landscape research*, 5(3), 1-35.
- Washitani, I. (2001). Traditional sustainable ecosystem'SATOYAMA'and biodiversity crisis in Japan: conservation ecological perspective. *Global Environ. Res.*, 5, 119-133.
- Winograd M. (1995). Environmental Indicators for Latin America and the Caribbean: Toward Land-Use Sustainability, GASE in collaboration with IICA/GTZ, OAS and WRI, Washington, D.C
- Winter, T. C. (2001). The concept of hydrologic landscapes. *Journal of the American Water Resources Association*, 37, 335 – 349
- Wöfl, A., Wanner, I., Kozluk, T. J., y Nicoletti, G. (2009). Ten years of product market reform in OECD countries-insights from a revised PMR indicator.
- Yajahuanca Gaytán, K. R. (2019). Modelo “Fuerzas Motrices–Presión–Estado–Impacto–Respuesta y Sostenibilidad Ambiental”, en el Área de Conservación Municipal-ACM “Bosque de Huamantanga”.
- Yang, J. (2012). *Geothermal Energy, Technology and Geology*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Zamora J. M. (2009). “Organización territorial del turismo termal en Chignahuapan, Puebla” (tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009), 35-62.
- Zonneveld, I. (1989): “The land unit. A fundamental concept in landscape ecology, and its applications”. *Landscape Ecology*, 3/2, pp. 67-86.

IX. ANEXOS

Anexo I. Tabla de línea de tiempo de los trabajos más importantes del área de estudio.

Línea del tiempo Acapulco, Puebla			
Año	Título o Nota	Autor/ Revista/Nota	Disciplina
1995	Estudio geoquímico-ambiental de los efluentes naturales producidos en la zona geotérmica de Acapulco, Puebla.	Quinto, A., Santoyo, E., Torres, V., González, E., y Castillo, D. (2015). Estudio geoquímico-ambiental de los efluentes naturales producidos en la zona geotérmica de Acapulco, Puebla. <i>Tecnología y ciencias del agua</i> , 10(3), 21-27.	Ambiental
2003	Renta de la tierra y pago de servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla.	Rojas-López, O., González-Guillen, M. D. J., Gómez-Guerrero, A., y Romo-Lozano, J. L. (2012). Renta de la tierra y pago de servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla. <i>Revista mexicana de ciencias forestales</i> , 3(11), 41-56.	Ambiental
2004	Update of geothermics in Mexico.	Gutiérrez-Negrín, L. C., y Quijano-León, J. L. (2004). Update of geothermics in Mexico. <i>Geotermia</i> , 17, 21-30.	Social / Económico
2004	La protección ambiental en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich.	Mendoza-Rangel, E., y Hernández-Ayala, C. (2004). La protección ambiental en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich. <i>GEOTERMIA</i> , 2.	Ambiental
2005	Contexto ambiental del desarrollo del campo geotérmico de Los Humeros, Pue.	Pastrana-Melchor, E., Fernández-Solórzano, M. E., Mendoza-Rangel, E., y Hernández-Ayala, C. (2005). Contexto Ambiental del desarrollo del Campo Geotérmico de Los Humeros, Pue. <i>GEOTERMIA</i> , 3.	Ambiental
2005	Zonificación agroecológica de la Sierra Norte de Puebla.	Careaga, J. R. (2005). Zonificación agroecológica de la Sierra Norte de Puebla. <i>Buap</i> .	Ambiental
2006	Perforación de un pozo exploratorio en la zona geotérmica de Acapulco, Puebla	DOF Licitación CFE	Social -Económica
2007	De acuerdo al Diario Oficial de la Federación (DOF) , la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a través de la Gerencia de proyectos geoelectrónicos, lanzó la convocatoria pública internacional número 002, para un proyecto de ejecución de 320 días naturales, iniciada a partir del 1 de junio del año 2007	SECRETARIA DE GOBIERNO	Económico / Social

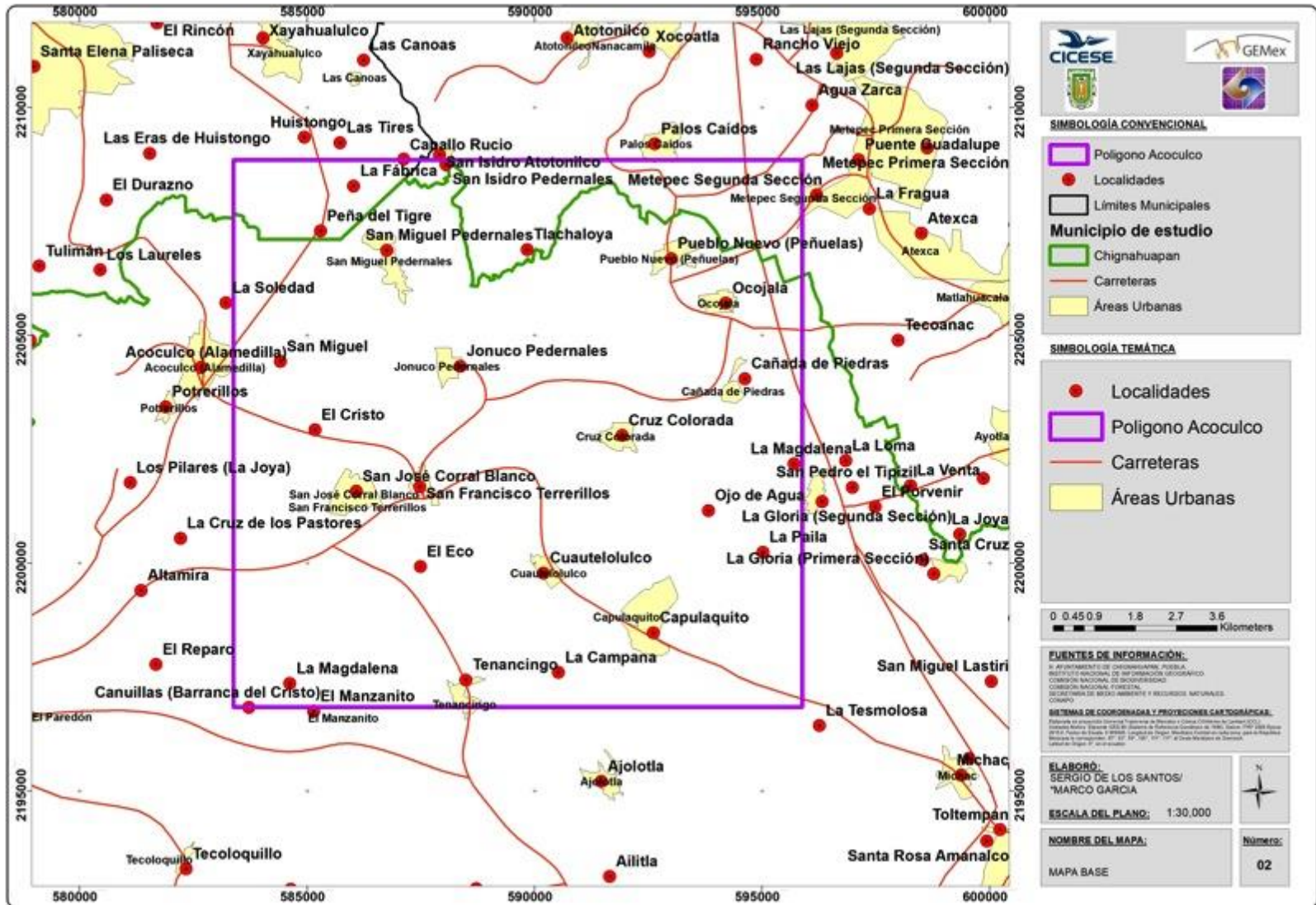
Línea del tiempo Acoculco, Puebla			
Año	Título o Nota	Autor/ Revista/Nota	Disciplina
2007	Medio ambiente, geotermia y toma de conciencia	Mercado, S., Arellano, V. M., y Barragán, R. M. (2007). Medio ambiente, geotermia y toma de conciencia. <i>GEOTERMIA</i> , 77.	Social/ Ambiental
2009	Hydrothermal activity in the Tulancingo–Acoculco Caldera Complex, central Mexico: Exploratory studies	López-Hernández, A., García-Estrada, G., Aguirre-Díaz, G., González-Partida, E., Palma-Guzmán, H., y Quijano-León, J. L. (2009). Hydrothermal activity in the Tulancingo–Acoculco Caldera Complex, central Mexico: exploratory studies. <i>Geothermics</i> , 38(3), 279-293.	Ambiental
2010	Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable.	Santoyo-Gutiérrez, E., y Torres-Alvarado, I. S. (2010). Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. <i>Revista Digital Universitaria</i> , 11(10), 1-26.	Ambiental/ Económica/ Social
2010	A statistics-based method for the short-wave infrared spectral analysis of altered rocks: An example from the Acoculco Caldera, Eastern Trans-Mexican Volcanic Belt	Canet, C., Arana, L., González-Partida, E., Pi, T., Prol-Ledesma, R. M., Franco, S. I., ... y López-Hernández, A. (2010). A statistics-based method for the short-wave infrared spectral analysis of altered rocks: An example from the Acoculco Caldera, Eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. <i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 105(1-2), 1-10.	Ambiental
2011	Evolución del sistema geotérmico de Acoculco, Pue., México: un estudio con base en estudios petrográficos del pozo EAC-2 y en otras consideraciones	Viggiano-Guerra, J. C., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Evolución del sistema geotérmico de Acoculco, Pue., México: un estudio con base en estudios petrográficos del pozo EAC-2 y en otras consideraciones. <i>Geotermia</i> , 24(1), 14-24.	Ambiental
2011	Caracterización de un yacimiento de roca seca caliente en la zona geotérmica de Acoculco, Puebla	Pulido, C. L., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Caracterización de un yacimiento de roca seca caliente en la zona geotérmica de Acoculco, Pue. <i>Geotermia</i> , 24(1), 59-69.	Ambiental
2011	Impactos económicos, ambientales y sociales del desarrollo geotérmico y del ahorro y uso eficiente de la electricidad en Baja California, México	Campbell, H. E., Montero, G., y Lambert, A. A. (2011). Impactos económicos, ambientales y sociales del desarrollo geotérmico y del ahorro y uso eficiente de la electricidad en Baja California, México. <i>GEOTERMIA</i> , 25.	Ambiental/ Económica/ Social

Línea del tiempo Acoculco, Puebla			
Año	Título o Nota	Autor/ Revista/Nota	Disciplina
2011 Enero- Junio	Caracterización de un yacimiento de roca seca caliente en la zona geotérmica de Acoculco, Pue	Pulido, C. L., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Caracterización de un yacimiento de roca seca caliente en la zona geotérmica de Acoculco, Pue. <i>Geotermia</i> , 24(1), 59-69.	Ambiental
2011 Enero- Junio	Potencial geotérmico de la República Mexicana	Méndez, C. A. O., Armenta, M. F., y Silva, G. R. (2011). Potencial geotérmico de la República Mexicana. <i>Geotermia</i> , 50.	Ambiental/ Económica/ Social
2012 Abril	Renta de la tierra y pago de servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla.	Rojas-López, O., González-Guillen, M. D. J., Gómez-Guerrero, A., y Romo-Lozano, J. L. (2012). Renta de la tierra y pago de servicios ambientales en la Sierra Norte de Puebla. <i>Revista mexicana de ciencias forestales</i> , 3(11), 41-56.	Ambiental
2013 Agosto	Género, participación social, percepción ambiental y remediación ante desastres naturales en una localidad indígena, Cuetzalan, Puebla.	Martínez-Corona, B. (2012). Género, participación social, percepción ambiental y remediación ante desastres naturales en una localidad indígena, Cuetzalan, Puebla. <i>Ra Ximhai</i> , 8(1), 113-126.	Social / Ambiental
2014	LEY DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	Diario Oficial de la Federación, D. O. (2014). DECRETO por el que se expiden la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. Título Cuatro, Capítulo VII disposiciones finales, Transitorios, Artículo tercero. In H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos (11 de agosto de 2014). Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php .	Ambiental/ Económica/ Social
2014	Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla	González Ovando, M. L. (2014). Identificación de áreas prioritarias para restauración ecológica, en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla.	Ambiental
2014 Junio	Combining ammonium mapping and short-wave infrared (SWIR) reflectance spectroscopy to constrain a model of hydrothermal alteration for the Acoculco geothermal zone, Eastern	Canet, C., Hernández-Cruz, B., Jiménez-Franco, A., Pi, T., Peláez, B., Villanueva-Estrada, R. E., ... y Salinas, S. (2015). Combining ammonium mapping and short-wave infrared (SWIR) reflectance spectroscopy to constrain a model of hydrothermal alteration for the Acoculco	Ambiental

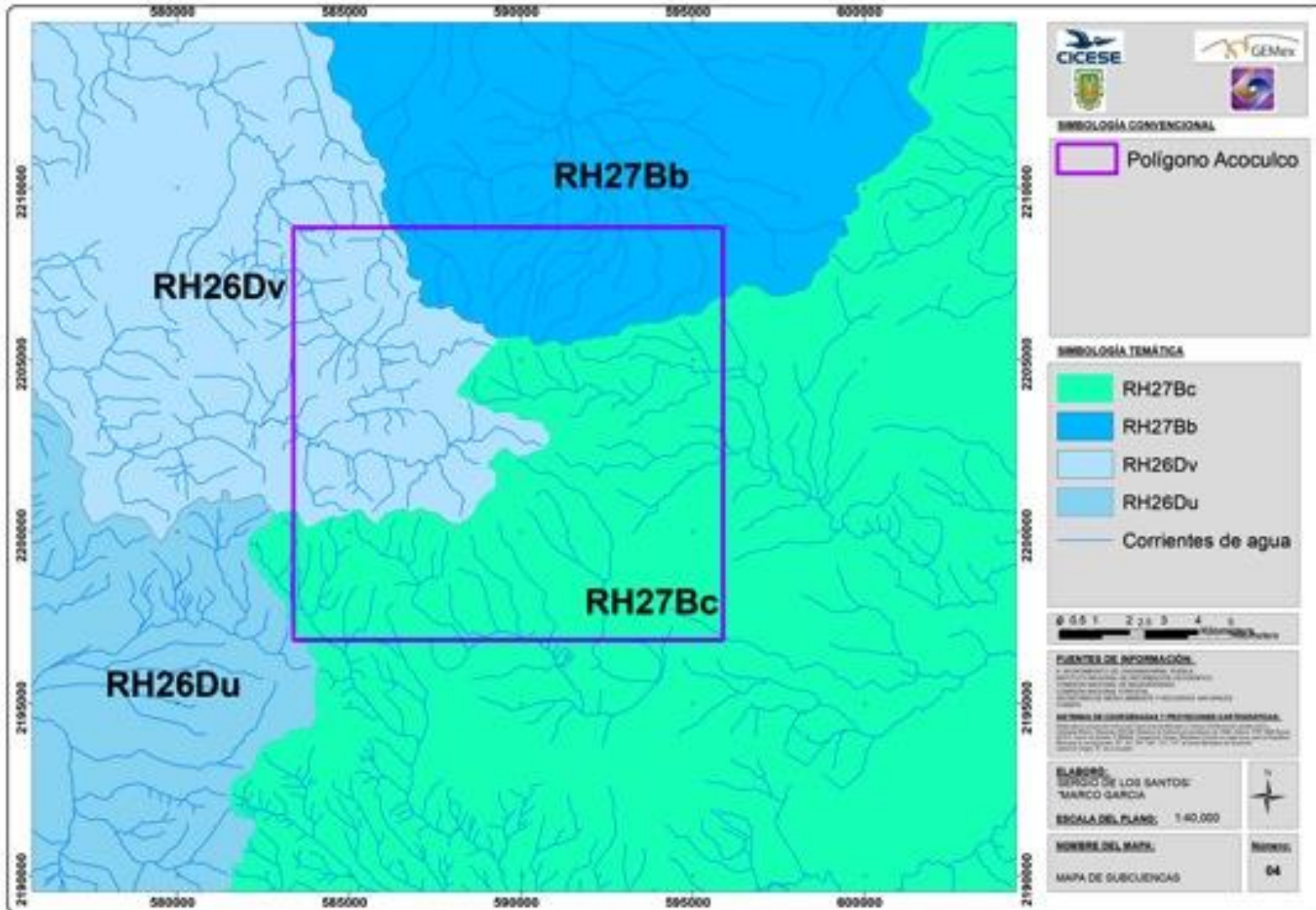
Línea del tiempo Acoculco, Puebla			
Año	Título o Nota	Autor/ Revista/Nota	Disciplina
	Mexico	geothermal zone, Eastern Mexico. <i>Geothermics</i> , 53, 154-165.	
2014 Julio	Fluid geochemistry and soil gas fluxes (CO ₂ -CH ₄ -H ₂ S) at a promissory Hot Dry Rock Geothermal System: The Acoculco caldera, Mexico.	Peiffer, L., Bernard-Romero, R., Mazot, A., Taran, Y. A., Guevara, M., y Santoyo, E. (2014). Fluid geochemistry and soil gas fluxes (CO ₂ -CH ₄ -H ₂ S) at a promissory Hot Dry Rock Geothermal System: The Acoculco caldera, Mexico. <i>Journal of volcanology and geothermal research</i> , 284, 122-137.	Ambiental
2015	Claves para la Elaboración de la Evaluación del Impacto Social en el Sector Energético (C-EVIS). Guía gratuita Guigue-León. CEGAM	Guigue, A.L y León C. 2015 Claves para la Elaboración de la Evaluación del Impacto Social en el Sector Energético (C-EVIS). Guía gratuita Guigue-León. CEGAM	Social
2015	DG/014/2105 Llevar a cabo actividades de exploración de recursos geotérmicos en el área geotérmica denominada Acoculco, Puebla	Secretaria de Energía	Ambiental/ Económica/ Social
2015	2015 Kaolin from Acoculco (Puebla, Mexico) as raw material: Mineralogical and thermal characterization	García-Vallès, M., Pi, T., Alfonso, P., Canet, C., Martínez, S., Jiménez-Franco, A., ... & Hernández-Cruz, B. (2015). Kaolin from Acoculco (Puebla, Mexico) as raw material: Mineralogical and thermal characterization. <i>Clay Minerals</i> , 50(3), 405-416.	Ambiental
2015	Thermal history of the Acoculco geothermal system, eastern Mexico: Insights from numerical modeling and radiocarbon dating	Canet, C., Trillaud, F., Prol-Ledesma, R. M., González-Hernández, G., Peláez, B., Hernández-Cruz, B., y Sánchez-Córdova, M. M. (2015). Thermal history of the Acoculco geothermal system, eastern Mexico: Insights from numerical modeling and radiocarbon dating. <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i> , 305, 56-62.	Ambiental
2015	Impacto de la de la actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan Puebla	Salinas Cruz, E., González Guillén, M. D. J., León Merino, A., y Rodríguez Hernández, F. R. (2017). La actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla. <i>Región y sociedad</i> , 29(69), 185-218.	Ambiental

Línea del tiempo Acapulco, Puebla			
Año	Título o Nota	Autor/ Revista/Nota	Disciplina
2015 Abril	Modelaje del cambio de uso del suelo y la deforestación futura en dos escalas espaciales	Cruz-Huerta, C., González-Guillén, M. J., Martínez-Trinidad, T., y Escalona-Maurice, M. J. (2015). Modelaje del cambio de uso del suelo y la deforestación futura en dos escalas espaciales. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 21(2), 137-156.	Ambiental
2015 Diciembre	La actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla	Salinas Cruz, E., González Guillén, M. D. J., León Merino, A., y Rodríguez Hernández, F. R. (2017). La actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla. Región y sociedad, 29(69), 185-218.	Económico / Ambiental
2016 Febrero	CFE explotará energía geotérmica en terrenos de Chignahuapan	Nota periodística MUNICIPIOS (Periódico)	Social
2016	Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán	González Ovando, M. L., Plascencia Escalante, F. O., y Martínez-Trinidad, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. Madera y bosques, 22(2), 41-52.	Ambiental
2016	REVISTA MEXICANA DE GEOENERGÍA • ISSN 0186 5897	Magaly Flores (CFE) REVISTA MEXICANA DE GEOENERGÍA • ISSN 0186 5897 Volumen 29	Ambiental
2018	Después de la pelea viene la reconciliación: manejo forestal y conservación de la diversidad florística	SEVILLA, J. A. B. Después de la pelea viene la reconciliación: manejo forestal y conservación de la diversidad florística.	Ambiental
2019	¿Cómo podría eliminar México gradual y sosteniblemente el uso de combustibles fósiles para generar electricidad?.	Del Río Monges, J. A. (2019). ¿Cómo podría eliminar México gradual y sosteniblemente el uso de combustibles fósiles para generar electricidad?.	Social/Ambiental

Anexo 2.- Mapa de localización del polígono de exploración.



Anexo 3.- Mapa de Subcuencas e Hidrología.



Anexo 5.- Sistema de Clasificación de paisaje para obtención del Sistema Ambiental Regional (SAR).

Sistema	Subsistema	Paisaje	Clasificación de la Condición del paisaje
SubCuenca	Paisaje (Geología)	Usos de suelo y vegetación	1.- Transformado
1.- RH26Dv	1.- Ts(Igea):, Ígnea extrusiva ácida	1 Asentamientos Humanos	
		2 Urbano Construido	
		3 Bosque de Oyamel	2.- Natural
2.- RH26Du	2.- Ts(Igeb):, ígnea extrusiva i ntermedia	4 Bosque de Pino	
3.- RH27Bb		5 Bosque de Pino-Encino	
		6 Bosque de Encino	
		7 Bosque de Encino-Pino	
		8 Matorral Crasicaule	
		9 Pastizal Inducido	
4.- RH27Bc	3.- Ts(Igei):, Ígnea extrusiva básica	10 Agricultura de Riego Anual y Semipermanente	
		11 Agricultura de Temporal Anual	
		12 Agricultura de Temporal Anual y Permanente	
		13 Agricultura de Temporal Permanente	
		14 Vegetacion Secundaria Arbustiva De Bosque de Oyamel	
		15 vegetación secundaria arbórea de bosque de táscate	
		16 vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	
		17 vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	
		18 Bosque cultivado	
		19 vegetación secundaria arbustiva de	

Sistema	Subsistema	Paisaje	Clasificación de la Condición del paisaje
		bosque de pino-encino	
		20 vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	
		21 vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	
		22 vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	
		23 vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	
		24.- cuerpo de agua	

Anexo 6.- Sistema de Clasificación de Unidades de paisaje para obtención del Sistema Ambiental Regional (SAR) por condición transformada y natural.

Ficha y/o Unidad	Clave	SubCuenca Hidrológica	Geología	Vegetación/ uso de suelo	Condición
1	1.1.1	RH26Dv	Ts(Igeb) /Ts(Igea)	1.-Asentamientos Humanos	TRANSFORMADO
2	2.4.1	RH27Bc	Ts(Igeb) /Ts(Igea)	1.-Asentamientos Humanos	TRANSFORMADO
3	3.1.1	RH26Dv	Ts(Igeb)/Ts(Igea)	2 URBANO CONSTRUIDO	TRANSFORMADO
4	4.4.1	RH27Bc	Ts(Igeb)/Ts(Igea)	2 URBANO CONSTRUIDO	TRANSFORMADO
5	5.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igei)	3 BOSQUE DE OYAMEL	NATURAL
6	6.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igei)	3 BOSQUE DE OYAMEL	NATURAL
7	7.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	4 BOSQUE DE PINO	NATURAL
8	8.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	4 BOSQUE DE PINO	NATURAL
9	9.3.2	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	4 BOSQUE DE PINO	NATURAL
10	10.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	4 BOSQUE DE PINO	NATURAL
11	11.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	5 BOSQUE DE PINO- ENCINO	NATURAL
12	12.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	5 BOSQUE DE PINO- ENCINO	NATURAL
13	13.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	5 BOSQUE DE PINO- ENCINO	NATURAL
14	14.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	6 BOSQUE DE ENCINO	NATURAL
15	15.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	6 BOSQUE DE ENCINO	NATURAL
16	16.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	6 BOSQUE DE ENCINO	NATURAL
17	17.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	7 BOSQUE DE ENCINO-	NATURAL

Ficha y/o Unidad	Clave	SubCuenca Hidrológica	Geología	Vegetación/ uso de suelo	Condición
				PINO	
18	18.3.2	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	7 BOSQUE DE ENCINO- PINO	NATURAL
19	19.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	7 BOSQUE DE ENCINO- PINO	NATURAL
20	20.1.2	RH26Dv	Ts(Igeb)	8 MATORRAL CRASICAULE	NATURAL
21	21.2.1	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	9 PASTIZAL INDUCIDO	TRANSFORMADO
22	22.3.1	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	9 PASTIZAL INDUCIDO	TRANSFORMADO
23	23.4.1	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	9 PASTIZAL INDUCIDO	TRANSFORMADO
24	24.1.1	RH26Dv	Ts(Igeb)	10 AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE	TRANSFORMADO
25	25.1.1	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	11 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	TRANSFORMADO
26	26.2.1	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	11 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	TRANSFORMADO
27	27.3.1	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	11 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	TRANSFORMADO
28	28.4.1	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	11 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	TRANSFORMADO
29	29.1.1	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	12 AGRICULTURA DE	TRANSFORMADO

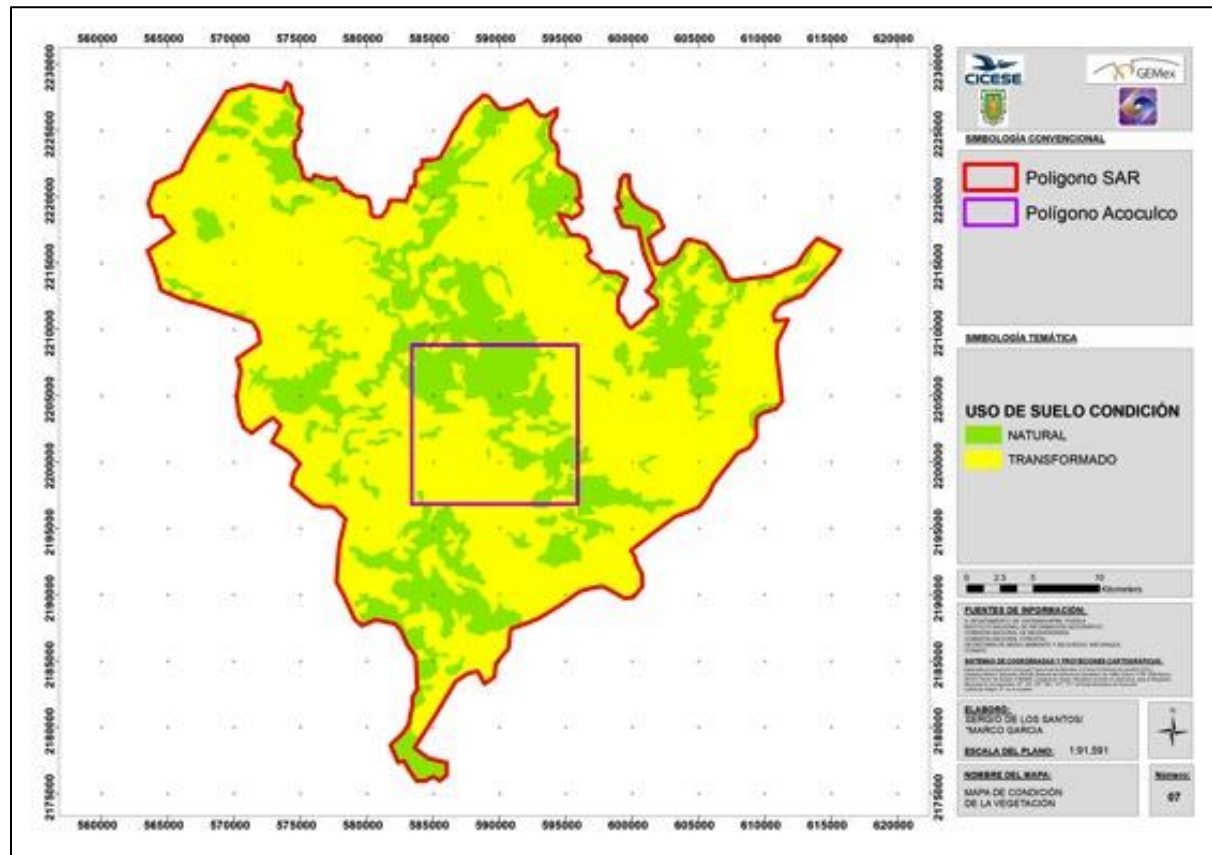
Ficha y/o Unidad	Clave	SubCuenca Hidrológica	Geología	Vegetación/ uso de suelo	Condición
				TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	
30	30.2.1	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	12 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	TRANSFORMADO
31	31.3.1	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	12 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	TRANSFORMADO
32	32.4.1	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	12 AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	TRANSFORMADO
33	33.1.1	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	13 AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	TRANSFORMADO
34	34.4.1	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	13 AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	TRANSFORMADO
35	35.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)	14 VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL	NATURAL
36	36.1.2	RH26Dv	Ts(Igeb)	15 VEGETACIÓN	NATURAL

Ficha y/o Unidad	Clave	SubCuenca Hidrológica	Geología	Vegetación/ uso de suelo	Condición
				SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE TÁSCATE	
37	37.4.2	RH27Bc	Ts(Igeb)	16 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	NATURAL
38	38.3.2	RH27Bb	Ts(Igeb)	16 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	NATURAL
39	39.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	17 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	NATURAL
40	40.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	17 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	NATURAL
41	41.3.2	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	17 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE	NATURAL

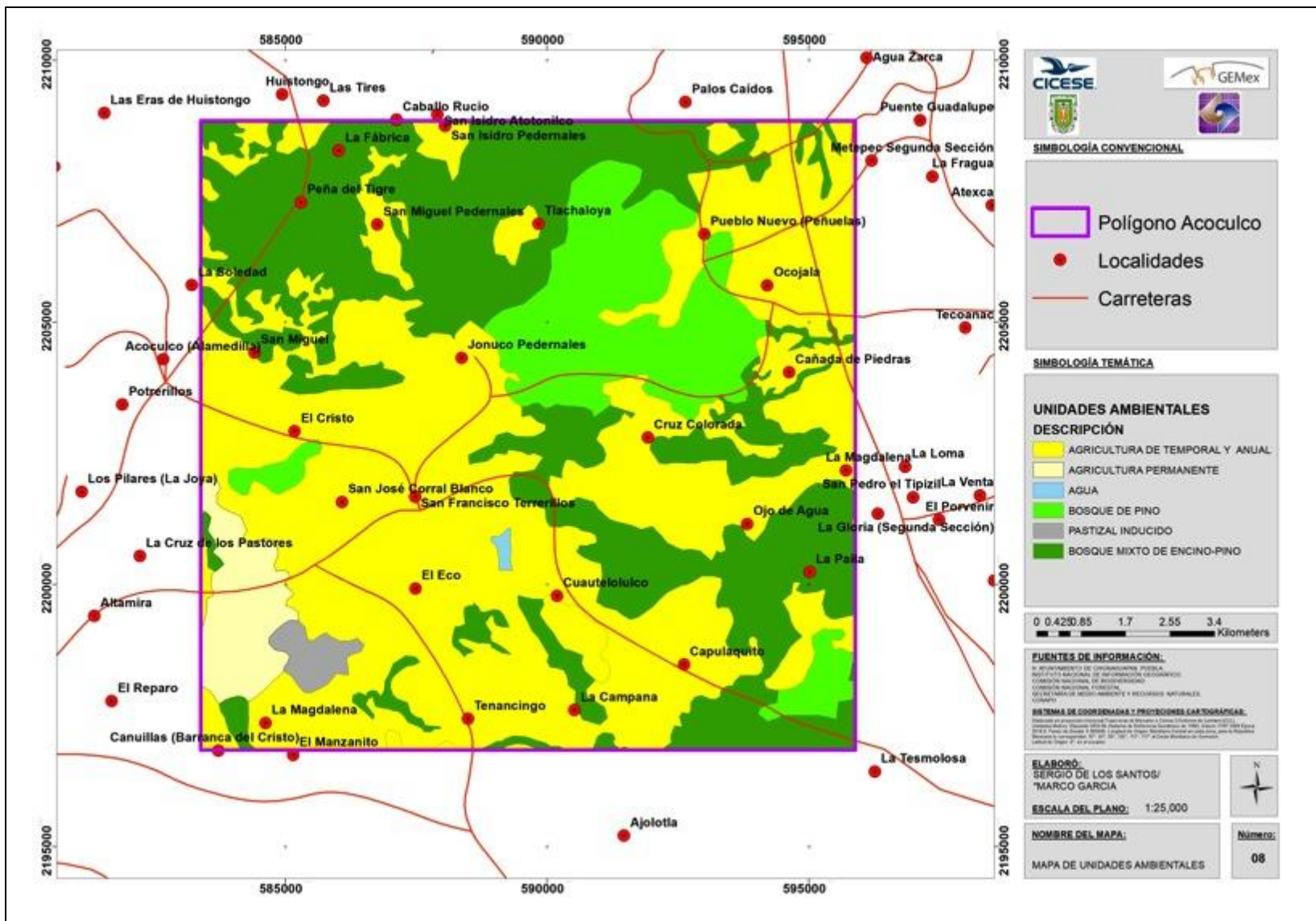
Ficha y/o Unidad	Clave	SubCuenca Hidrológica	Geología	Vegetación/ uso de suelo	Condición
				DE PINO	
42	42.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	17 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	NATURAL
45	45.1.2	RH26Dv	Ts(Igeb)	18 Bosque cultivado	NATURAL
46	46.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	19 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	NATURAL
47	47.3.2	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	19 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	NATURAL
48	48.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	19 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	NATURAL
49	49.3.2	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)	20 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	NATURAL

Ficha y/o Unidad	Clave	SubCuenca Hidrológica	Geología	Vegetación/ uso de suelo	Condición
50	50.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	21 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	NATURAL
51	51.2.2	RH26Du	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	21 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	NATURAL
52	52.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igei)	22 VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO	NATURAL
53	53.1.2	RH26Dv	Ts(Igeb)	23.- VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE	NATURAL
54	54.1.2	RH26Dv	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	24.- CUERPO DE AGUA	NATURAL
55	55.3.2	RH27Bb	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	24.- CUERPO DE AGUA	NATURAL
56	56.4.2	RH27Bc	Ts(Igea)/Ts(Igeb)/Ts(Igei)	24.- CUERPO DE AGUA	NATURAL


Anexo 7.-Mapa de Condición de la vegetación del Sistema Ambiental Regional (SAR). YA LO TIENE ARRIBA




Anexo 8.-Mapa de Unidades ambientales.



Anexo 9.- Fichas descriptivas de las Unidades ambientales.

UP polígono Acoculco	Área	Descripción	Observaciones en campo	Fotografía
Agricultura de Temporal anual	78.93 5 km ²	<p>En la zona de estudio la agricultura de temporal ocupa 78.93 km², equivalentes al 52.62 %, ocupando la mayor superficie dentro del territorio.</p> <p>En estas áreas se desarrollan los cultivos agrícolas con cultivos anuales, ubicándose principalmente, hacia los alrededores de la zona urbana y estas se encuentran dispersas principalmente en la zona oriente, central, Norte y Suroeste del ejido y es donde se cultivan los granos de consumo humano y forrajes, dentro de los que se encuentran la cebada, la avena, el haba, el maíz.</p>	<p>La superficie cultivada se desarrolla en zonas vulnerables por el arrastre de las partículas de suelo en pendientes alomadas</p>	
Agricultura permanente	4.758 km ²	<p>Se destaca como una asociación de la ciencia y la práctica basada en las observaciones y recreación de los ecosistemas naturales sanos, como</p>	<p>El cultivo agrícola dominante es el maíz, frijol,</p>	

UP polígono Acoculco	Área	Descripción	Observaciones en campo	Fotografía
		<p>sistemas productivos y preservando la diversidad, estabilidad y resiliencia sobre los ecosistemas naturales (<i>Avalos, 2007; Zamora, 2009; CONABIO, 2011</i>). En la integración armoniosa del paisaje en la transformación de los sistemas humanos (agrícola, social y tecnológico) para asemejarse a patrones sanos de relaciones con la naturaleza y armonía ecológica, la cual ocupa el 3.17 % del área total del polígono combinadas con pastizal inducido, lo que representa 4.75 km² del territorio.</p>	<p>haba, avena, arvejón</p>	

UP polígono	Área	Descripción	Observaciones en campo	Fotografía
Acoculco				
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	29.34 5 km ²	<p>Estos bosques están dominados por diferentes especies de pino con alturas promedio de 15 a 30 m, los pinares tienen un estrato inferior relativamente pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas,</p> <p>Las especies más comunes son <i>Pinus montezumae</i>, <i>Nolina longifolia</i>, <i>Ageratina hidalguensis</i>, <i>Ribes affine</i>, <i>Nasella tenuissima</i>, <i>Muhlenbergia macroura</i>, <i>Coryphanta spp.</i> El Programa de Manejo Forestal del ejido Chignautla se menciona a las siguientes especies: <i>Pinus teocote</i>, <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i>. Ocupa 9.56 %</p>	<p>La zona de estudio no podría ser la excepción de dicha devastación, ya que ha sido sometida a la agricultura de temporal nómada o seminómada y al pastoreo extensivo, provocando la desaparición o reducción de las áreas con cubierta vegetal natural.</p>	

UP polígono Acoculco	Área	Descripción	Observaciones en campo	Fotografía
Pastizal Inducido	1.335 km ²	Comunidad vegetal dominada por gramíneas (pastos o zacates), originado por influencia humana, se desarrolla al eliminarse la vegetación original (bosque, selva, matorral, etc.) o en áreas agrícolas abandonadas (<i>Avalos, 2007; Zamora, 2009; CONABIO, 2011</i>). 0.89 %	Se encuentra por la actividad ganadera y agrícola perturbación antrópica para el uso de las actividades antes mencionadas	
Bosque de pino	17.03 5 km ²	Ocupa el 11.35 % del área de estudio, aproximadamente 17.03 km ² , las principales especies que se encuentran son <i>Pinus patula</i> , <i>P. moctezumae</i> , <i>P. ayacahuite var. veitchli</i> , <i>P. leiophylla</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>P. rudis</i> , y <i>P. teocote</i> , dentro del estrato arbustivo se presentan especies como <i>Arbutus xalapensis</i> y <i>Baccharis conferta</i> . Se	Destrucción de los ecosistemas, destaca la tala de bosques, el cambio de uso del suelo para actividades agropecuarias	

UP polígono	Área	Descripción	Observaciones en campo	Fotografía
Acoculco			localizan en altitudes superiores a los 2,500 msnm (<i>Avalos, 2007; Zamora, 2009; CONABIO, 2011</i>).	
Agricultura de anual y permanente	1.234 9 km ²	Agricultura de anual permanente ocupa el 0.82 % del área total del polígono combinadas con pastizal inducido, lo que representa 1.23 km ² del territorio. (<i>Avalos, 2007; Zamora, 2009; CONABIO, 2011</i>)	El cultivo agrícola dominante es el maíz, frijol, haba, avena, arvejón	
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino – encino (Mixto)	2.203 km ²	Se encuentra en el 1.46 % de la superficie total, equivalentes a 2.20 km ² Constituido principalmente por especies de los géneros Pinus y Quercus, son bosques por lo general bajos, con troncos delgados y de crecimiento lento; las especies de encino que se pueden encontrar son <i>Quercus crassifolia</i> , <i>Q. scytophylla</i> y <i>Q. conglomerata</i> ; también están presentes especies como <i>Alnus</i>	Destrucción de los ecosistemas, destaca la tala de bosques, el cambio de uso del suelo para actividades agropecuarias y la cacería de subsistencia.	

UP polígono Acoculco	Área	Descripción	Observaciones en campo	Fotografía
		<i>zorullensis</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> , <i>Baccharis conferta</i> y <i>Pteridium sp</i> (Avalos, 2007; Zamora, 2009; CONABIO, 2011)		

Anexo 10.- Tabla Clasificación las localidades dentro del polígono de la CFE, Acozulco Puebla noviembre 2018.

Localidad	Población Total	Clasificación	Grado de marginación	Grado de educación	Grado de Ingreso	Grado de Salud	Grado del Índice de Desarrollo Humano (IDH)
La Cruz de los Pastores	1	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Loma	1	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Magdalena	2	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Pedro el Tipizil	4	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Miguel	5	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Santa Cruz	8	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Tesmolosa	12	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Los Pilares (La Joya)	16	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Magdalena	17	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Cristo	20	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Reparó	24	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Porvenir	26	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Soledad	37	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Altamira	39	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Ojo de Agua	48	Ranchería	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Isidro Pedernales	48	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
huillas (Barranca del Cris	64	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Paila	65	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
La Campana	76	Poblado chico	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Cañada de Piedras	120	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
San Miguel Pedernales	133	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
El Manzanito	139	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
a Gloria (Primera Sección	228	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Potrerillos	234	Poblado medio	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
a Gloria (Segunda Sección	235	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Tenancingo	313	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ocojala	337	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Capulaquito	417	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Jonuco Pedernales	418	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cruz Colorada	464	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ajolotla	500	Poblado medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Pueblo Nuevo (Peñuelas	530	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
San Francisco Terrerillos	546	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cuatelolulco	635	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
San José Corral Blanco	1099	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Acozulco (Alamedilla)	1735	Poblado grande	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Anexo 13.- Tabla índice de Marginación de localidades importantes dentro del Polígono de CFE en Acapulco

Índice de marginación	2005	2010	AUMENTO
¿??Cruz Colorada	-0.06126	-0.09449	SI
San José Corral Blanco	0.48928	0.12663	
San Francisco Terrerillos	-0.24445	-0.30884	
Tenancingo	0.47908	0.22965	
Cuatelolulco	0.02228	-0.35622	
Capulaquito	0.28664	-0.19555	
Jonuco Pedernales	0.62236	0.30110	
San Miguel Pedernales	0.31289	0.37063	
San Isidro Atotonilco	0.1948	0.13853	
Pueblo Nuevo (Peñuelas)	-0.04928	-0.16741	
Ocojala	-0.42911	-0.08869	
Cañada de Piedras	-0.17607	0.06748	
La Gloria (Segunda Sección)	0.27829	-0.05604	

Fuente CONAPO, 2010

Anexo 14.- Tabla de Índice de Marginación del municipio de Chignahuapan, Puebla.

Medición de la Pobreza	Pobreza Total	Pobreza Extrema	Pobreza Moderada
Población en situación de pobreza	72.90%	20.90%	52.00%
Habitantes	42,539	12,204	30,334
Lugar Nacional (de 2,456 municipios)	1,107	1,170	1,081
Lugar Estatal (de 217 municipios)	167	155	147
Porcentaje		Habitantes	
Población vulnerable por carencias sociales	19.80%	11,538	
Población vulnerable por ingresos	3.70%	2,174	
Población no pobre y no vulnerable	3.60%	2,074	
Población Social 1			
Población con al menos una carencia social	92.70%	54,077	
Población con 3 o más carencias sociales	45.10%	26,316	
Indicadores de carencia social 2			
Rezago educativo	31.40%	18,306	
Acceso a los servicios de salud	31.60%	18,450	
Acceso a la seguridad social	86.30%	50,351	
Calidad y espacios de la vivienda	18.80%	10,990	
Acceso a los servicios básicos en la vivienda	46.80%	27,305	
Acceso a la alimentación	28.30%	16,481	
Bienestar económico 3			
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar	38.60%	22,491	

mínimo		
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar	76.70%	44,713

Fuente: Consejo Estatal de Población, 2013.

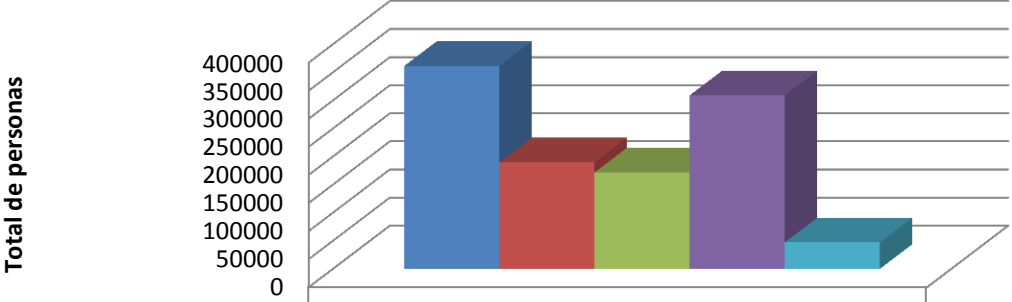
Anexo 15.- Tablas de Indicadores socioeconómicos dentro del SAR y en la micro escala en el polígono de exploración de Acoculco.

Con base a las Estadísticas Censales a Escalas Geoelectorales Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010 se realizó la caracterización de la base de datos en el polígono delimitado denominado SAR en dicha base de datos está integrada en una tabla con 190 indicadores de los cuales solo se consideraron los más importantes como son: indicadores de población corresponden a: su estructura por sexo y edad, fecundidad, migración, lengua indígena, discapacidad, características educativas, derechohabiencia a servicios de salud, situación conyugal y religión. En cuanto al tema de hogares información relacionada con el número de hogares y su población de acuerdo con la jefatura del hogar. En lo que respecta a vivienda: viviendas y ocupantes, material de pisos, número de cuartos, servicios de que disponen (energía eléctrica, agua entubada, sanitario, drenaje) y bienes en la vivienda.(INEGI 2010).

Numero de variable y Categoría o indicador	Descripción	Total dentro del
---	--------------------	-----------------------------

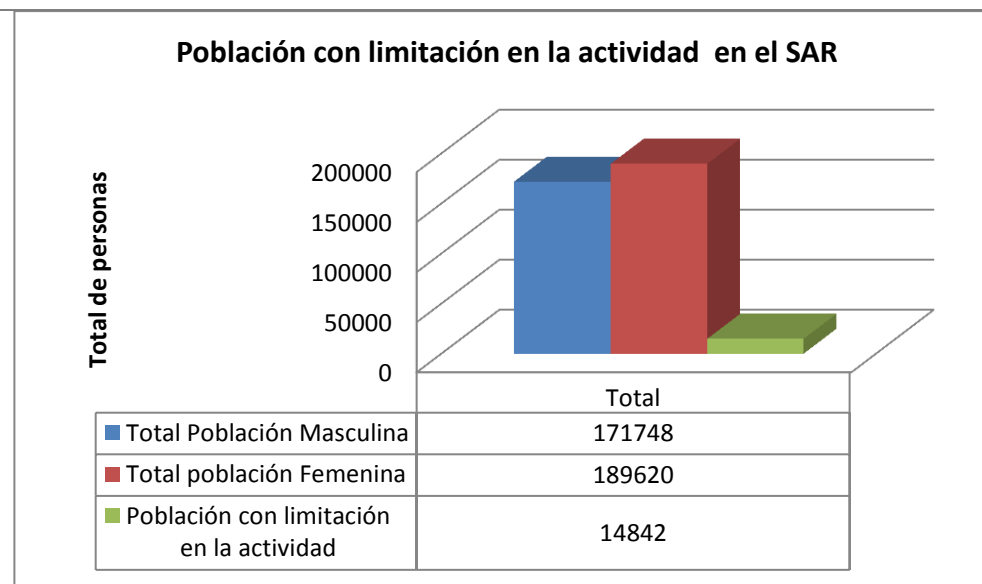
		SAR
POBLACIÓN Y MIGRACIÓN		
1 Población total	Total de personas que residen habitualmente en el país, entidad federativa, municipio y localidad. Incluye la estimación del número de personas en viviendas particulares sin información de ocupantes. Incluye a la población que no especificó su edad.	361368
2 Población masculina	Total de hombres	171748
3 Población femenina	Total de mujeres	189620
49 Población nacida en la entidad	Total de población nacida en la entidad	308968
52 Población nacida en otra entidad	Total nacida en otra entidad	47152

Población del SAR

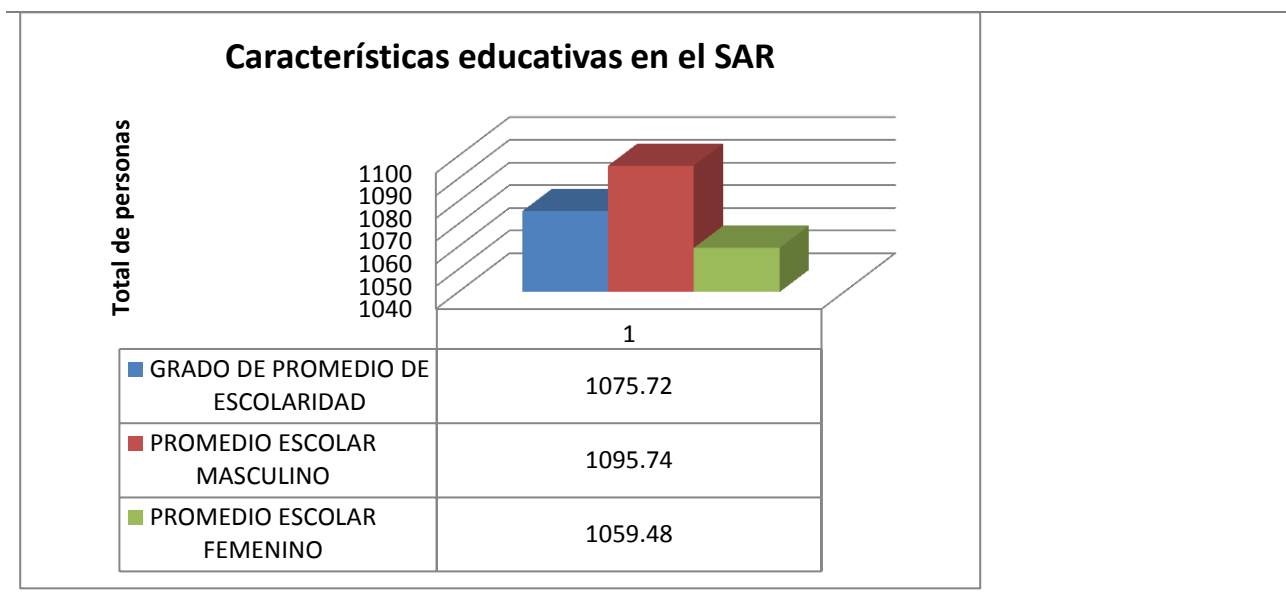


	Total
■ Población Total	361368
■ Población Femenina	189620
■ Población Masculina	171748
■ Nacidos en la entidad	308968
■ Nacidos en otra entidad	47152

Numero de variable y Categoría o indicador	Descripción	Total dentro del SAR
Discapacidad		
74 Población con limitación en la actividad	Personas que tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana.	14842



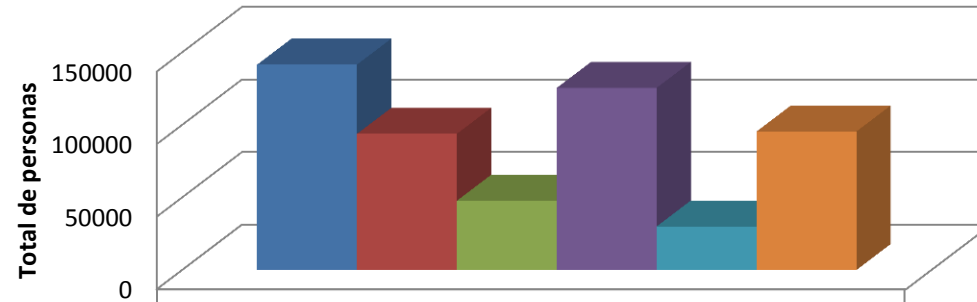
Numero de variable y Categoría o indicador	Descripción	Total dentro del SAR
Características educativas		
122 Grado promedio de escolaridad	Resultado de dividir el monto de grados escolares aprobados por las personas de 15 a 130 años de edad entre las personas del mismo grupo de edad. Excluye a las personas que no especificaron los grados aprobados.	1075.72
123 Grado promedio de escolaridad de la población masculina	Resultado de dividir el monto de grados escolares aprobados por los hombres de 15 a 130 años de edad entre los hombres del mismo grupo de edad. Excluye a los hombres que no especificaron los grados aprobados.	1095.74
124 Grado promedio de escolaridad de la población femenina	Resultado de dividir el monto de grados escolares aprobados por las mujeres de 15 a 130 años de edad entre las mujeres del mismo grupo de edad. Excluye a las mujeres que no especificaron los grados aprobados.	1059.48



Numero de variable y Categoría o indicador	Descripción	Total dentro del SAR
Características económicas		
125 Población económicamente activa	Personas de 12 años y más que trabajaron; tenían trabajo pero no trabajaron o; buscaron trabajo en la semana de referencia.	141470
126 Población masculina	Hombres de 12 años y más que trabajaron; tenían trabajo pero no trabajaron o;	93780

	económicamente activa		buscaron trabajo en la semana de referencia.	
127	Población	femenina	Mujeres de 12 años y más que trabajaron; tenían trabajo pero no trabajaron o;	47690
	económicamente activa		buscaron trabajo en la semana de referencia.	
128	Población	no	Personas de 12 años y más pensionadas o jubiladas, estudiantes, dedicadas a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o mental permanente que le impide trabajar.	125471
129	Población	masculina no	Hombres de 12 años y más pensionados o jubilados, estudiantes, dedicados a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o mental permanente que le impide trabajar.	30024
130	Población	femenina no	Mujeres de 12 años y más pensionadas o jubiladas, estudiantes, dedicadas a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o mental permanente que le impide trabajar.	95447
	económicamente activa			

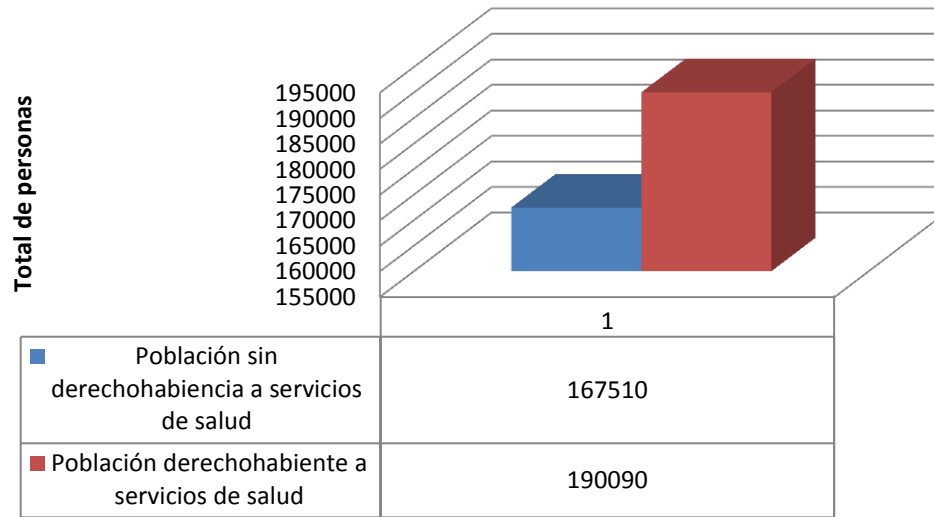
Características económicas en el SAR



	ECONOMIA
■ Población económicamente activa	141470
■ Población masculina económicamente activa	93780
■ Población femenina económicamente activa	47690
■ Población no económicamente activa	125471
■ Población masculina no económicamente activa	30024
■ Población femenina no económicamente activa	95447

Numero de variable y Categoría o indicador	Descripción	Total dentro del SAR
SERVICIOS DE SALUD		
137 Población sin derechohabiencia a servicios de salud	Total de personas que no tienen derecho a recibir servicios médicos en ninguna institución pública o privada.	167510
138 Población derechohabiente a servicios de salud	Total de personas que tienen derecho a recibir servicios médicos en alguna institución de salud pública o privada como: el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE e ISSSTE estatal), Petróleos Mexicanos (PEMEX), la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR), el Sistema de Protección Social en Salud o en otra.	190090

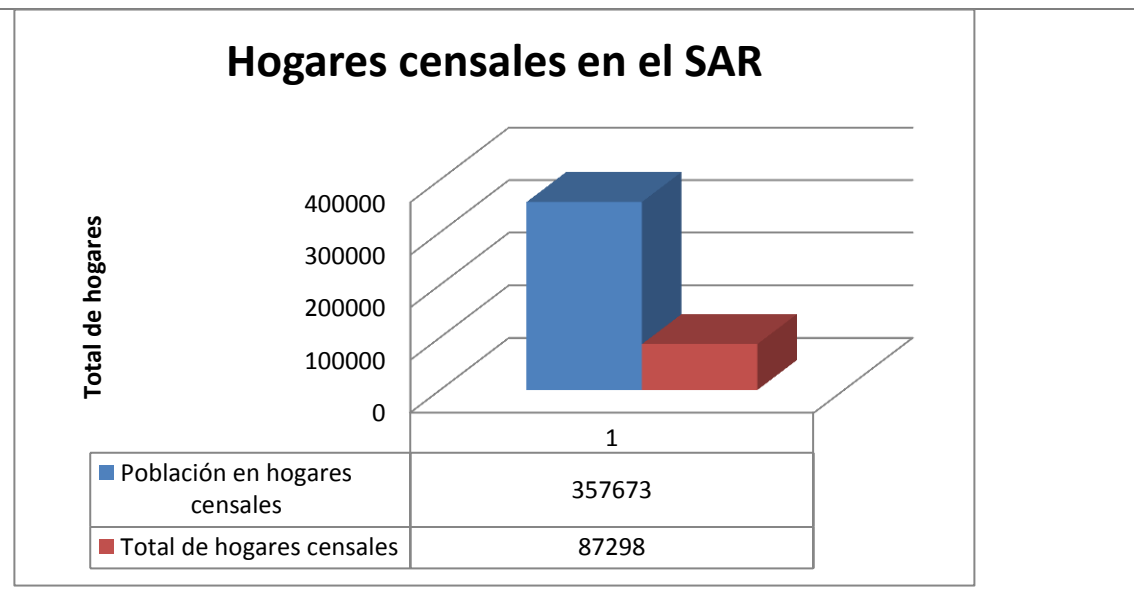
Servicios de salud en el SAR



Numero de variable y Categoría o indicador	Descripción	Total dentro del SAR
Hogares censales		
150 Total de hogares censales	Hogares en viviendas particulares habitadas. Se considera un hogar en cada vivienda particular. Incluye casa independiente; departamento en	87298

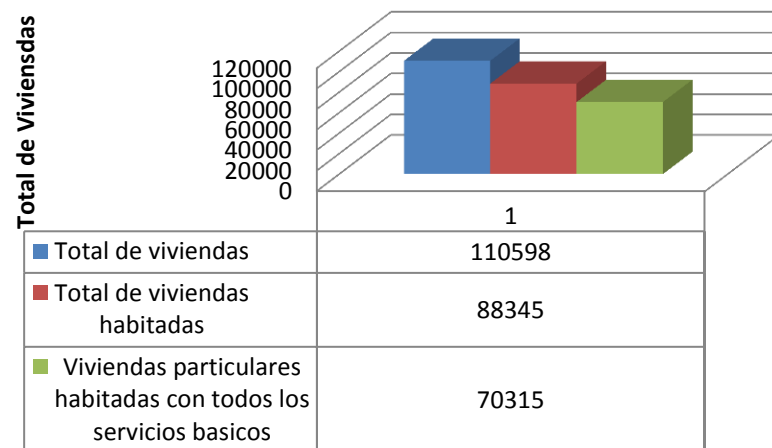
edificio; vivienda en vecindad; vivienda en cuarto de azotea; local no construido para habitación; vivienda móvil; refugio o clase no especificada.

153 Población en hogares censales	Personas en hogares censales. Se considera un hogar en cada vivienda particular. Incluye casa independiente; departamento en edificio; vivienda en vecindad; vivienda en cuarto de azotea; local no construido para habitación; vivienda móvil; refugio o clase no especificada.	357673
--	--	--------

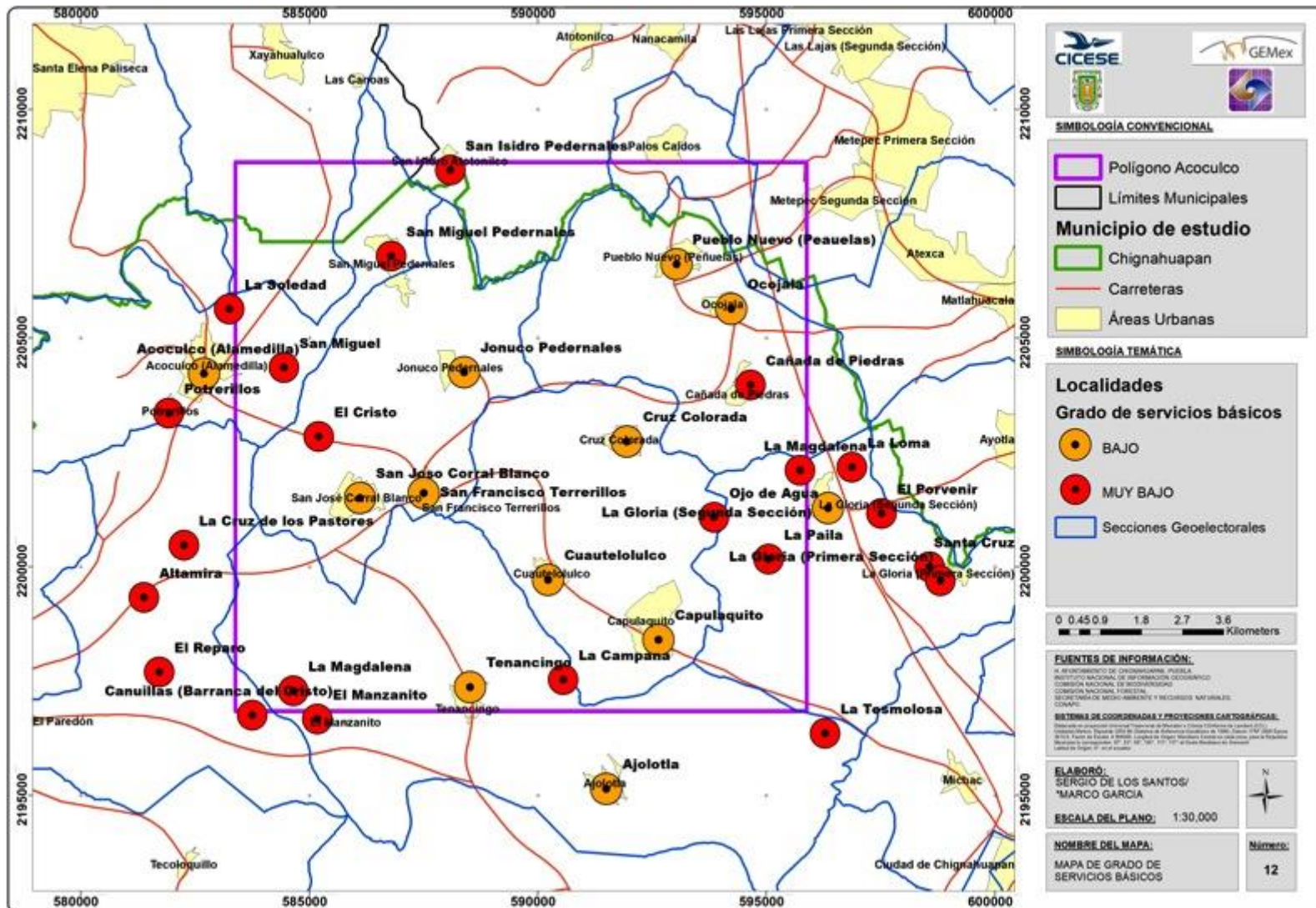


Numero de variable y Categoria o indicador	Descripción	Total dentro del SAR
VIVIENDAS		
156 Total de viviendas	Viviendas particulares habitadas, deshabitadas, de uso temporal y colectivas.	110598
157 Total de viviendas habitadas	Viviendas particulares y colectivas habitadas. Incluye a las viviendas particulares sin información de sus ocupantes.	88345
180 Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje	Viviendas particulares habitadas que tienen luz eléctrica, agua entubada dentro o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, así como drenaje. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	70315

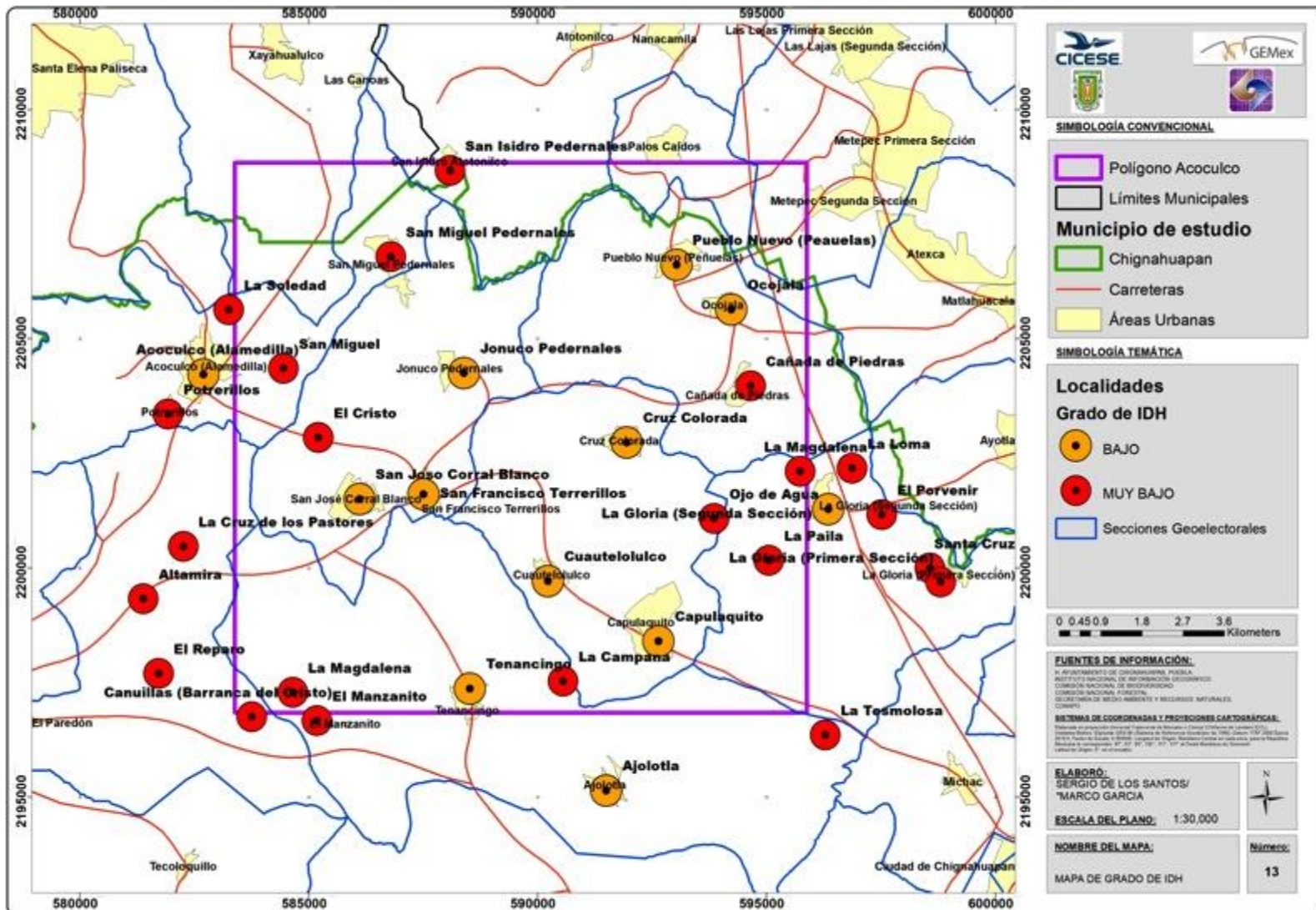
Situación de las Viviendas en el SAR



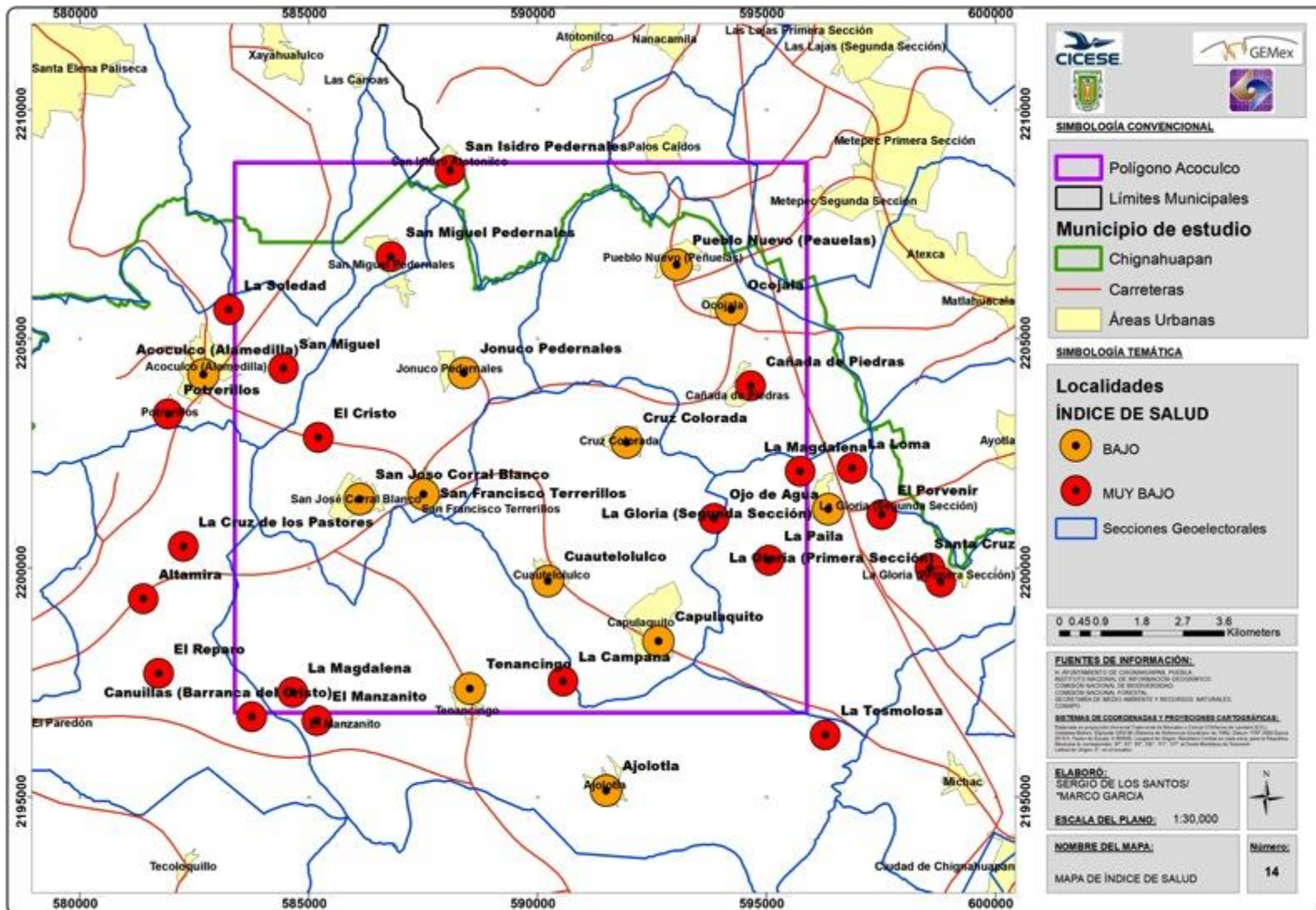
Anexo 17.- Mapa de índice de servicios polígono de Acoculco.



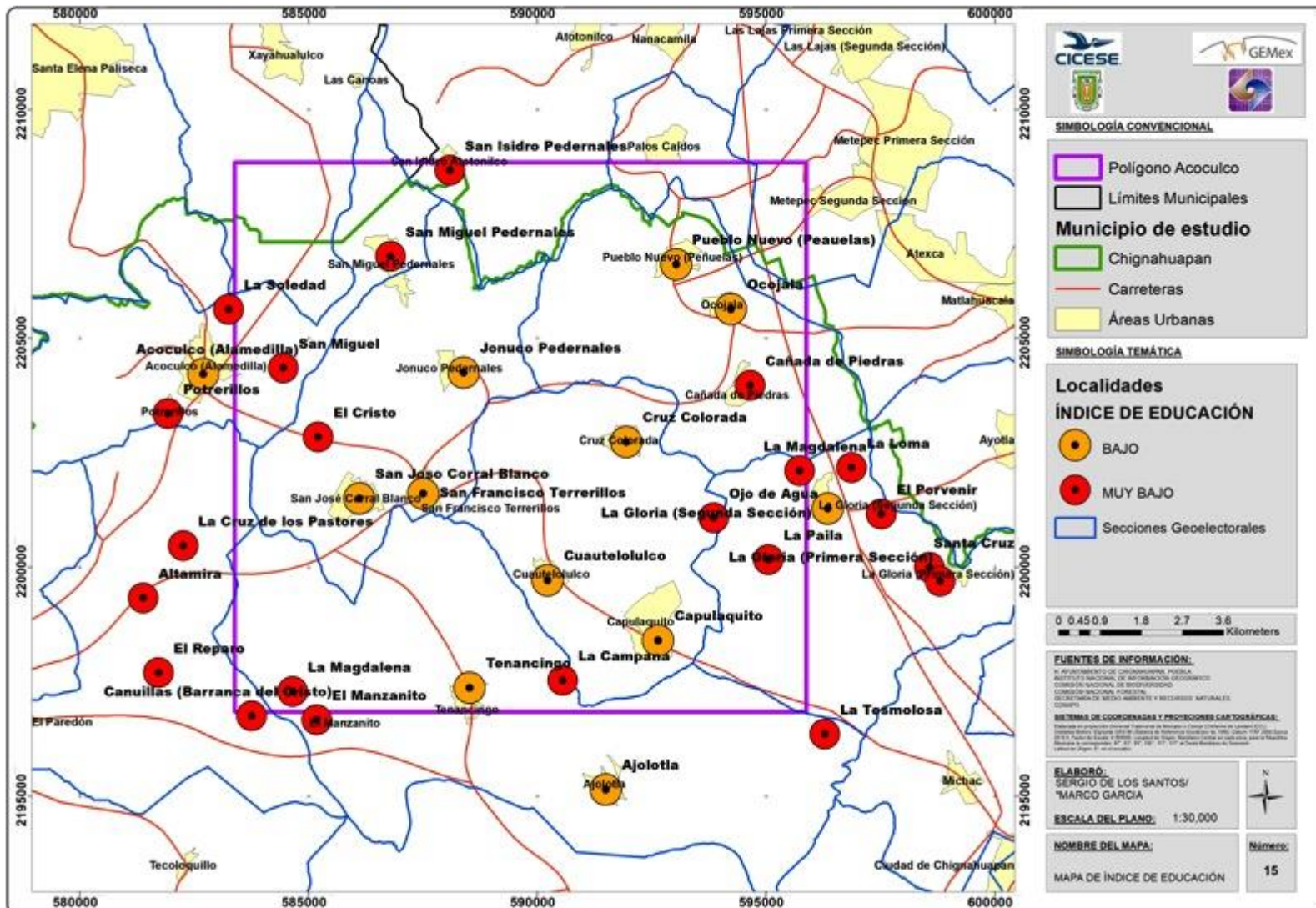
Anexo 18.- Mapa de índice de IDH Polígono de Acoculco.



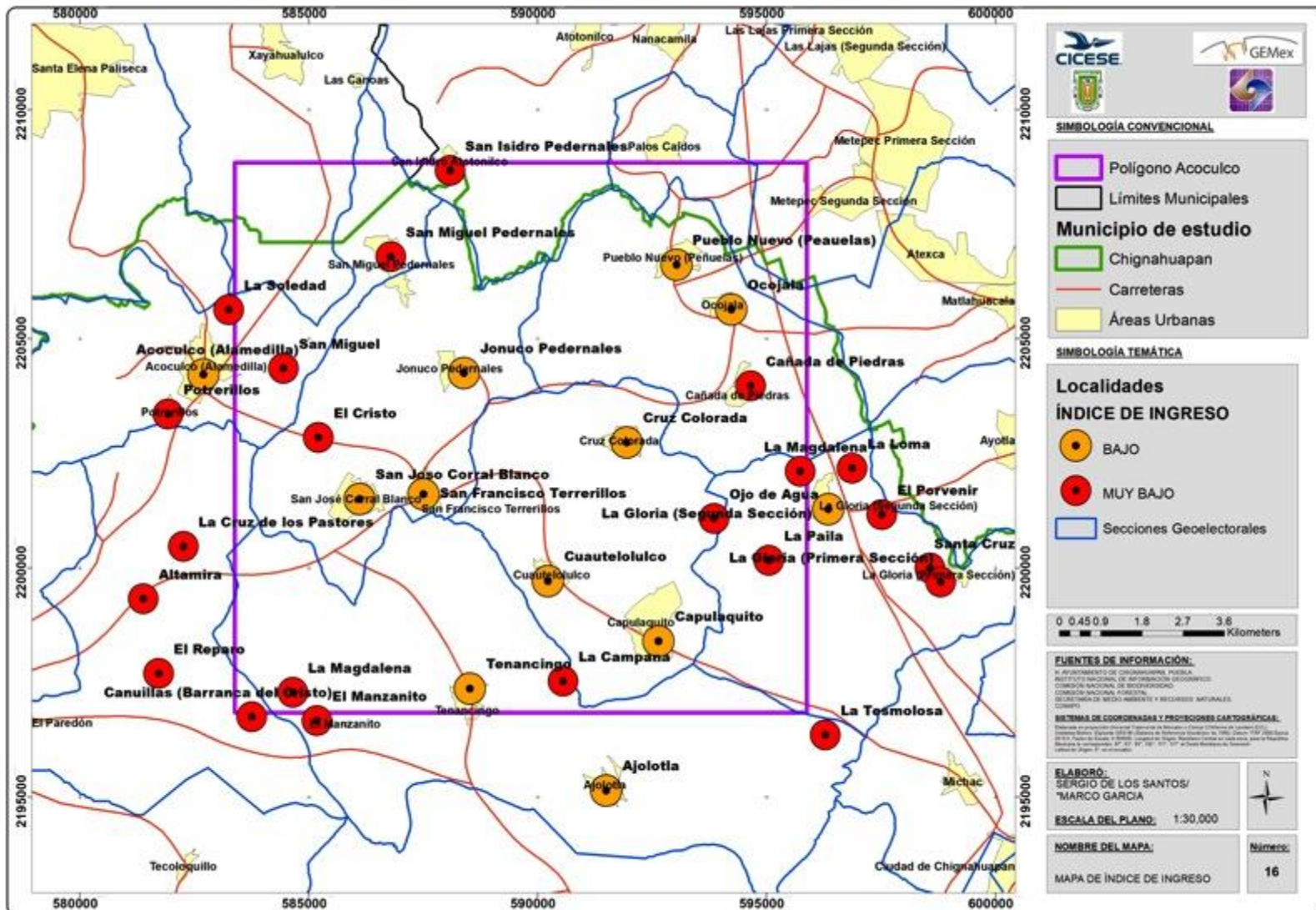
Anexo 19.- Mapa de índice de salud polígono de Acozulco.



Anexo 20.- Mapa de índice de Educación polígono de Acoculco.



Anexo 21.- Mapa de índice de ingreso polígono de Acoculco.



Anexo 22.- Presión de la población sobre el territorio polígono de Acoaculco.

