

III Aplicación del proceso

3.1. Resumen ejecutivo

Se realizó un estudio de factibilidad hidrogeológica para identificar si el área de las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, ubicadas en el municipio de Tlaquiltenango, estado de Morelos, cuenta con el potencial hidrogeológico suficiente para satisfacer las necesidades de agua potable, que son de dos litros por segundo por comunidad, siempre y cuando se cuente con la autorización del volumen de extracción y los derechos de explotación autorizados por la Comisión Nacional del Agua.

Cada una de las comunidades cuenta con un pozo (con excepción de La Era en donde no hay), pero se encuentran colapsados y, en el caso de Quilamula en donde además hay una noria, esta presenta importantes problemas de contaminación, ya que aprovecha el subálveo de la corriente superficial que transita por la zona.

El espesor económicamente explotable, obtenido del análisis de la información geofísica, es de 100 m; sin embargo, se localiza una unidad geoeléctrica F, con valores atractivos, asociados a caliza, que puede presentar fracturamiento o disolución, y forma parte del acuífero profundo de acuerdo con la información obtenida de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

El gasto mínimo esperado por pozo es poco menor a los 5 litros por segundo.

Los sitios más favorables para la perforación de los pozos, por comunidad son:

Coaxitlán	TEM C3
La Era	TEM E3
Nexpa	TEM N1
Quilamula	TEM M2

En cuanto a la infraestructura, en el caso de que los pozos sean productores, se deberán construir las líneas de conducción hidráulica correspondientes, y llevar la línea de energía eléctrica al sitio para la operación de los equipos de bombeo.

Cabe mencionar que de realizarse las perforaciones se presentarán intervalos con pérdidas de circulación importantes, de manera parcial y total, así como la posibilidad de presentar caídos.

3.2. Introducción

Las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, localizadas en la porción sur del estado de Morelos demandan agua para satisfacer sus necesidades, por lo que se requiere realizar un estudio de factibilidad hidrogeológica que sirva de apoyo para la perforación de un pozo en cada una de ellas.

En estas comunidades las condiciones sociales son de pobreza y presentan bastantes carencias de servicios de infraestructura, tanto educativa, como de salud y vivienda, considerable desempleo, además de una gran dispersión de la población. Las necesidades particulares de agua son de alrededor de dos litros por segundo, por comunidad.

Esta zona es de tipo rural, con una escasa población que va de 405 a 703 habitantes por comunidad y padecen escasez de agua principalmente por las características del relieve, la dispersión de la población, las distancias entre las comunidades y la contaminación, principalmente de plomo, arsénico y coliformes. Adicionalmente, la información geológica, geofísica, hidrológica y geohidrológica de esta zona es limitada.

En esta área el agua subterránea es escasa por las condiciones topográficas. La actividad económica principal es la agricultura, específicamente la manual estacional y en el sector pecuario, el aprovechamiento de la vegetación de pastizales.

Por lo anterior se solicitó el **Estudio Factibilidad hidrogeológica para la perforación de pozos en las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, localizadas en la porción sur del estado de Morelos.**

3.2.1 Antecedentes

Las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, localizadas en la porción sur del estado de Morelos, demandan cada una, de un caudal de dos litros por segundo de agua potable para sustentar sus actividades. Con excepción de La Era, en donde no existen pozos, cada una de las comunidades cuenta con un pozo que se encuentra inutilizado ya que, por falta de mantenimiento o por problemas en la construcción de los mismos, actualmente se encuentran colapsados; en Quilamula además hay una noria, pero presenta severos problemas de contaminación, debido a que aprovecha el subálveo de la corriente superficial que transita por la zona; a tal grado que el gobierno municipal ha emitido una prohibición de uso de estas aguas, aunque los pobladores la continúan utilizando por la falta de otras fuentes de suministro. De acuerdo a los resultados de monitoreo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), los principales contaminantes que se presentan en la zona son plomo y arsénico, adicionalmente, por las comunidades atraviesan escurrimientos superficiales con otros contaminantes, como coliformes, debido a que funcionan también como zonas de descarga de aguas residuales de las comunidades que se localizan aguas arriba.

En febrero de este año, el gobierno estatal informó que, como apoyo al sector agrícola de esta porción del estado, se iniciará la construcción de una presa en la Sierra de Huautla. Las comunidades se ubican en zonas específicamente de recarga, situación que limita el almacenamiento de agua y favorece más el tránsito de ésta hacia el acuífero regional. No existe información que permita conformar con detalle el marco hidrogeológico de la zona.

La CONAGUA, ubica a estas comunidades en la Región Hidrológica Administrativa IV "Balsas", en el acuífero Cuautla - Yautepec (1702) hasta antes del año 2009 y, desde agosto de 2009, las reubica como parte de los acuíferos Cuautla - Yautepec (1702) y Zacatepec (1703), según información publicada por el Diario Oficial de la Federación respectivo.

Con base en lo anterior, se consideró realizar un estudio de factibilidad hidrogeológica, que haga hincapié en la información geofísica y geológica superficial de la zona.

3.2.2 Objetivo

- Definir si las zonas donde se ubican las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, tienen el potencial hidrogeológico para abastecerlas de agua.
- Ubicar los mejores sitios para la perforación de los pozos necesarios.

3.2.3 Proceso

Para cumplir con el objetivo se aplica el proceso señalado en la **Tabla 3.1**; éste involucra la ejecución de actividades de campo y gabinete. En lo relativo a campo, se realizaron actividades de verificación geológica y exploración geofísica aplicando el método electromagnético en el dominio del tiempo.

Tabla 3.1. Proceso para realizar el estudio de factibilidad hidrogeológica en las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula

	Recopilar y analizar información del área	Verificar geología	Medir propiedades de las rocas	Evaluar hidrogeología	Dictaminar
Objetivo	Conocer el contexto geográfico, socioeconómico, geológico e hidrogeológico de las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula del municipio de Tlaquiltenango, Morelos y la situación administrativa y legal de la zona y de los acuíferos Cuautla-Yautepec y Zacatepec	Confirmar el contexto geológico de la zona sur del estado de Morelos, verificar la columna geológica	Conocer las propiedades geofísicas de las unidades del subsuelo en las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula	Analizar el comportamiento del medio donde se acumula y transita el agua en la zona sur del estado de Morelos	Integrar información y definir si la zona comprendida entre las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, presentan condiciones favorables para extraer agua
Actividades	Obtener información en diferentes instancias de gobierno, organismos operadores y universidades. Elaborar plano base de referencia.	Con base en la columna geológica definida, realizar la propuesta del método geofísico a utilizar	Realizar exploración geofísica, por comunidad, con la realización de 3 sondeos, electromagnéticos en el dominio del tiempo. Obtención de datos tiempo/voltaje. Procesar información en gabinete	Con base en la información del REPDA y de disponibilidad del DOF, ubicar pozos y norias en el entorno de las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula	Correlacionar la información geológica, hidrogeológica y geofísica. Estimar gasto mínimo esperado. Proponer diseño constructivo de los pozos. Estimar tipo de materiales a perforar. Definir actividades y obras complementarias.
Resultado	Conocimiento del contexto de la zona y el acuífero. Plano de referencia.	Características de las rocas que pueden contener agua. Columna geológica. Plano geológico local. Propuesta de campaña de exploración geofísica. Sección geológica esquemática de cada comunidad. Profundidad de los sondeos.	Información de resistividades y espesores de los paquetes de roca. Profundidad de perforación.	Estimar volumen mínimo de extracción. Verificación del medio hidrogeológico. Tipo de acuífero y dirección del agua. Posibles litologías.	Informe en el que se define si las comunidades de Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula, presentan condiciones favorables para la perforación de pozos para abastecimiento de agua.

3.3. Generalidades

3.3.1 LOCALIZACIÓN

La zona sur del estado de Morelos requiere del abastecimiento de agua potable para la población. Si bien en la actualidad existen pozos y manantiales para sustentar su desarrollo, el crecimiento poblacional, los cambios en el uso del suelo, la contaminación, el mal estado de algunos pozos y/o la demanda de volúmenes mayores de agua, hacen necesario recurrir, cada vez más, al agua subterránea. Las condiciones geológicas de la zona indican la presencia de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, estas últimas pueden ser favorables para la acumulación de agua subterránea, sin embargo se tiene conocimiento de otras áreas, que la caliza, si presenta disolución o fracturamiento, también puede aportar agua.

Dentro del territorio estatal la zona de estudio se ubica en el municipio de Tlaquiltenango, es el de mayor superficie con 581.778 km²; representa el 11.14% de la superficie del Estado y está dividido en 44 localidades principales, entre ellas las que demandan abastecimiento de agua potable son Coaxitlán, La Era, Nexpa y Quilamula. **Figura 3.1.**

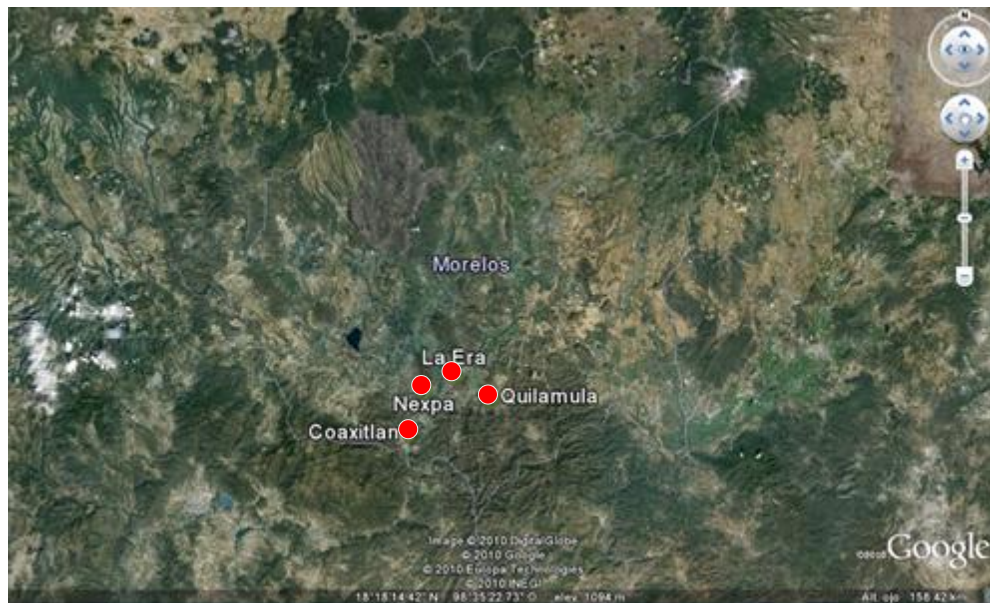


Figura 3.1. Localización de las comunidades demandantes de agua

(Imagen tomada de Google Earth, 2010)

El municipio de Tlaquiltenango se encuentra en la parte sur del estado de Morelos limitado entre las coordenadas geográficas 18°20' a 18°40' de Latitud Norte y 98°55'a 99°14' de Longitud Oeste, con altitudes entre los 800 y 1,900 metros sobre el nivel del mar.

Limita al norte con los municipios de Tlaltzapán, Ayala y Tepalcingo; al este con el municipio de Tepalcingo y el estado de Puebla; al sur con los estados de Puebla y Guerrero; al oeste con el estado de Guerrero y los municipios de Puente de Ixtla y Jojutla.

Figura 3.2.

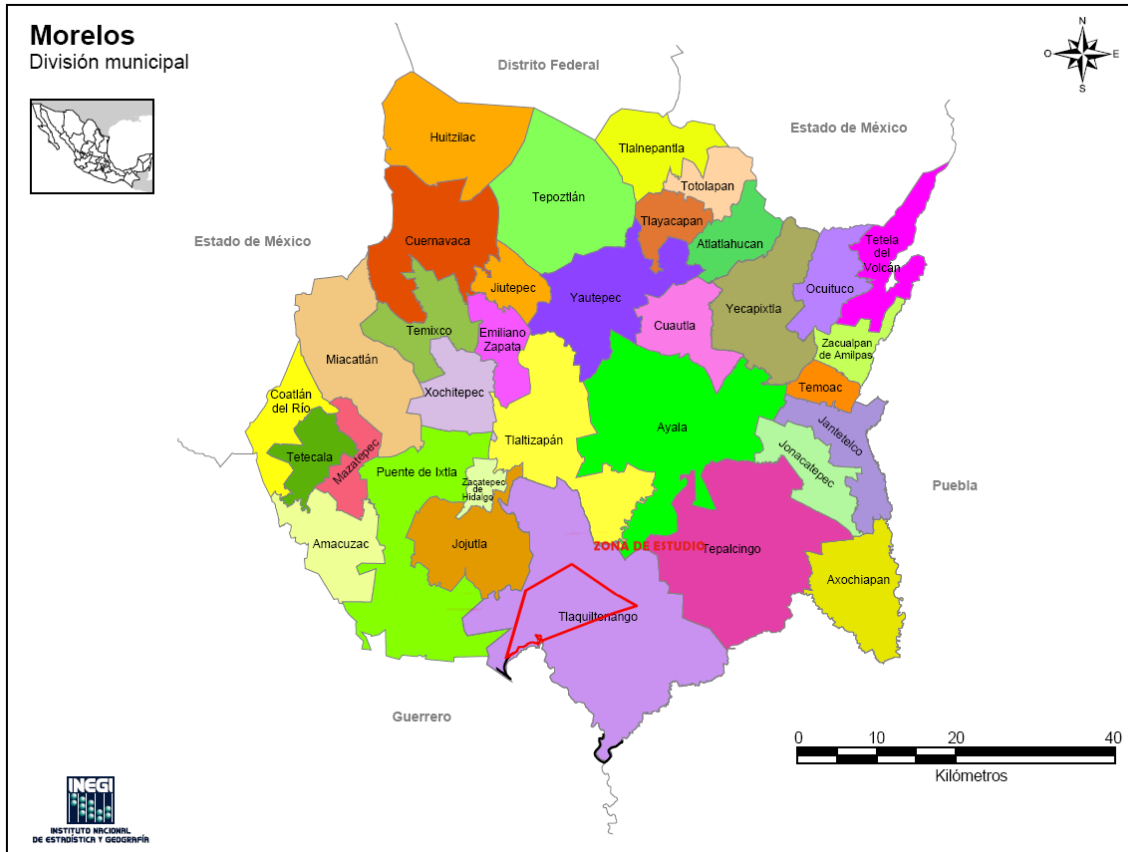


Figura. 3.2 Localización municipio de Tlaquiltenango

(Fuente: INEGI, Marco Geoestadístico Municipal, 2005)

3.3.2 Vías de comunicación

El municipio está integrado por una red carretera, siendo las principales vías las carreteras estatales Jojutla-Yautepec; Tlaquiltenango-Zacatepec; Tlaquiltenango-Huautla y Tlaquiltenango-Chimalacatlán; asimismo cuenta con carreteras vecinales que unen la cabecera municipal con las localidades del municipio. **Figura 3.3.**

Los principales medios de comunicación son el Internet, el teléfono, el correo y el telégrafo, así como señales de radio y televisión, las comunidades apartadas cuentan con servicio de telefonía rural vía satélite.

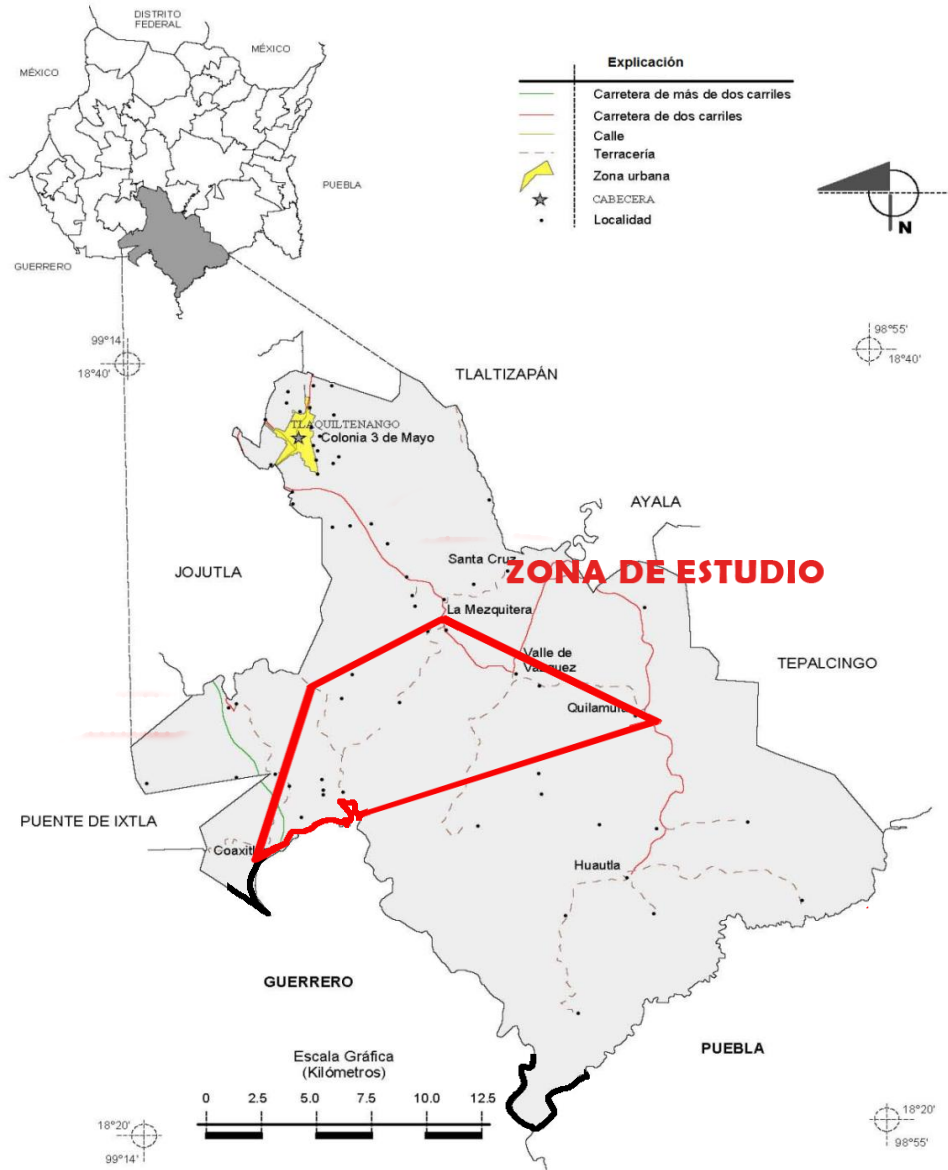


Figura 3.3. Vías de comunicación

(Fuente: INEGI-Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos 2008)

3.3.3 Aspectos socioeconómicos de la zona

De acuerdo con la información del Censo de Población y Vivienda 2010, el municipio de Tlaquiltenango tiene 31,534 habitantes (1.77% del estado), presenta una tasa baja de crecimiento poblacional (1.24) y una densidad de población de 54.20 hab/km².

En cuanto a las comunidades donde se realizaron los estudios de factibilidad, la población se muestra en la **tabla 3.2**

Tabla 3.2 Población de las comunidades estudiadas (Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda, 2010. Resultados definitivos)

Localidad	conteo 1995	censo 2000	conteo 2005	censo 2010
Coaxitlán	535	513	462	450
La Era (Calalpa)	394	390	374	405
Nexpa	510	515	426	433
Quilamula	659	667	614	703

Es notorio identificar que en estas comunidades, consideradas de tipo rural, existe un decremento de población de 1995 a 2005 y un poco considerable incremento durante los últimos 5 años, con excepción de Coaxitlán, en donde se mantuvo el decremento.

En las comunidades estudiadas se padece la escasez de agua debido, principalmente, a la contaminación de los manantiales y escurrimientos superficiales, a la disminución en la cantidad de agua de los escurrimientos y al considerable deterioro por falta de mantenimiento y/o problemas derivados de la construcción que presentan los pozos.

Por otra parte, las distancias entre estas localidades rurales o las limitadas vías de comunicación que entre sí guardan, debido al relieve, hace que los pozos o manantiales existentes sean insuficientes.

En el municipio de Tlaquiltenango se ubica el distrito minero polimetálico de Huautla, que actualmente está inactivo pero que es potencialmente productor. En el año de 2005 se declara como Reserva de la Biosfera la Sierra de Huautla, por lo que parte de este distrito queda inexplorable; las perspectivas de desarrollo y explotación se reducen y limitan a las partes que quedan fuera del Área Natural Protegida. Este distrito es considerado la causa de la contaminación de las aguas superficiales de la zona, principalmente en lo que se refiere a plomo y arsénico, de acuerdo con la información de los puntos de muestreo en la zona, de la Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA.

En Tlaquiltenango el sector primario representa el 28.32% de la población ocupada, mientras que el sector secundario representa el 22.84%, el terciario el 47.59% y el 1.61% se considera como no especificado.

- Sector primario. La actividad agrícola en Tlaquiltenango se sustenta en la producción de caña de azúcar, maíz, sorgo, arroz, frijol, jitomate, cebolla, hortalizas y flores. La actividad ganadera principal es la cría de ganado bovino, porcino, caprino y caballo y, sin ser sobresaliente, se explota además la avicultura.

- Sector secundario. El municipio se dedica principalmente a la construcción. Durante el siglo XVI y hasta 1991 en la región de Huautla existieron actividades mineras.

- Sector terciario. La estructura económica actual del municipio es netamente terciaria, a ella pertenece el 47.59% de la población ocupada. Parte de los servicios que brinda el municipio, además del comercio y el transporte en general, son los de tipo turístico, en los cuales se incluyen el monumento arquitectónico templo y convento de Santo Domingo (edificación del siglo XVI), siete haciendas y, siendo los ríos su principal recurso natural, los balnearios de El Rollo, La Cantora y Las Huertas. Se promueven también diversas actividades relacionadas con el ecoturismo, sobre todo en la Sierra de Huautla.

Tlaquiltenango cuenta además con 37 sitios arqueológicos, donde Chimalacatlán y Huaxtla son las áreas más representativas.

3.3.4 Región hidrológica

De acuerdo a la regionalización de la CONAGUA, la zona de estudio se ubica en la Región Hidrológica No. 18, Río Balsas, en la subcuenca del Río Grande de Amacuzac. **Figura 3.4.**

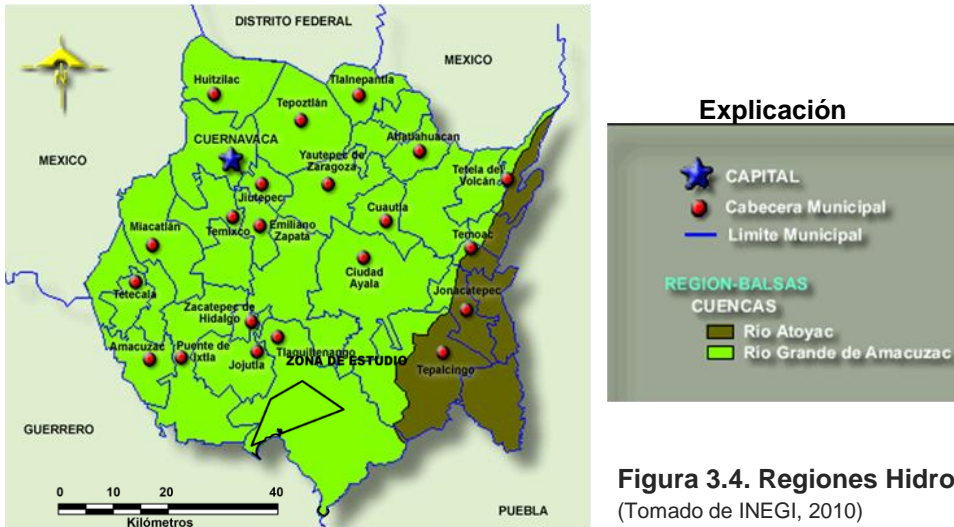


Figura 3.4. Regiones Hidrológicas
(Tomado de INEGI, 2010)

3.3.5 Clima, precipitación y temperatura

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (1987), en la totalidad del municipio se tiene el mismo clima, corroborado por las estaciones meteorológicas de Huautla y Xicatlacotla; se trata del clima Awo(w), cálido, de baja humedad y precipitaciones en verano.

La definición del clima en las estaciones meteorológicas, es la siguiente:

Estación Xicatlacotla (820 msnm). Clima Awo(w) (e)gw'; —A—clima cálido, temperatura media anual 25.0°C, temperatura media mensual mínima de 20.9°C en enero y máxima 29.7°C en mayo; wo subhúmedo, de baja humedad (relación precipitación/temperatura 33.9); —(w)—, precipitaciones en verano 54.3% de la media anual, escasa en invierno 2.2% (media anual 849.2 mm); —(e)— oscilación térmica entre las medias mensuales extremas 8.1°C; —g— evolución de las temperaturas medias mensuales tipo Ganges, máxima antes de junio (27.4°C), en mayo 29.1°C; —“w”— sequía interestival, la precipitación media mensual desciende en julio (junio 191.00 mm, julio 131.1 mm y agosto 167.4 mm).

Estación Huautla (930 msnm). Clima Awo(w) igw"; —A— clima cálido, temperatura media anual 24.5°C, temperatura media mensual mínima 22.8°C en enero y máxima de 26.2°C en abril; —wo— subhúmedo, de baja humedad (relación precipitación/temperatura 42.2); —(w)—, precipitaciones en verano 63.8% de la media anual, escasas en invierno 1.5% (media anual 1 038.7 mm); —i— isotermal, oscilación térmica entre las medias de 3.2°C; —g— evolución de las temperaturas medias mensuales tipo Ganges, máxima antes de junio (25.9°C) en abril 26.2°C; —“w”— sequía interestival, precipitación media desciende en julio (junio 2 224 mm, julio 166.7 mm, agosto 281.2 mm).

Según criterios de INEGI sobre la clasificación de los climas en función del monto y distribución de su precipitación, el clima y sus variantes antes expuestas, están considerados como “3C” en que los suelos tienen la humedad adecuada para “una cosecha anual”. En la **Figura 3.5** se muestra el clima representativo de la zona de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano.

La precipitación media anual es superior a los 1,000 mm, **Figura 3.6**. Con base en la información topográfica, una parte importante escurre a través de las corrientes superficiales y una pequeña proporción se infiltra; no se cuenta con información suficiente para estimar el volumen de infiltración.

La temperatura media anual en la zona es superior a los 24° C. **Figura 3.7**.

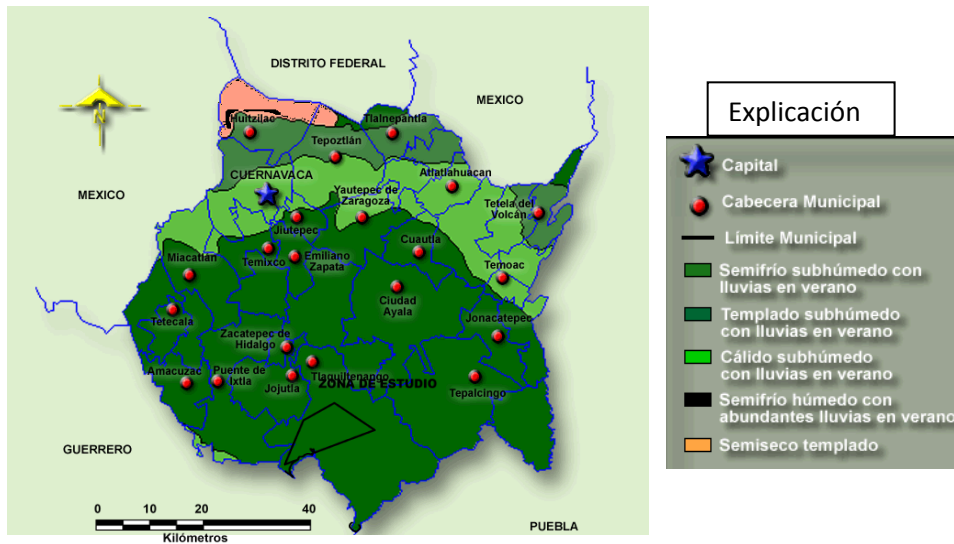


Figura. 3.5 Climas (Fuente: INEGI 2005)

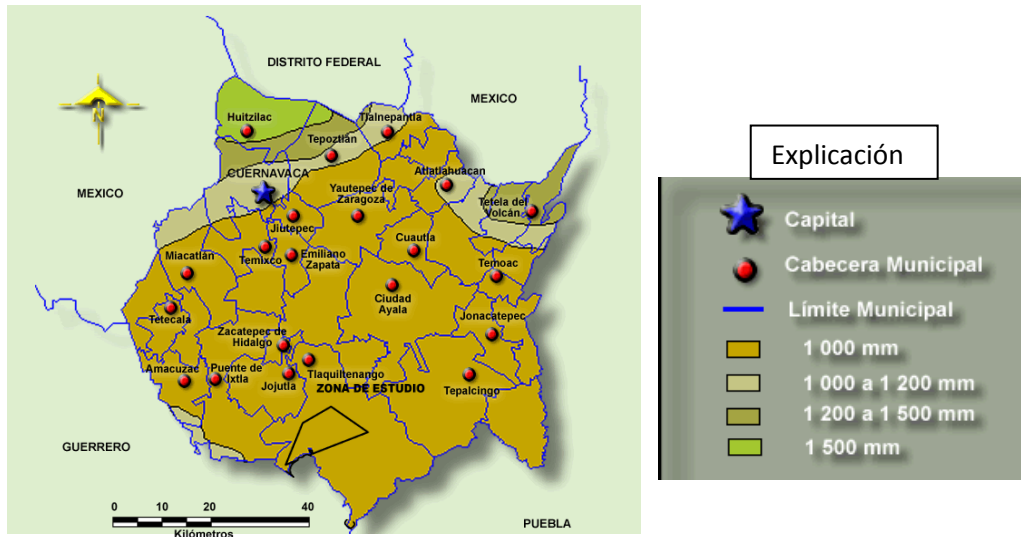


Figura 3.6. Precipitación media anual (Fuente: INEGI 2005)

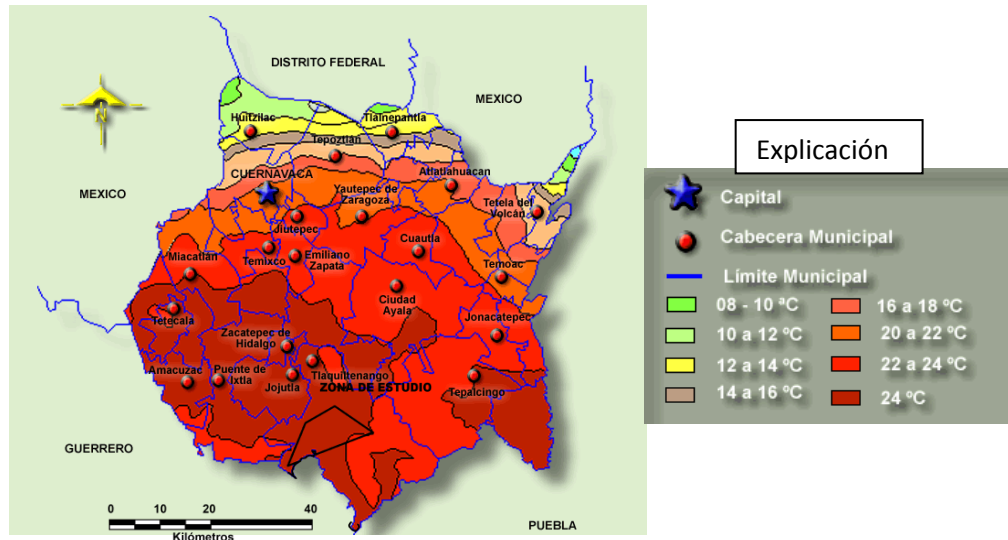


Figura 3.7 Temperatura media anual (Fuente: INEGI 2005)

3.3.6 Suelo

El municipio de Tlaquiltenango, posee principalmente los siguientes tipos de suelo, en la **Figura 3.8** se identifica la distribución:

Feozem -Hh/2- (48.69%), Suelos fértiles que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, Se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica (>1.0%) y en nutrientes, sin presentar capas ricas en cal. Presentan un espesor de hasta 150 cm y un horizonte A móllico, típico de pastizales. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad.

Castañozem -Kh/2- (15.58%): Suelos en tono castaño, alcalinos, que se encuentran ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos como las sierras y llanuras, típicos de pastizales. Frecuentemente tienen más 70 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color pardo o rojizo oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo.

Litosol -l/2- (13.33%), Literalmente, suelo de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido.

Rendzina –E/3-- (9.34%), suelos muy delgados (espesor de 30 cm o menos) sobre roca dura o capa cementada, No son evolucionados, se encuentran sobre CaCO_3 , pero con una gran cantidad de materia orgánica (>5%) muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en CaCO_3 , aunque el pH es neutro. Producen ruido con el arado por su pedregosidad. Estos suelos se presentan en climas semiáridos, tropicales o templados. Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos moderadamente susceptibles a la erosión.

Vertisol –Vp/3- (8.42%): Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla (>35%), la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie (>1 cm de apertura) o a determinada profundidad (hasta 50 cm). Su color más común es el negro o gris oscuro. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. La vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. En estos suelos se produce la mayor parte de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión.

Regosol -R- (3.76%): Son suelos delgados (material suelto que cubre a la roca), se consideran poco desarrollados y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen ya que se encuentran directamente sobre ella. Se les encuentra en cualquier tipo de clima y generalmente sobre topografía accidentada.

No determinado (0.88%).



Figura 3.8 Suelos dominantes
(Fuente: Anuario estadístico de Morelos, INEGI, 2005)

En la **tabla 3.3** y en las **figuras 3.9 y 3.10** se muestran el uso potencial de la tierra, tanto en el uso agrícola como en el pecuario. Como se observa, predomina el uso para agricultura manual estacional y para aprovechamiento de la vegetación de pastizal respectivamente.

Tabla 3.3 Uso potencial de la Tierra (Fuente: INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos 2008)

Uso potencial de la tierra	
Agrícola	Para la agricultura manual estacional (82.31%)
	Para la agricultura mecanizada continua (7.1%)
	Para la agricultura de tracción animal continua (6.79%)
	Para la agricultura manual continua (2.39%)
	Para la agricultura mecanizada estacional (0.77%)
No apta para la agricultura (0.64%)	
Pecuario	Para el aprovechamiento de la vegetación de pastizal (69.28%)
	Para el desarrollo de praderas cultivadas con tracción animal (15.42%)
	Para el desarrollo de praderas cultivadas (14.41%)
	No apta para uso pecuario (0.64%)

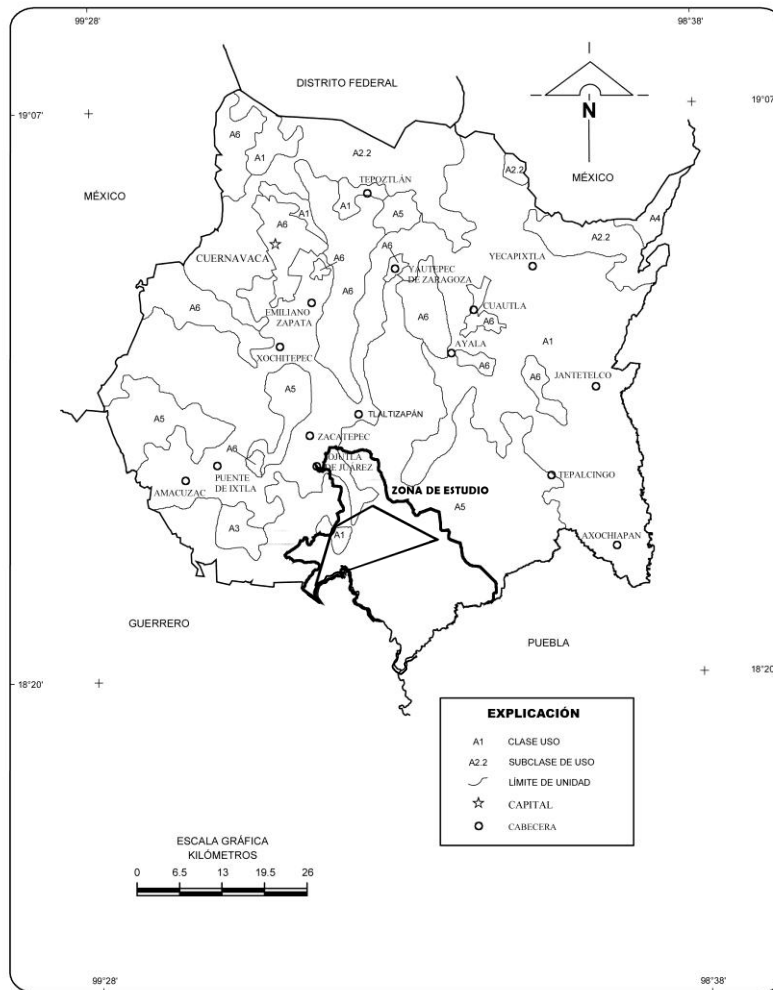


Figura. 3.9 Uso potencial agrícola
(Fuente: Anuario estadístico de Morelos, INEGI, 2005)

3.3.7 Vegetación

La vegetación está constituida principalmente por selva baja caducifolia de clima cálido, como se muestra en la **figura 3.11** y en la **tabla 3.4**.

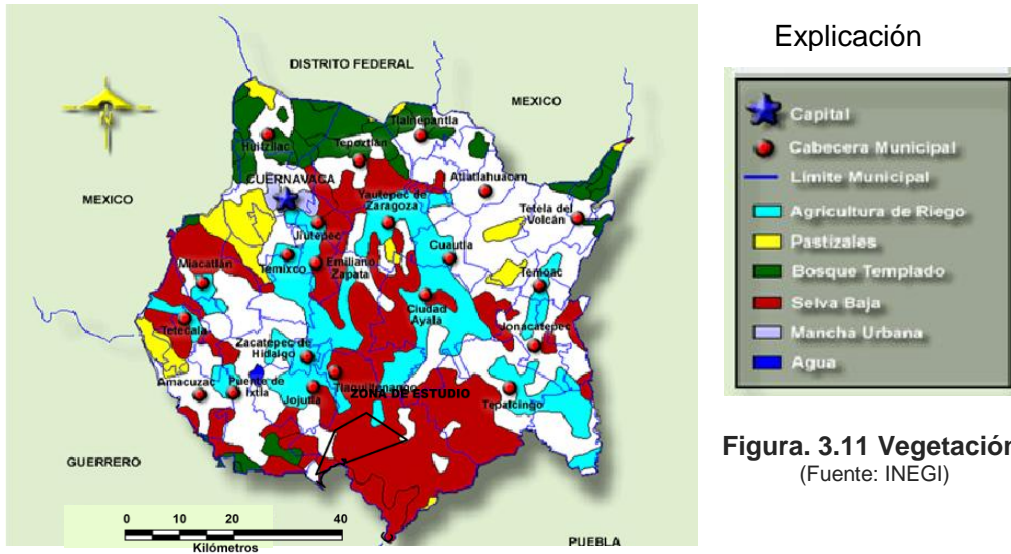


Figura. 3.11 Vegetación
(Fuente: INEGI)

Tabla 3.4. Vegetación en el municipio de Tlaquiltenango

Superficie estatal	Nombre científico	Nombre local	Utilidad
Agricultura (A)			
52.91 %	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Comestible
	<i>Oryza sativa</i>	Arroz	Comestible
	<i>Zea mays</i>	Maíz	Comestible
	<i>Arachis hypogea</i>	Cacahuate	Comestible
	<i>Citrullus lanatus</i>	Sandía	Comestible
Pastizal (P)			
5.04 %	<i>Aristida adscensionis</i>	Zacate	Forraje
	<i>Hilaria cenchroides</i>	Gramma negra	Forraje
	<i>Bouteloua filiformis</i>	Navajita	Forraje
	<i>Heteropogon contortus</i>	Zacate	Forraje
	<i>Muhlenbergia macroura</i>	Zacatón	Forraje
Bosque (B)			
8.53 %	<i>Pinus montezumae</i>	Ocote blanco	Comercial, Industrial
	<i>Pinus leiophylla</i>	Chino	Comercial, Industrial
	<i>Quercus rugosa</i>	Quebracho	Comercial, Industrial
	<i>Quercus laurina</i>	Laurelillo	Comercial, Industrial
	<i>Quercus magnoliifolia</i>	Encino	Comercial, Industrial
Selva (S)			
30.70 %	<i>Bursera fagaroides</i>	Copal	Medicinal, Artesanal
	<i>Bursera copallifera</i>	Cuajote, Copal	Medicinal, Artesanal
	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	Tepeguaje	Leña, Medicinal
	<i>Ipomoea wolcottiana</i>	Cazahuate	Ornamental, Medicinal
	<i>Ceiba pentandra</i>	Pochote	Artesanal, Ornamental
Otro (O)			
2.82 % de la superficie estatal			

NOTA: Sólo se mencionan algunas especies útiles
Fuente: INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, 1:1 000 000. INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación. 1:250 000.

3.3.8 Áreas de preservación ecológica

En Tlaquiltenango se ubica el área natural protegida con carácter de reserva de la biosfera, denominada Sierra de Huautla, decretada en el Diario Oficial el 8 de septiembre de 1999 y de la que forman parte también los municipios de Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla y Tepalcingo, cubre una superficie de 59,030.90 has; tiene una topografía accidentada cuyas altitudes varían de los 700 a los 2,240 msnm.

En esta zona de reserva de la biosfera, está situado el distrito minero polimetálico de Huautla, en un campo volcánico constituido por derrames de lava dacítica a andesítica, ignimbritas silíceas, brechas y cuerpos subvolcánicos. **Figura 3.12.**

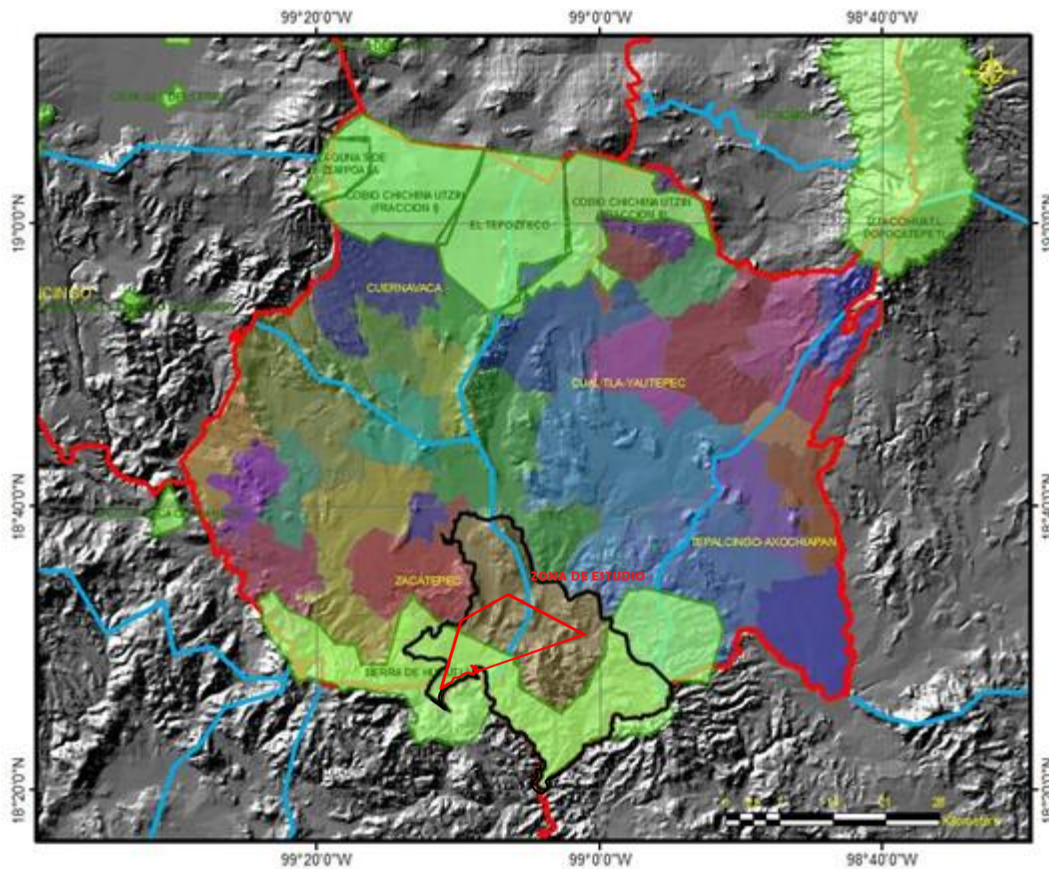


Figura. 3.12 Áreas de preservación ecológica en el municipio de Tlaquiltenango.

(Fuente: CONAGUA 2010)

El 2 de febrero de 2011, investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), presentaron ante los integrantes de Consejo Estatal de Áreas Naturales Protegidas, encabezado por la Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente (CEAMA), una propuesta para la creación de una nueva Área Natural Protegida, 2 mil hectáreas de los ejidos de las comunidades de La Era y Los Elotes pertenecientes al municipio de Tlaquiltenango. (Red del agua UNAM. Noticias Nacionales. 2011)

3.3.9 Fisiografía

Morelos queda comprendido dentro de dos provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, **Figura 3.13**.

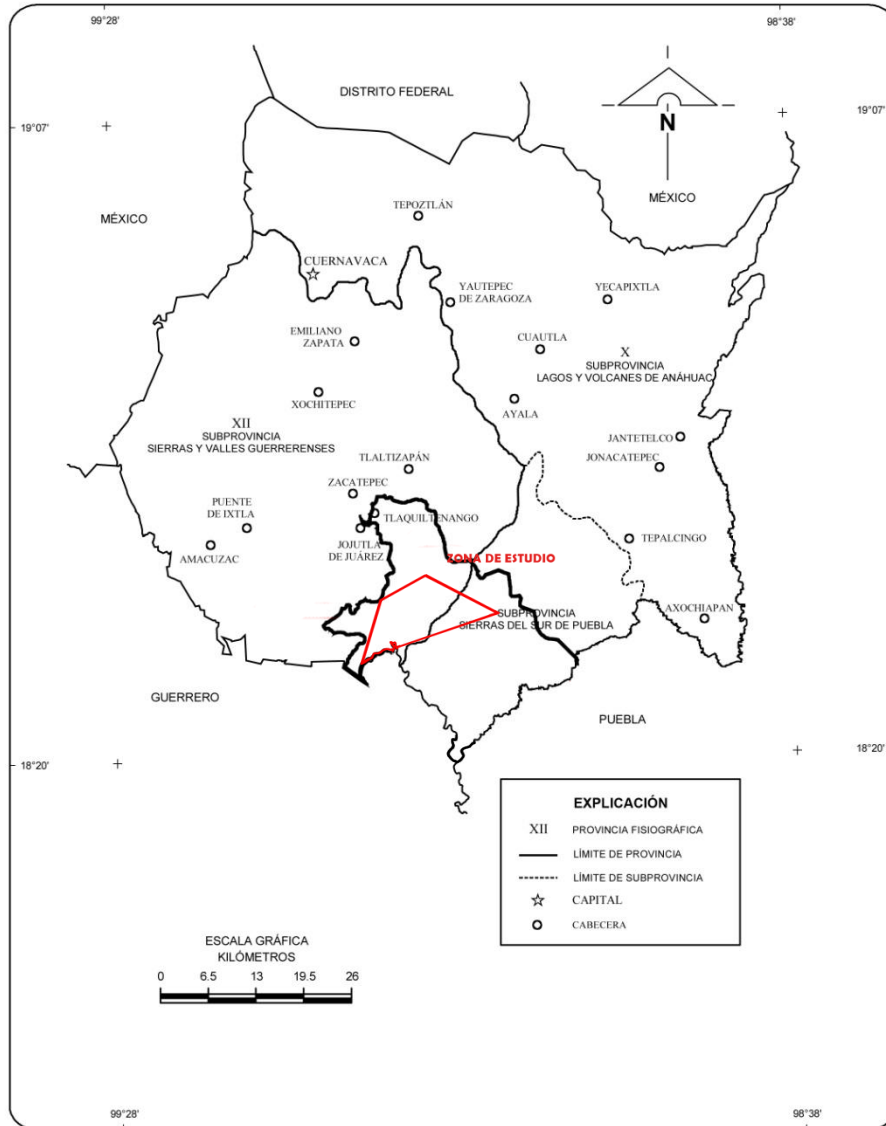


Figura. 3.13 Provincias fisiográficas del estado de Morelos
(Fuente: Anuario estadístico de Morelos, INEGI, 2005)

3.3.10 Acuífero del área

Por las condiciones hidrológicas que prevalecen en los valles de Morelos, la única fuente de suministro de agua en calidad, cantidad y permanencia, son las aguas subterráneas. Desde el punto de vista geohidrológico, Morelos forma parte de la 'Región Hidrogeológico Administrativa IV Balsas' y están definidas para el estado las subcuencas hidrológicas Rio Atoyac y Rio Grande de Amacuzac y cuatro acuíferos: Cuernavaca, Cuautla-Yautepec, Tepalcingo-Axochiapan y Zacatepec. **Figura 3.14.**

Las aguas subterráneas del municipio de Tlaquiltenango forman parte de la zona sureste del acuífero Zacatepec y de la zona suroeste del Cuautla-Yautepec.

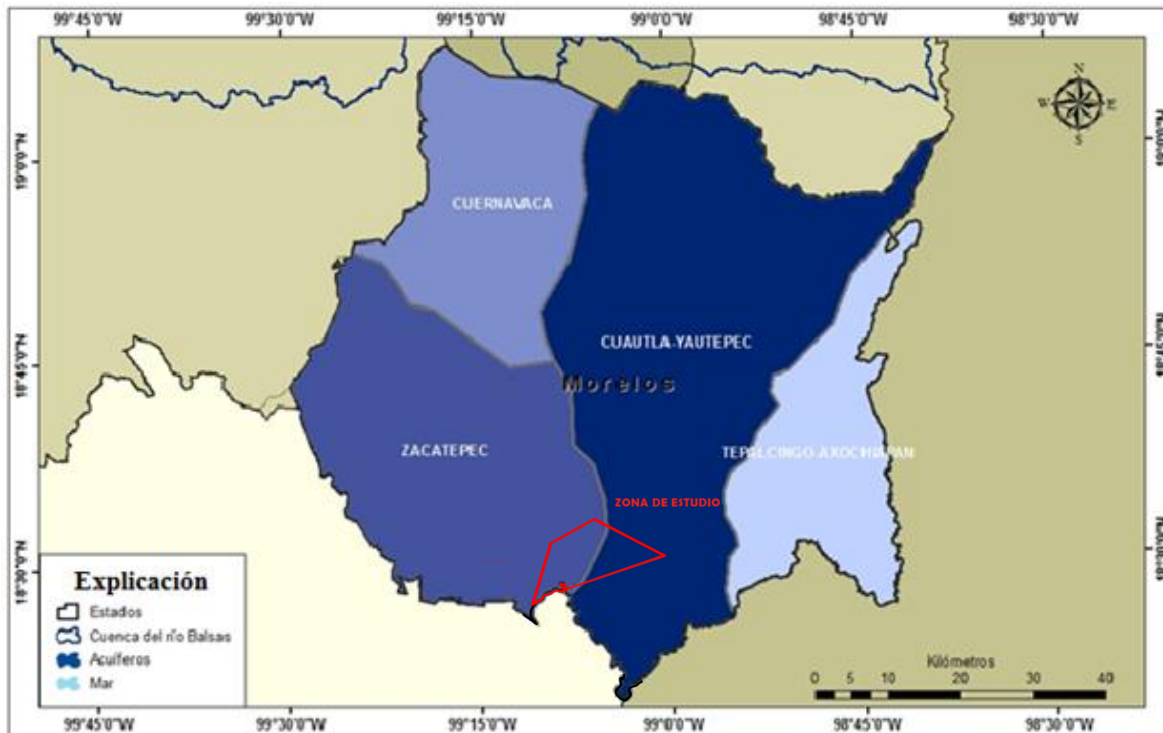


Figura 3.14 Acuíferos del estado de Morelos 2009

(Fuente. CONAGUA 2009. Estado de los acuíferos)

3.3.11 Información disponible

En cuanto a la información disponible, los estudios previos han tenido diferentes objetivos, alcances, balances de aguas subterráneas, disponibilidad de agua del subsuelo, así como áreas de estudio. El primer trabajo y más completo hasta la fecha, geológicamente hablando, es el estudio preparado por Carl Fries, en el año de 1960, "Geología del Estado de Morelos y de Partes Adyacentes de México y Guerrero, región Central de México", publicado en el Boletín No. 60 del Instituto de Geología de la UNAM (CONAGUA 2002); en el tema geohidrológico los estudios más importantes son: en 1981, dos estudios realizados por la empresa TACSA en la zona del acuífero Zacatepec, y uno por la empresa Rocha y Asociados, S. A. (ROASA), "Estudio Geohidrológico de la Zona de Cuautla-Yautepec, Mor.", por ININSA en 1982, en 1986 el "Estudio de exploración geofísica en la zona de Xoxocotla, Morelos", elaborado por la empresa Geoproyectos

S.A., en 1989, la empresa CESI, S.A. de C.V., elaboró el “Estudio Geohidrológico para el Proyecto Oacalco, Mor”, en 1996, la empresa INRA, S.A. realizó un estudio de actualización de las condiciones geohidrológicas de la zona “Cuautla-Yautepec”, estado de Morelos. Por parte de la CONAGUA, los correspondientes estudios de determinación de la disponibilidad de agua en los cuatro acuíferos del estado de Morelos publicados en abril de 2002 y en el Diario Oficial de la Federación en 2008 y ‘Estado de los acuíferos de Morelos’ en 2009 y ‘Estadísticas del Agua en México’, edición 2010. En agosto de 2009 la CONAGUA publica la disponibilidad de los acuíferos Cuautla-Yautepec y Zacatepec, sustentado en los documento “Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea, acuífero (1702) Cuautla-Yautepec y Zacatepec (1703) estado de Morelos”

Con relación a los estudios de determinación de la disponibilidad de agua en los cuatro acuíferos del estado de Morelos publicados en abril de 2002, cabe señalar que presentan algunas inconsistencias en sus descripciones, debido a que analizaron sólo una parte de la superficie de los acuíferos como se muestra en la **figura 3.15**, además, en algunas partes del texto del acuífero Zacatepec, consideran a la totalidad del municipio de Tlaquiltenango dentro de éste y los estudios del acuífero Cuautla-Yautepec no consideran que alguna parte del municipio forme parte de él.



Figura 3.15 Acuíferos del estado de Morelos, 2002

(Fuente: INE-UAEM, 2006)

Según los documentos de la CONAGUA, ‘Estado de los acuíferos de Morelos’ (2009) y ‘Estadísticas del Agua en México’, edición 2010, el área de estudio forma parte de los acuíferos Cuautla-Yautepec y Zacatepec, como se muestra en la **figura 3.16**. El REPDA ubica actualmente a los pozos del municipio de Tlaquiltenango en el acuífero Zacatepec.

3.4. Geología

3.4.1 Geología regional

La litología del estado de Morelos está constituida por afloramientos de rocas ígneas extrusivas (basalto-toba, brecha volcánica), rocas sedimentarias, lutitas y areniscas del Mesozoico y depósitos clásticos continentales y aluviales del Cuaternario.

Por su origen geológico, en el estado predominan las rocas ígneas del cuaternario, en su mayor parte extrusivas, que se localizan principalmente en la porción norte del Estado llegando a extenderse hasta la porción central; entre ellas destacan los basaltos, andesitas y materiales cineríticos como arenas y cenizas volcánicas. En el sur también hay presencia de rocas ígneas extrusivas aunque de origen terciario; además, en los valles y depresiones morelenses afloran depósitos clásticos continentales y aluviales, producto del acarreo milenario de sedimentos transportados por los ríos. Por otra parte, las rocas sedimentarias se extienden de manera importante en la franja poniente del estado y hacia municipios centrales como Yautepec, Tlaltizapán, Ayala y Tlaquiltenango, lugares donde sobresalen las calizas, limolitas, areniscas y lutitas (Delgadillo M. 2000). **Tabla 3.6 y figura 3.17.**

Tabla 3.6 Tipos de rocas en el estado de Morelos

Era	Periodo	Roca o suelo	% de la superficie estatal
Cenozoico	Cuaternario	Ígnea extrusiva	42.85
	Terciario	Suelo	5.75
		Ígnea extrusiva	17.07
Mesozoico	Cretácico	Sedimentaria	18.78
		Sedimentaria	15.55

Fuente: INEGI. Carta Geológica, 1:1 000 000, 2010

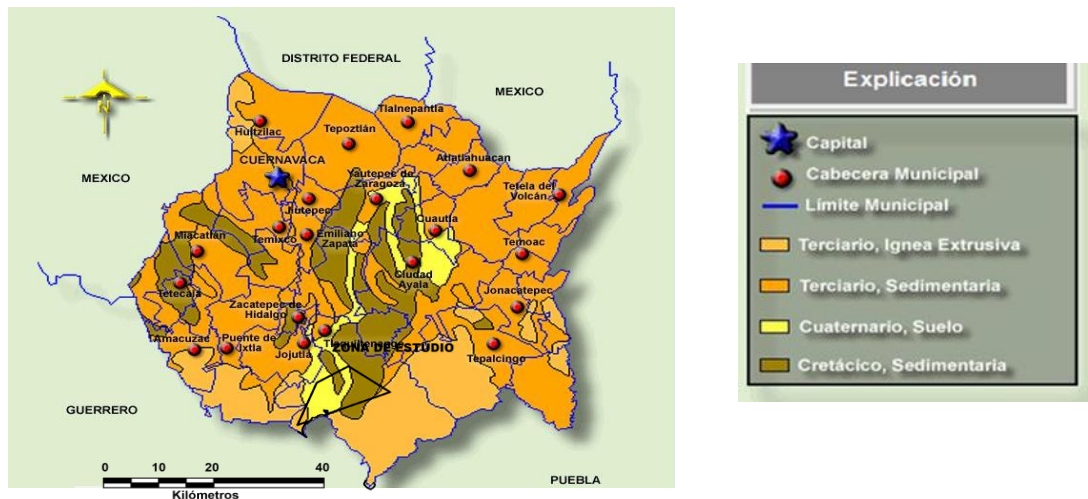


Figura 3.17 Tipos de rocas en el estado de Morelos

(Fuente INEGI. Carta Geológica, 1:1 000 000)

3.4.2. Geología local

En la zona de estudio se identifican nueve unidades de roca que abarcan del período Cretácico Inferior al Reciente; en la columna se observan rocas ígneas intrusivas y extrusivas y afloramientos de rocas sedimentarias marinas y continentales. **Figura 3.18.**

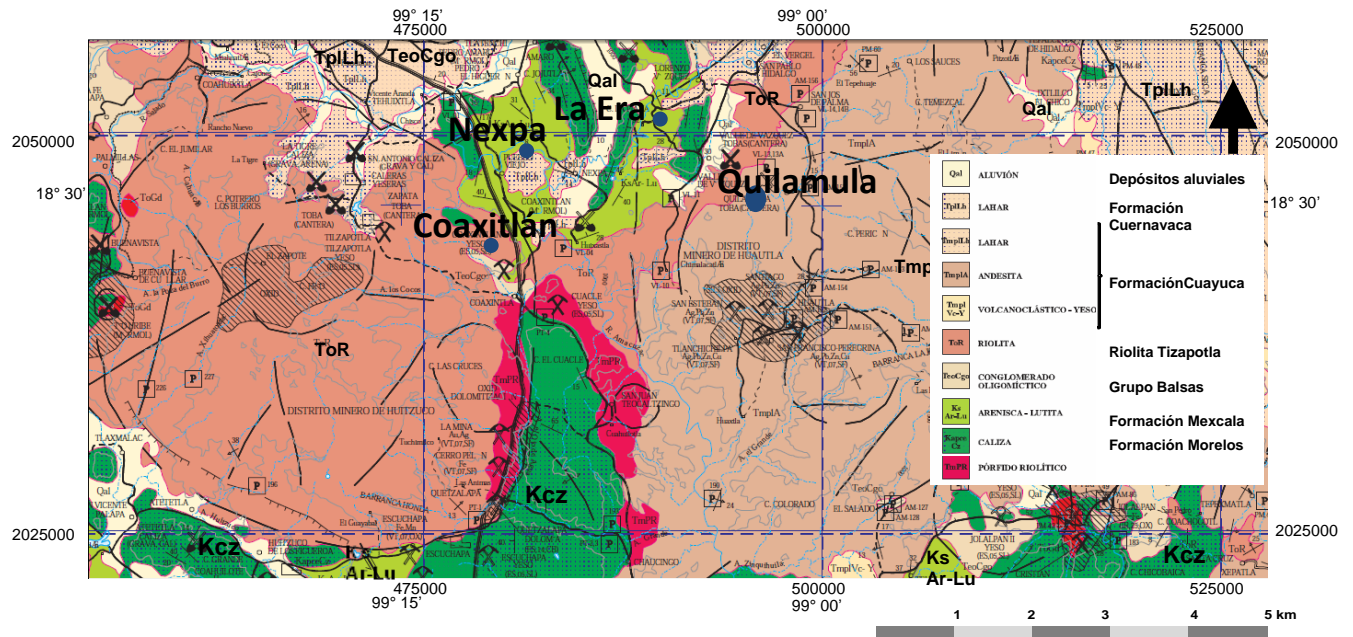


Figura 3.18 Geología de la zona de estudio
(Fuente: SGM Carta geológica minera, Cuernavaca E14-5)

3.4.3. Estratigrafía

La descripción de las unidades se hace de la roca más antigua a la más reciente

- **Formación Morelos** (Fries, 1960) (Kcz).- Serie carbonatada marina del Cretácico Inferior, del Albiano medio al Cenomaniano temprano, sus capas basales están constituidas por estratos delgados de calizas y dolomías con intercalaciones de bandas y nódulos de pedernal, seguidas de potentes capas de calizas fosilíferas (paquetes de cuando menos 900 m); en algunas zonas la capa basal es de anhidrita.
- **Formación Mexcala** (Ks Ar-Lu).- Depósitos mayormente marinos del Cretácico Superior, de finales del Turoniano al Campaniano temprano (Fries, 1960), constituidos por capas interestratificadas de conglomerados de grano fino, areniscas, limolitas y lutitas calcáreas, con escasos lentes de calizas clástica, con un espesor total de más de 1200 m, no queda excluida la posibilidad del origen continental de algunas capas superiores. Sobreyace transicionalmente a la Formación Morelos e infrayace discordantemente a los conglomerados de la Formación Balsas y rocas volcánicas terciarias.

- **Grupo Balsas (Teo Cgo).**- Las inferencias estratigráficas sobre la Fm. Balsas, dan una edad que comprende desde Cretácico Tardío al Oligoceno (Fries, 1960, C'erna et al. 1980, C'erna, 1983), (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 2000), está constituido por enormes cantidades de depósitos clásticos variables desde el conglomerado grueso hasta el lodo fino y evaporitas, limolitas tobáceas con yeso, conglomerados de calizas, yesos lacustres, producto del desagüe endorreico debido a la formación de combamientos anchos y el fallamiento en bloques; con desplazamientos a lo largo de fallas de más de 2000 m, estos depósitos fueron simultáneos a la extravasación de lavas máficas, lo que agregó corrientes lávicas, brecha volcánica y material tobáceo a los detritos erosionados de las rocas cretácicas y más antiguas (Fries, 1960). Las capas más jóvenes de este Grupo, sólo están ligeramente inclinadas. De acuerdo a Morán Zenteno, et al, la proximidad en la edades de la ignimbrita Tilzapotla y de la ignimbrita intercalada entre las dos unidades que forman el Grupo Balsas indica claramente que los episodios iniciales del desarrollo de la caldera fueron contemporáneos con la acumulación del Grupo Balsas. El incremento notable en la granulometría de la unidad superior y la discordancia angular entre ésta y la unidad inferior indican que el desarrollo del domo asociado a la caldera produjo el basculamiento de la unidad inferior y rejuveneció la fuente de los sedimentos incrementando la energía de las corrientes e hizo progradar los depósitos de abanico hacia el noreste.
- **Riolita Tilzapotla (ToR).**- Son rocas de finales del Oligoceno (Fries, 1960) y se integra por afloramientos extensos de brecha tobácea riolítica y corrientes lávicas que sobreyace al Grupo Balsas. En algunos afloramientos la toba riolítica se encuentra muy bien cementada y presenta grano grueso con fragmentos de hasta 30 cm de diámetro; la estratificación es tan gruesa o masiva que difícilmente se distingue en los afloramientos. El espesor máximo de esta unidad es de 250 m. En otras zonas se presentan tobas soldadas desvitrificadas de grano grueso hasta tobas arcillosas de grano fino en capas que tienen algunos centímetros de espesor con espesor total de la unidad de máximo 60 m.
- **Pórfidos Riolíticos (TmPR):** Estos cuerpos subvolcánicos, emplazados en el Terciario Neógeno, intrusionan a todas las formaciones mesozoicas y terciarias descritas anteriormente. Diques, mantos intrusivos y troncos intrusionan a las formaciones cretácicas, al grupo Balsas del terciario inferior y a la riolita Tilzapotla del terciario medio. Estos cuerpos no son contemporáneos del Grupo Chichinautzin, ni están relacionados petrográficamente, de hecho son de edad mayor, indudablemente son de edad terciaria media y tardía y fueron emplazados antes de que se depositaran tanto la Fm Cuernavaca como el Grupo Chichinautzin. (Fries, 1960).
- **Grupo Ixtlilco (Tomi).**- Este grupo está representado por derrames volcánicos con diferentes texturas y con interestratificaciones de tobas híbridas; presenta andesitas y cuarzotraquitas (Werre-Keeman - Ortiz Hernández, 2000). Los principales afloramientos son de riolitas, tobas, aglomerados riolíticos y tobas riodacíticas. (SE, DGPM)
- **Formación Cuayuca (Tmpl VcY, Tm pIA, TmplLh),** (Fries, 1966) se encuentra rellenando cuencas endorreicas, constituida por material arcilloso, horizontes calcáreos y yeso del Mioceno-Plioceno. A nivel nacional es una importante fuente de yeso (Werre-Keeman - Ortiz Hernández, 2000). Los palinomorfos recuperados de la

Fm. Coayuca, parecen indicar que ésta pertenece al Paleogeno y en consecuencia se podría considerar como parte del Grupo Balsas de acuerdo a Fries (1960) (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 2000, 2005),

- **Formación Cuernavaca (TpiLh)** (Fries, 1960). La constitución litológica de esta formación es variada en extremo asemejándose al Grupo Balsas, en la variedad de tipos litológicos
 - Depósitos clásticos transportados por agua, extensos bien expuestos, aflora principalmente en la cuenca hidrológica del río Amacuzac y de sus afluentes. La unidad forma llanuras ligeramente inclinadas de superficie construccional, surcadas en grado variable por valles y arroyos encajonados o en forma de V. Pocas localidades están suficientemente erosionadas para haber perdido los interfluvios construccionales.
 - Presenta lahares cubiertos por materiales basálticos. Materiales clásticos acumulados de finales del Plioceno a principios del Pleistoceno, por el bloqueo del desagüe debido a la acumulación de rocas volcánicas miocénicas de composición intermedia. Contribuyeron los grandes volúmenes de material andesítico arrojados de los centros volcánicos del Nevado de Toluca y del Popocatepetl. Los depósitos clásticos de esta Formación sepultaron mucha de la topografía existente.
- **Depósitos Aluviales Cuaternarios (Qal)** del periodo Holoceno, integrados por depósitos sedimentarios clásticos continentales con menor porcentaje de elementos volcánicos que la Formación Cuernavaca.

3.4.4. Estructuras geológicas

En cuanto a las estructuras geológicas de Morelos, las fuerzas endógenas que plegaron y fallaron las rocas cretácicas del centro de la entidad, deben su origen a la acción de esfuerzos de compresión, que actuaron de oriente a poniente y en sentido contrario, al originarse a profundidad, durante la Orogenia Laramide, movimientos verticales de ascenso y descenso. En el patrón estructural que predomina en el área de estudio, se destacan una serie de pliegues que presentan gran similitud con los plegamientos de la Sierra Madre Oriental. Los anticlinales son de aspecto alargado, generalmente asimétricos, con los ejes orientados norte-sur o noroeste-sureste; corresponden a las sierras de constitución calcárea cretácica. Los valles coinciden con los sinclinales alargados, angostos y fuertemente asimétricos. **Figura 3.19.**

El fracturamiento de la corteza terrestre es mayor en las sierras de Huautla y San Gabriel, en el sur de Morelos. La falla antigua más larga es la de Jojutla, que atraviesa la parte sur-central de la entidad, con rumbo noreste suroeste.

Las geoformas más relacionadas con fallas y fracturas son los conos cineríticos, de los cuales en Morelos hay 73 visibles; el Popocatepetl presenta actividad.

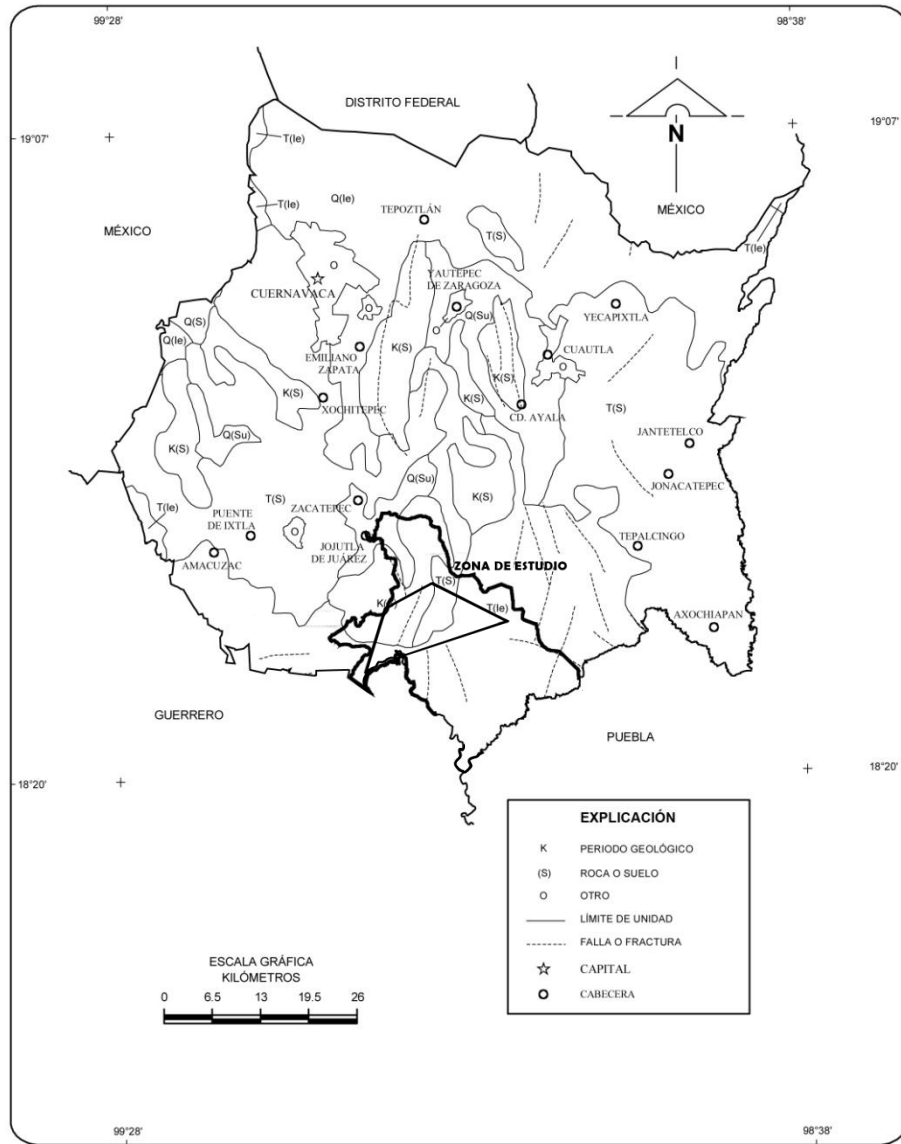


Figura 3.19. Estructuras geológicas
(Fuente: Anuario estadístico de Morelos, INEGI, 2005)

3.4.5. Geología por comunidad

3.4.5.1 Geología de Coaxitlán

De acuerdo al mapa de la **Figura 3.20** la comunidad de Coaxitlán se encuentra ubicada principalmente sobre material ígneo tanto intrusivo como intrusivo que descansa sobre un sustrato sedimentario marino.

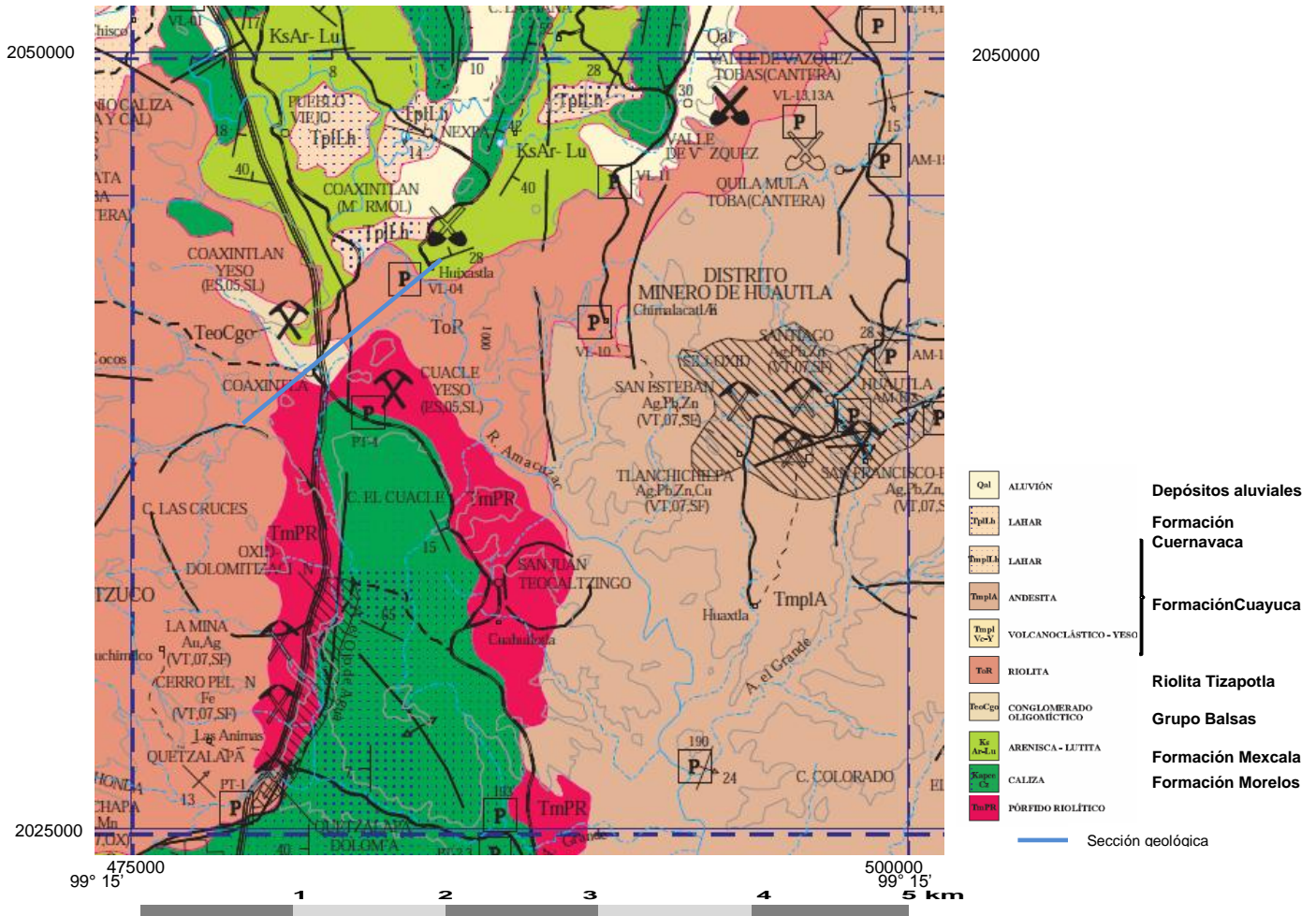


Figura 3.20 Geología de Coaxitlán
(Fuente: Hoja Cuernavaca E15, Servicio Geológico Mexicano)

3.4.5.2 Geología de la Era

De acuerdo al mapa de la **Figura 3.21** la comunidad de La Era se encuentra ubicada principalmente sobre material sedimentario específicamente se encuentra en una zona de lutitas-areniscas y calizas, observables incluso en superficie.

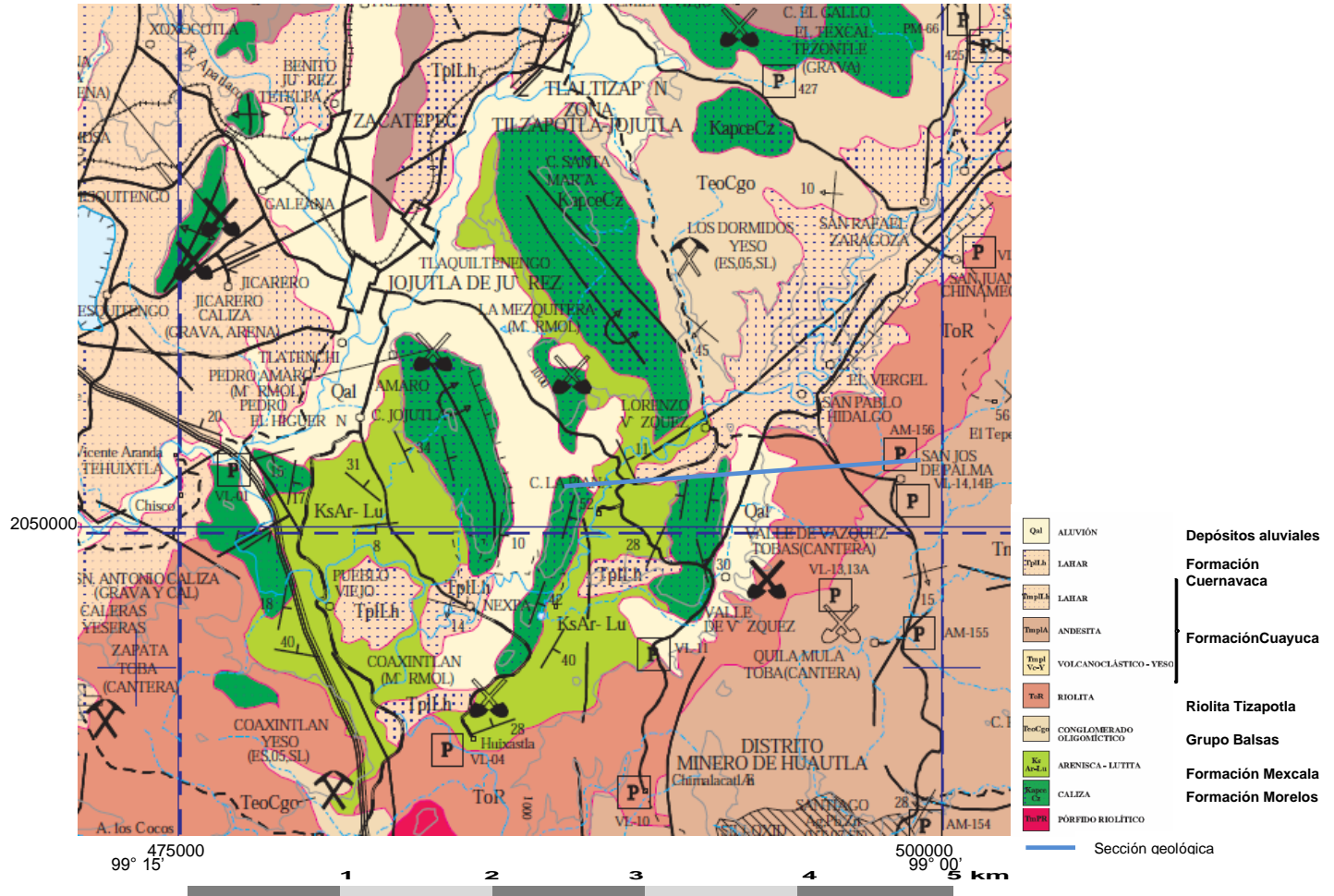


Figura 3.21 Geología de La Era
(Fuente: Hoja Cuernavaca E15, Servicio Geológico Mexicano)

3.4.5.3 Geología de Nexpa

De acuerdo al mapa de la **Figura 3.22** la comunidad de Nexpa se encuentra ubicada principalmente sobre material ígneo del tipo de la Riolita.

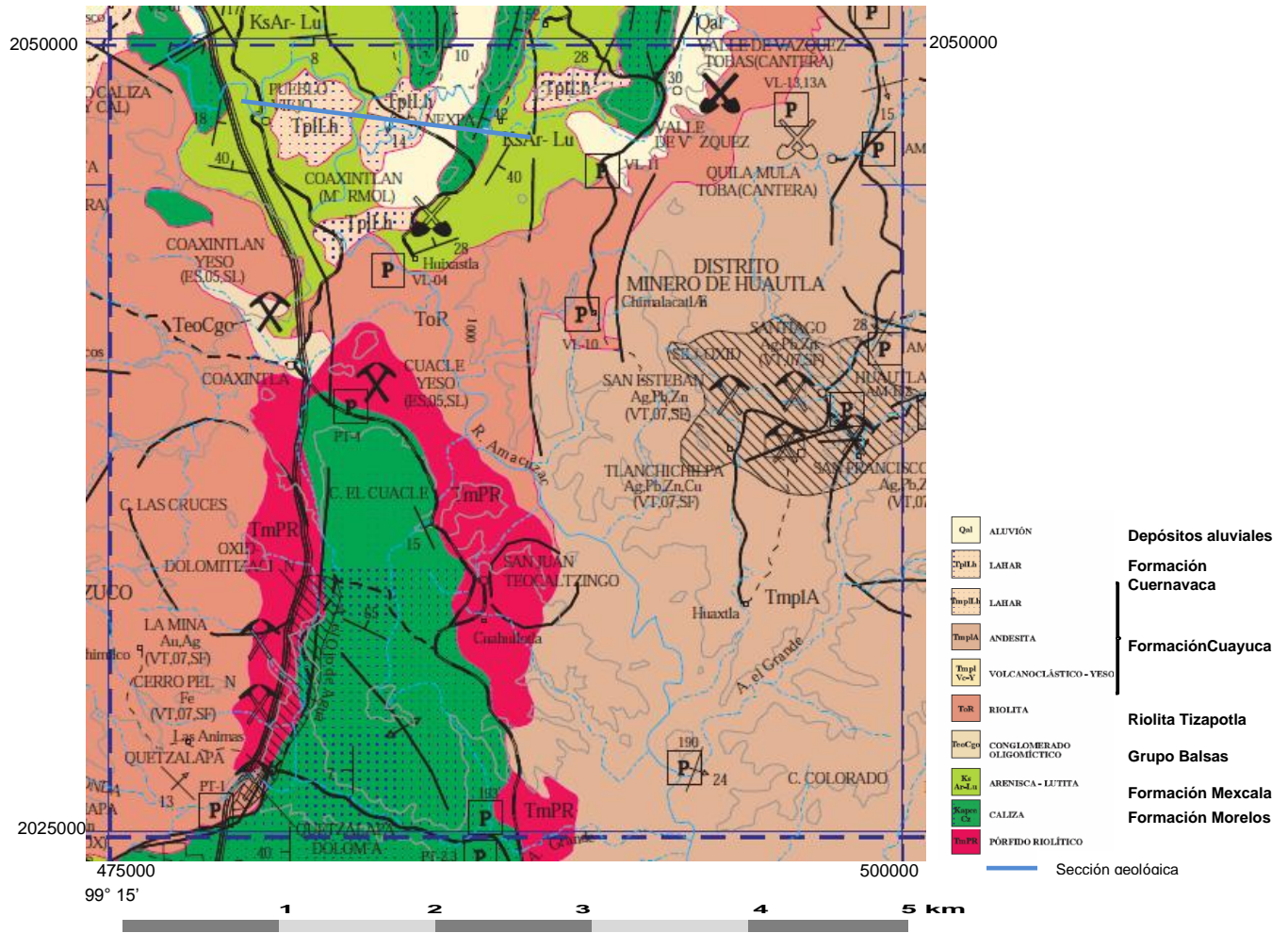


Figura 3.22 Geología de Nexpa 99° 00'
(Fuente: Hoja Cuernavaca E15, Servicio Geológico Mexicano)

3.4.5.4 Geología de Quilamula

De acuerdo al mapa de la **Figura 3.23** Quilamula se encuentra ubicada principalmente sobre material ígneo específicamente en una zona de andesitas terciarias.

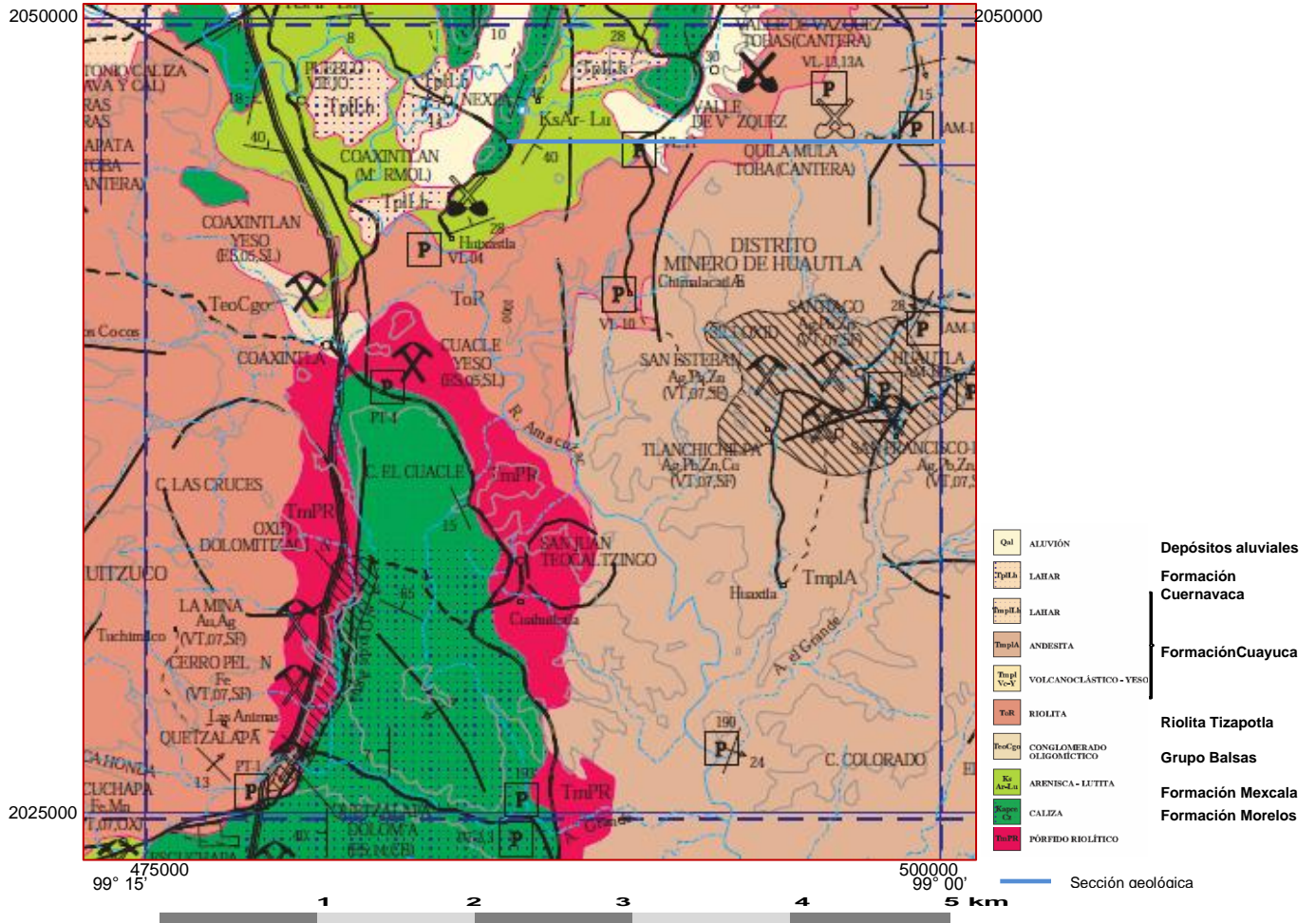


Figura 3.23 Geología de Quilamula
(Fuente: Hoja Cuernavaca E15, Servicio Geológico Mexicano)

3.4.6. Geología del subsuelo

Con el objeto de tener una idea de las condiciones que se pueden presentar en el subsuelo, se elaboraron, con base en plano geológico regional, cuatro secciones geológicas esquemáticas, las cuales se interpretaron y son la base para la correlación geológico – geofísico. Se interpreta que las unidades sedimentarias presentan una gran deformación producto de la presencia de un intrusivo riolítico, el cual generó también una gran mineralización. De hecho, previo a la declaratoria de reserva natural protegida, en la Sierra de Huautla se explotaban minas, principalmente de oro. El las **figuras 3.24 a 3.27** se presentan las secciones geológicas esquemáticas.

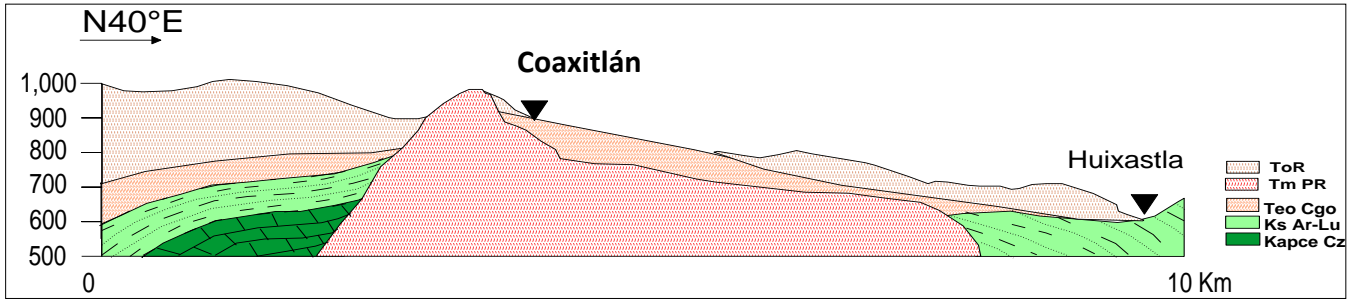


Figura 3.24 Sección geológica esquemática Coaxitlán

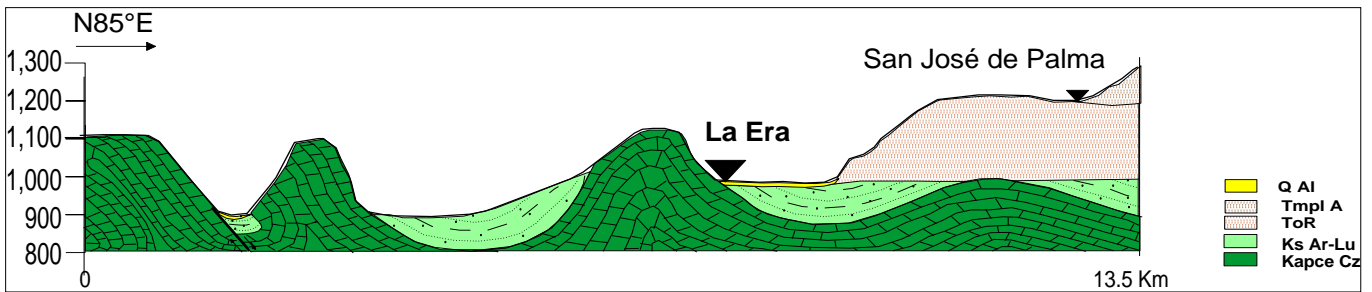


Figura 3.25. Sección geológica esquemática La Era

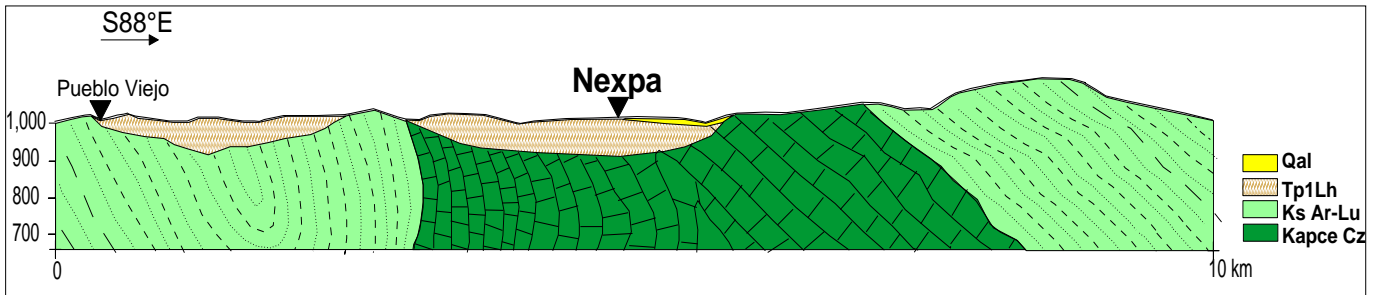


Figura 3.26 Sección geológica esquemática de Nexpa

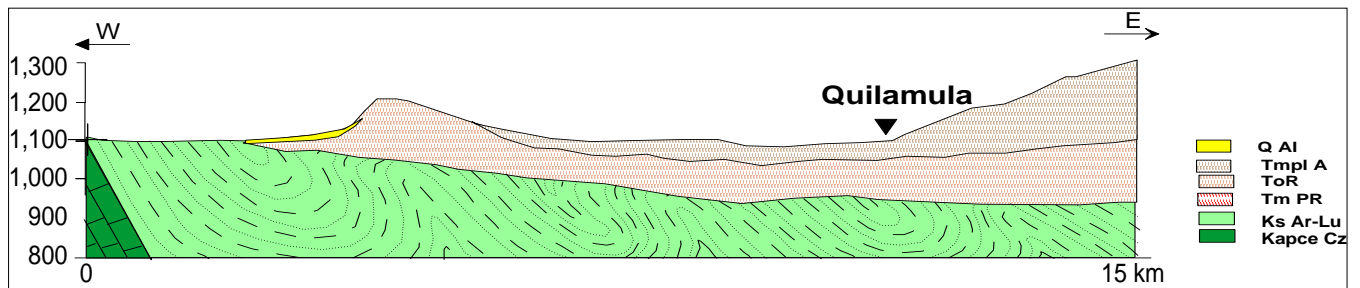


Figura 3.27 Sección geológica esquemática de Quilamula

Con base en los valores de resistividad que se obtengan con la exploración geofísica, se determinará si estas unidades están presentes y, de ser el caso, se conocerá el espesor de las mismas.

3.5. Exploración geofísica

Para conocer las características del subsuelo a una profundidad del orden de los 400 m, se propuso la ejecución de tres sondeos TEMs con bobina coincidente de 150x150 m, en cada una de las comunidades que integran el presente trabajo.

3.5.1 Fundamentos del sondeo transitorio electromagnético (TEM)

En la década de los ochenta inició el desarrollo de este método, el cual se basa en los fenómenos de relajación o transición que se generan en el terreno, cuando se elimina o anula un campo eléctrico artificialmente inducido, **Figura 3.28**.

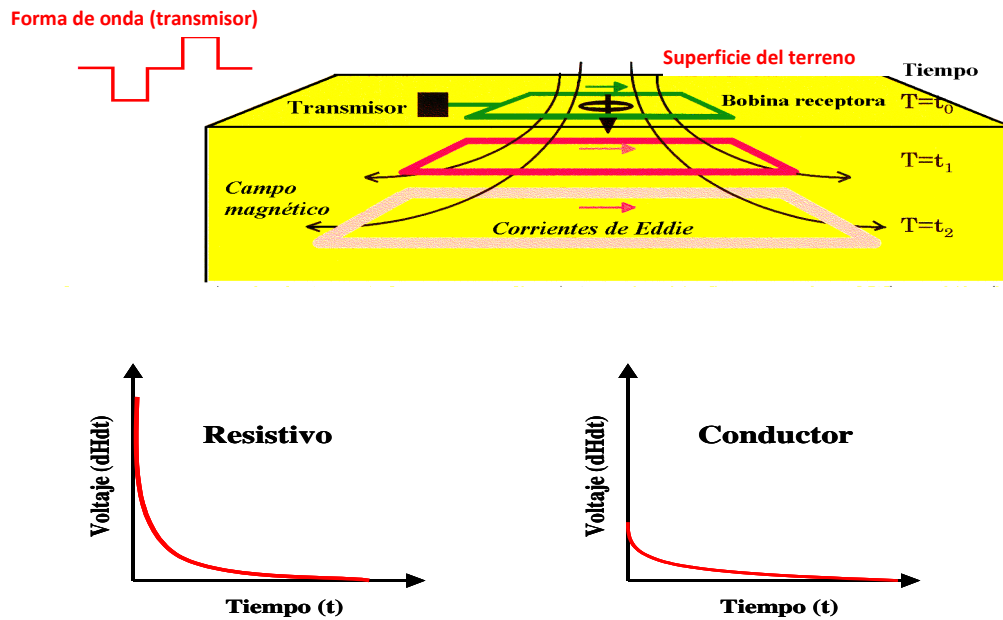


Figura 3.28 Principios del sondeo electromagnético TEM

La señal que normalmente se induce es de tipo escalón **Figura 3.29**, a través de un emisor o generador del campo electromagnético, que consiste en un circuito en forma de cuadrado, por el que se hace pasar la señal. Al interrumpir la corriente se origina un campo magnético, que se amortigua y desaparece rápidamente. El receptor (bobina) está formado por el mismo circuito primario que origina el campo.

La rápida variación del campo magnético creado al interrumpir el paso de la corriente, origina voltajes variables con el tiempo en el circuito o bobina del receptor. El proceso se repite varias veces, almacenando las medidas con un procedimiento acumulativo, que destaca los voltajes creados y tiende a anular el ruido de fondo de la zona. Terminado el proceso, el equipo facilita las mediciones de los potenciales medidos, así como el registro de la curva del potencial, ambos en función del tiempo.

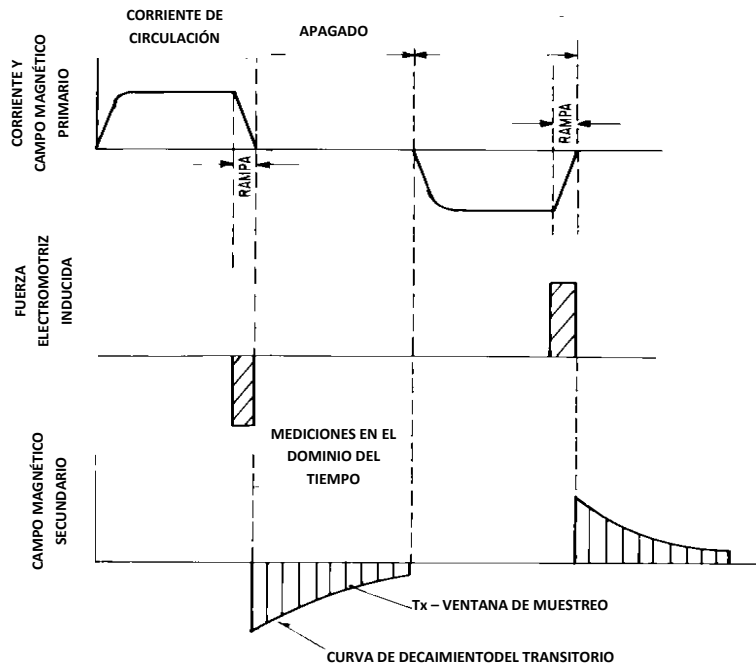


Figura 3.29 Tipo de señales para el transitorio electromagnético en el dominio del tiempo

La ecuación para obtener la resistividad aparente para el arreglo propuesto, bobina coincidente (*coincident loop*), está dada de la siguiente forma:

$$Ra = 6.32 \times 10^{-12} \times b^{8/3} \times (V/I)^{-2/3} \times t^{-5/3}$$

Dónde:

- Ra resistividad aparente (ohm-m)
- b longitud del lado de la bobina (m)
- V/I medición transitoria (volts/amp)
- t tiempo de decaimiento a partir de la interrupción

Debido a la gran resolución vertical que se tiene con esta técnica, es posible obtener una imagen lo más real posible de las condiciones del subsuelo. En las secciones del subsuelo es posible observar las heterogeneidades (zonas anómalas) debidas a estructuras geológicas, cambios de facies y fracturamiento de la roca, donde además, la presencia del agua influye en el valor medido, provocando cambios importantes en la resistividad, que para el caso de este estudio, es el parámetro experimental de campo que se mide.

En el proceso de los datos para la información electromagnética, se siguieron los estándares internacionales que se aplican para este fin, utilizando *software* y equipos con patente, como:

- Equipo *Sirotem* MK3 con número de serie 3259.
- Programa *Temixs* para el proceso primario de los datos.
- Programa *Winglink* para utilizarlo como base de datos y formar secciones y mapas de resistividad.

El análisis de la información consiste en obtener, para cada sitio, un modelo unidimensional. Para ello, se parte de la curva de resistividad aparente, la cual se procesa en una primera etapa mediante el modelado por capas planas, siguiendo el método clásico de prueba y error, en el que se propone un cierto número de capas que dependen de las inflexiones de las curvas y los tiempos en los que ocurren las inflexiones. Una segunda etapa en el proceso de la curva de resistividad aparente es aplicar una regresión tipo *Occam* con lo cual se logra obtener un modelo multicapas (19 capas), para integrar secciones y simular un comportamiento bidimensional de la sección. En la **Figura 3.30** se describe el proceso de la adquisición y procesamiento de la información y en la **Figura 3.31** se muestra la forma en que se presenta la información procesada.

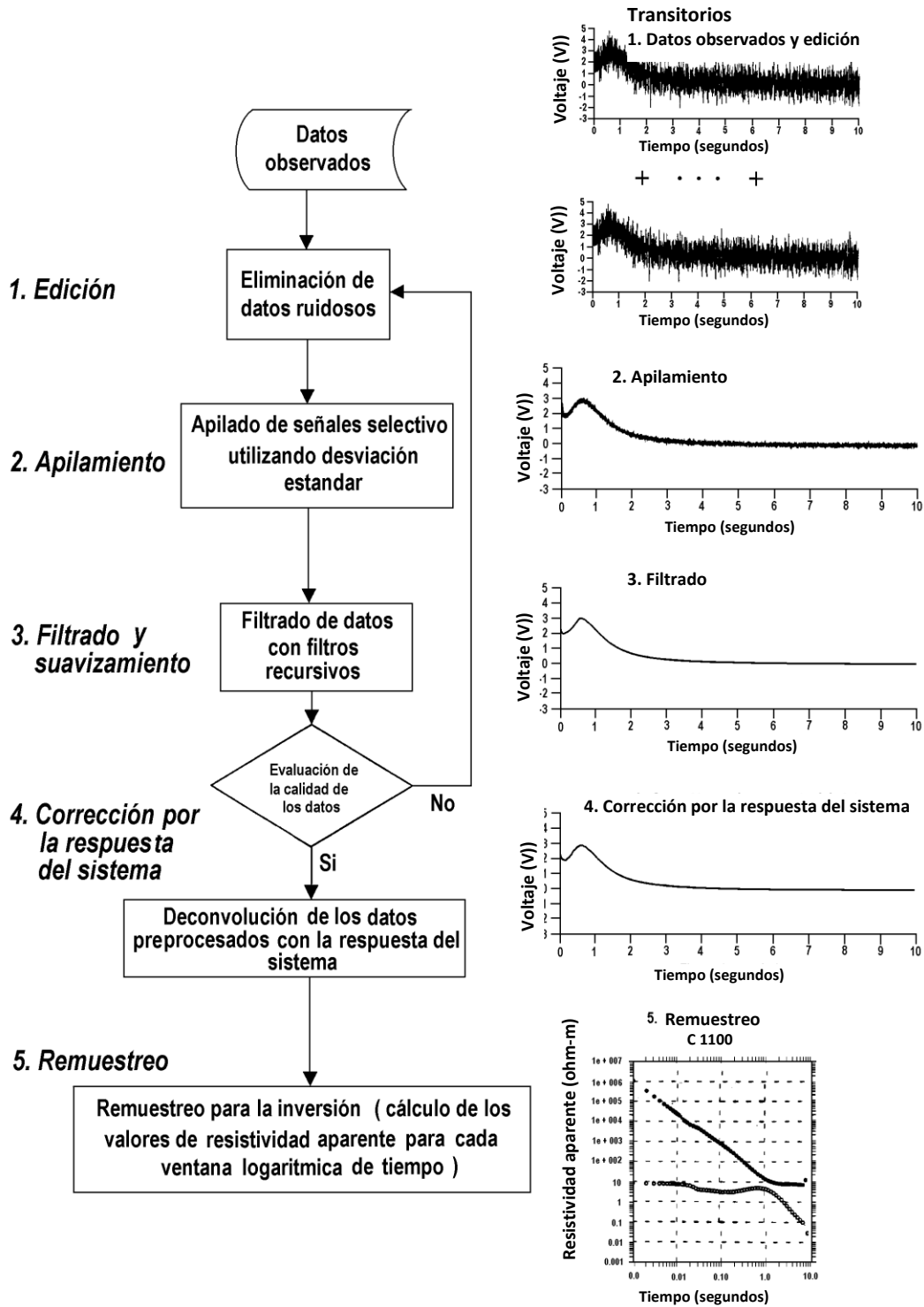


Figura 3.30. Diagrama de flujo del procesamiento de datos TEM

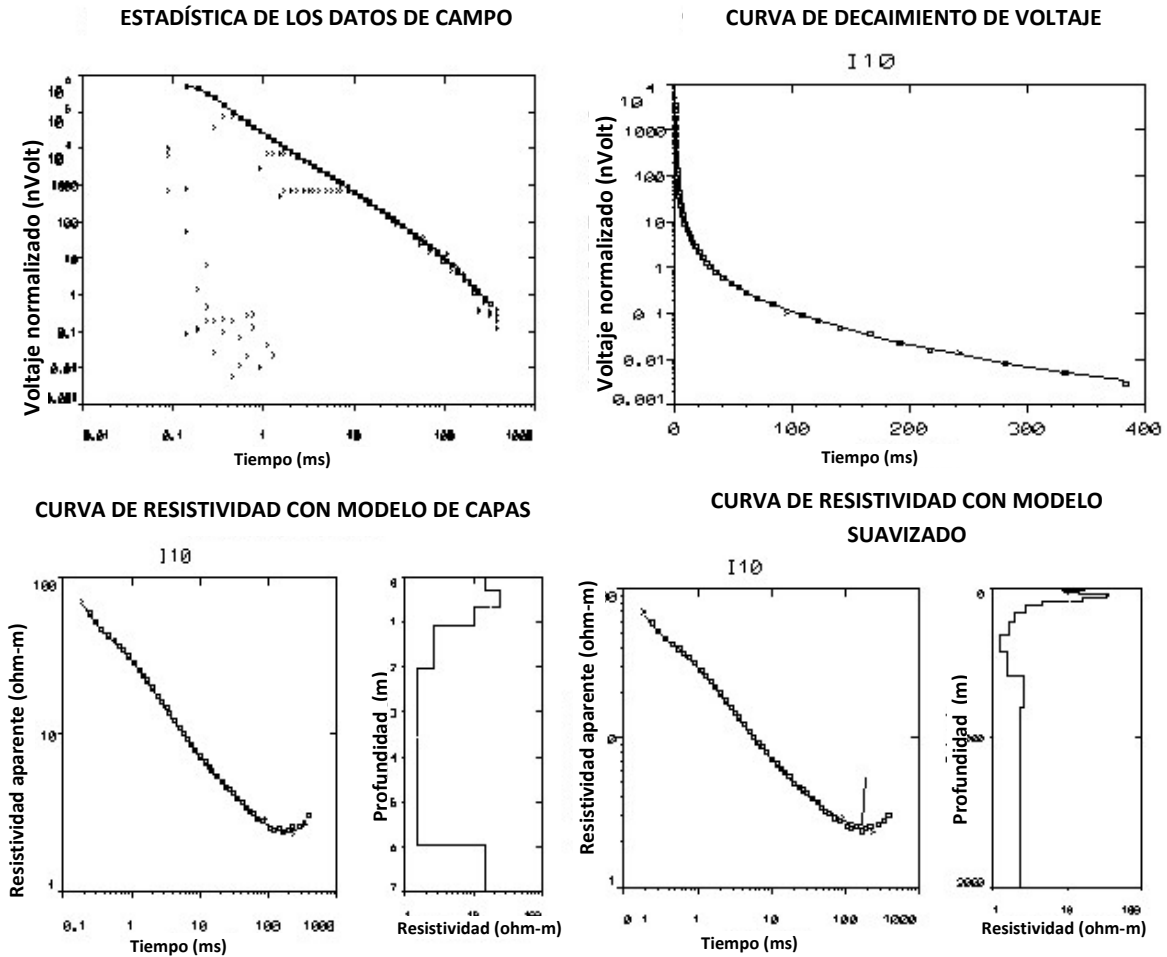


Figura 3.31. Presentación de resultados

- Modelo suavizado

El procesamiento de los datos electromagnéticos consistió en obtener los modelos suavizados mediante una regresión tipo *Occam*, en la que se proponen dos resistividades: inicial y final, basadas en los datos de campo.

El algoritmo requiere de un número de capas inicial, un valor de ajuste al que se quiere llegar y un número máximo de iteraciones; estos tres parámetros no intervienen en la obtención del modelo suavizado, por lo que éste sólo depende de los valores de resistividad de campo. El resultado de los modelos se identifica en los perfiles de resistividad.

- Modelo unidimensional

Los datos también fueron procesados por el modelado por capas o unidimensional, éste se hizo siguiendo el método clásico de prueba y error, en el que se propuso un cierto número de capas, dependiendo de las inflexiones de la curva de campo, las pendientes de la curva y los tiempos a los que ocurren las inflexiones.

Este proceso posibilita al intérprete a modificar los parámetros del modelo y presenta el cálculo de las curvas teóricas de las modificaciones realizadas, esta característica hace que el ajuste del modelo sea rápido.

Una vez que se ha obtenido un ajuste aceptable, el modelo generado se somete a una regresión automática con las técnicas de *Ridge* y de *Marquardt* con algoritmos de aproximación de tipo *Anderson* para obtener, por inversión, el mejor ajuste bajo el criterio del error cuadrático medio mínimo.

Los modelos obtenidos, fueron sometidos a un nuevo proceso para obtener una serie de modelos equivalentes que cumplieran con el mismo error de ajuste. Estos modelos equivalentes posibilitan establecer el intervalo de variación de los espesores y resistividades en cada capa del modelo original con fines de correlación electrostratigráfica. El resultado de los cortes geoeléctricos unidimensionales se identifica en los perfiles de resistividad.

3.5.2 Método de trabajo en campo y adquisición de datos

En el período de pruebas de campo se cumplió con lo siguiente:

- Pruebas del funcionamiento del equipo.
- Pruebas de la resistividad del circuito de transmisión y recepción.
- Análisis de la intensidad de corriente circulante de emisión.
- Análisis del ruido y respuesta del equipo con diferentes ganancias.
- Análisis de la penetración de la señal en el subsuelo (profundidad de investigación).
- Análisis de la repetitividad de la respuesta medida por el equipo.
- Determinación de los parámetros de registro a utilizar.

Las pruebas y análisis anteriores se hicieron en sitios diferentes, repartidos en el área de estudio de tal manera que fueran representativos de las condiciones generales esperadas. Estas pruebas dieron como resultado que el arreglo denominado bobina coincidente cumpliera con las especificaciones establecidas en el contrato, usando un tendido de 150x 150m, para garantizar una resistencia de 2.6 Ohms en todo el tendido y una intensidad de corriente que varió entre 7 y 7.5 Amperes.

El tiempo de medición se fijó entre 47 y 49 ventanas, con la serie de tiempo denominada *Early Time*, del equipo *Sirotem*. Las mediciones se realizaron con ganancias de 0.1, 1, 10 y 100, y se efectuaron por lo menos dos lecturas para cada ganancia, si las condiciones del sitio lo permitían para incrementar la calidad de la estadística.

El cable utilizado en la construcción de las bobinas es de fabricación canadiense de calibre 10 y cuenta con 100 hilos, se preparó para su transporte en dos carretes de 300 m cada uno, de esta forma se facilitó el tendido de cable en el terreno para formar las bobinas propuestas.

Se utilizó un geoposicionador tipo GPS de mano marca *Garmin* con un error de ± 5 m. El área de estudio está comprendida geográficamente en la zona UTM 13. El datum utilizado fue el WGS84 que corresponde directamente con el sistema ITRF92 utilizado por INEGI.

3.5.3. Características del equipo de medición *Sirotem*

- Equipo transmisor/receptor: *Sirotem* MK3. **Figura 3.32**
- Sistema de registro: 400 registros por minuto.
- Número de ventanas de medición: 53 en tres series de tiempo con inicio y final seleccionables.
- Intervalo de medición: 53 en tres series de tiempo.
- Señal promediada: 1-9999 escalones (seleccionables).
- Retardo inicial: 0 – 9999 microsegundos (seleccionables).
- Filtros: 50/60 Hz y 4 polos pasivos antialias.
- Pantallas en campo: valores normalizados en ventana y resistividad aparente en formato de texto o gráfico.
- Peso: 7Kg.



Figura 3.32. Equipo *Sirotem* utilizado para el estudio

3.5.4. Localización de los TEMs

Con base en un levantamiento de 12 sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo, tres en cada comunidad, **Tabla 3.7** y **Figuras 3.33 a 3.37**, se definió la geometría del subsuelo identificando el espesor del material susceptible de contener agua y el contacto con la lutita-caliza.

Tabla 3.7 Localización de los TEMs

Comunidad	Sondeo	X	Y	Elevación
Coaxitlán	C-1	480314.882	2040302.97	852
	C-2	480701.048	2039736.58	834
	C-3	481197.294	2040048.63	802
La Era	E-1	490059.726	2049999.78	929
	E-2	489357.907	2050592.64	873
	E-3	488556.568	2050832.22	839
Nexpa	N-1	484781.858	2048226.80	812
	N-2	484361.334	2047920.93	815
	N-3	484162.483	2047219.18	795
Quilamula	M-1	497954.144	2046582.51	1076
	M-2	498403.718	2046677.19	1074
	M-3	497722.117	2046710.67	1072



Figura 3.33 Localización de los TEM
(Imagen tomada de Google Earth, 2010)



Figura 3.34. Localización de los TEMs en la localidad de Coaxitlán
(Imagen tomada de Google Earth, 2010)



Figura 3.35 Localización de los TEMs en la localidad de La Era
(Imagen tomada de Google Earth, 2010)



Figura 3.36 Localización de los TEMs en la localidad de Nexpa
(Imagen tomada de Google Earth, 2010)



Figura 3.37. Localización de los TEMs en la localidad de Quilamula
(Imagen tomada de Google Earth, 2010)

3.5.5 Interpretación

La metodología para la interpretación de los TEMs involucró la generación de cuatro perfiles de resistividad y cuatro secciones con corte geoelectrico aplicando el modelo unidimensional **anexo 2.**, uno para cada comunidad.

El procesamiento de la información se realizó con software *Temix*, *Winglink* y *Surfer 8*. Los resultados del procesamiento se presentan en el **anexo1** y en el **anexo 3**, la memoria fotográfica.

Para el modelo unidimensional y el modelo de capas, se unificó el criterio de interpretación, se identificaron siete unidades geoelectricas, que por los valores de resistividad y su posición las caracterizan. Cabe aclarar que no en todas las zonas se presentan las mismas unidades. En la **tabla 3.8** se describe su comportamiento general y su asociación con la geología del subsuelo.

Tabla 3.8. Corte geoelectrico del comportamiento general de las zonas estudiadas

Unidad geoelectrica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Comunidad donde se presenta	Descripción
A	7	6	Coaxitlán	Unidad geoelectrica con resistividad baja se presenta como capa superficial únicamente en una localidad
A1	37-127 60-64 51-65	20-30 35 50	Quilamula Nexpa La Era	Unidad con resistividad variable de media a alta se presenta como capa superficial
B	16-33 22-44 24-35 17-37	10-30 10-90 10-30 10-25	Quilamula Nexpa La Era Coaxitlán	Unidad con resistividad media, sólo en una comunidad se presenta en forma discontinua, aparece en algunas zonas como capa superficial
C	3-13	30-60	Coaxitlán	Unidad con resistividad baja sólo se presenta en una comunidad, en una capa continua
D	34-58 30-47 31	40-50 30-80 125	Quilamula La Era Coaxitlán	Unidad con resistividad media a alta se presenta en forma continua en dos comunidades y en una en contacto lateral con la unidad F
E	21-25 17 13-24 12	60-150 20 30-55 115	Quilamula Nexpa La Era Coaxitlán	Unidad con resistividad media a baja no se presenta de manera continua en todos los perfiles
F	62-660	Última capa	Quilamula Nexpa La Era Coaxitlán	Unidad que tiende a ser de alta resistividad, aunque se identifican valores contrastantes de baja resistividad, posiblemente asociado a ruido de la señal en la última capa

3.5.5.1. Perfiles de resistividad

Se integraron cuatro perfiles de resistividad con una profundidad de investigación del orden de los 400 m.

- **Perfil de resistividad Coaxitlán**

Integrado por tres TEMs con una longitud de 1,270 m, una dirección preferencial SE-NE y una profundidad de investigación de 400 m. **Figura 3.38.**

Se identifican valores de resistividad de 7 a más 120 ohm-m. Los valores más altos se identifican a profundidad, en los TEMs C-2 y C3 están a menor profundidad con respecto al TEM C1, dando la apariencia de un posible movimiento de los cuerpos, asociado a una falla geológica.

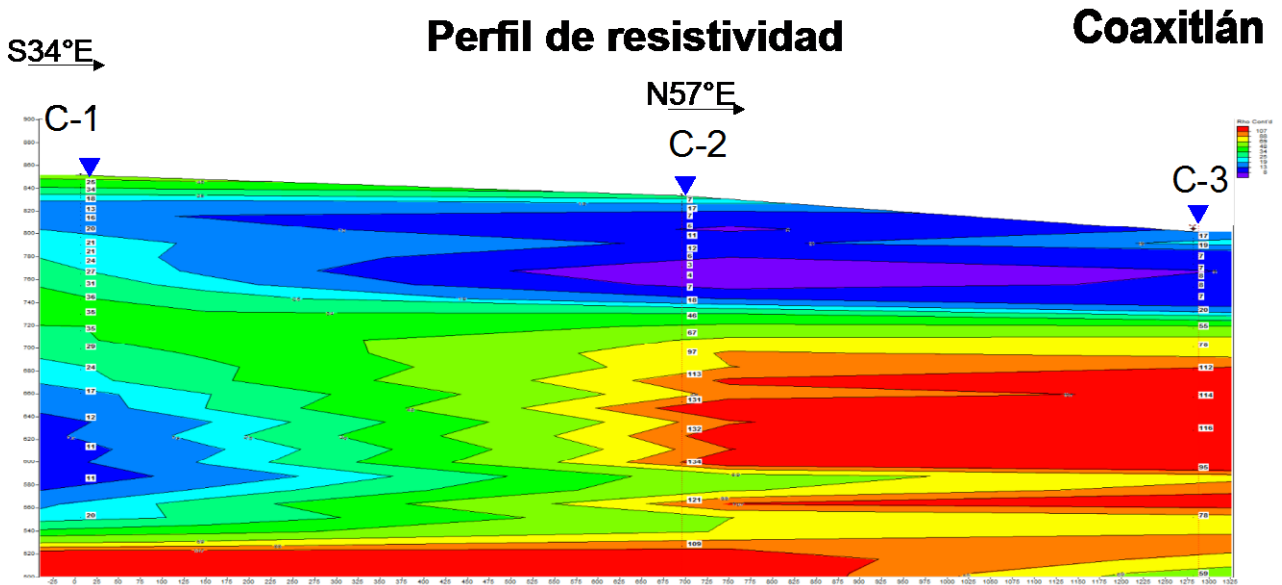


Figura 3.38. Perfil de resistividad de la comunidad de Coaxitlán

- **Perfil de resistividad La Era**

Integrado por tres TEMs con una longitud de 1,780 m, una dirección preferencial hacia el SE y una profundidad de investigación de hasta 400 m. **Figura 3.39.**

Se identifican valores de resistividad de 20 a los 80 ohm-m. Los más altos se identifican bajo el TEM E-3 entre los 120 y 220 m, En el TEM E-1, superficialmente se identifica un cuerpo de 60 ohm-m y espesor de 40 m. debajo los valores disminuyen hasta la profundidad de 160 m. En forma general se identifica que debajo de los 160 m aparece un cuerpo con valor de resistividad con tendencia a la alza. En este perfil las curvas de resistividad se presentan horizontales.

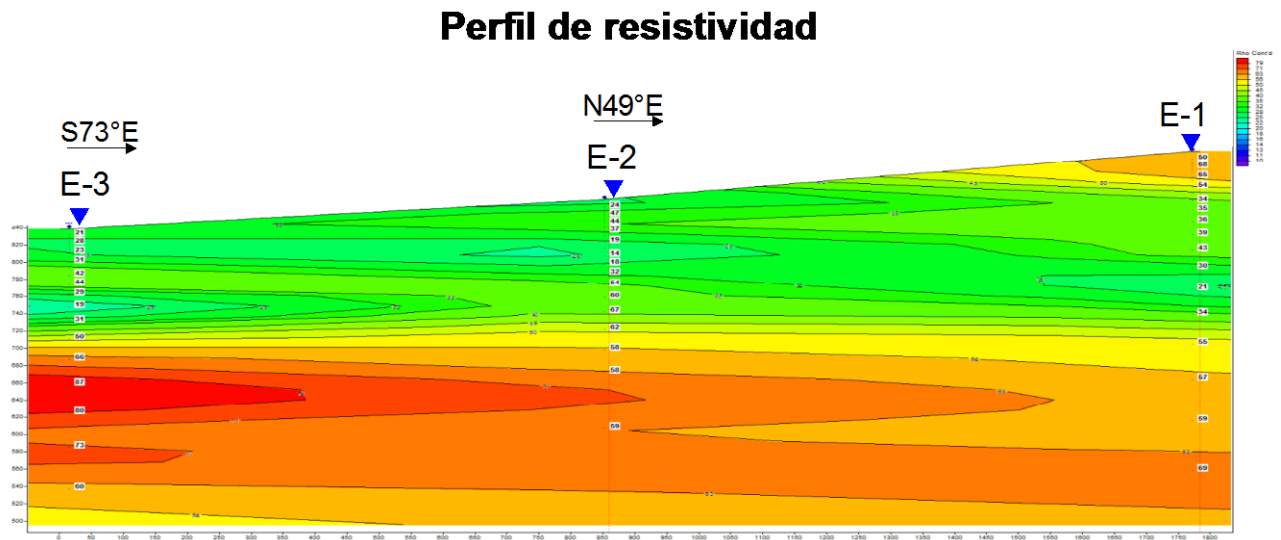


Figura 3.39. Perfil de resistividad de la comunidad La Era

- **Perfil de resistividad Nexpa**

Integrado por tres TEMs con una longitud de 1,275 m, una dirección preferencial SW y una profundidad de investigación de hasta 350 m. **Figura 3.40.**

Se identifican valores de resistividad de 9 a más de 892 ohm-m. Los valores más altos se identifican bajo el TEM N-3 entre la profundidad de 50 y 130 m, debajo de este valor se identifica un cuerpo de muy baja resistividad, 9 Ohm-m, con un espesor de 120 m y después el valor tiende a incrementarse. Bajo el TEM N-2 se presenta el mismo comportamiento del TEM anterior sólo que el cuerpo de alta resistividad disminuye su valor. Y bajo el TEM N-1 se presentan en forma general valores de resistividad media identificándose dos cuerpos contrastantes.

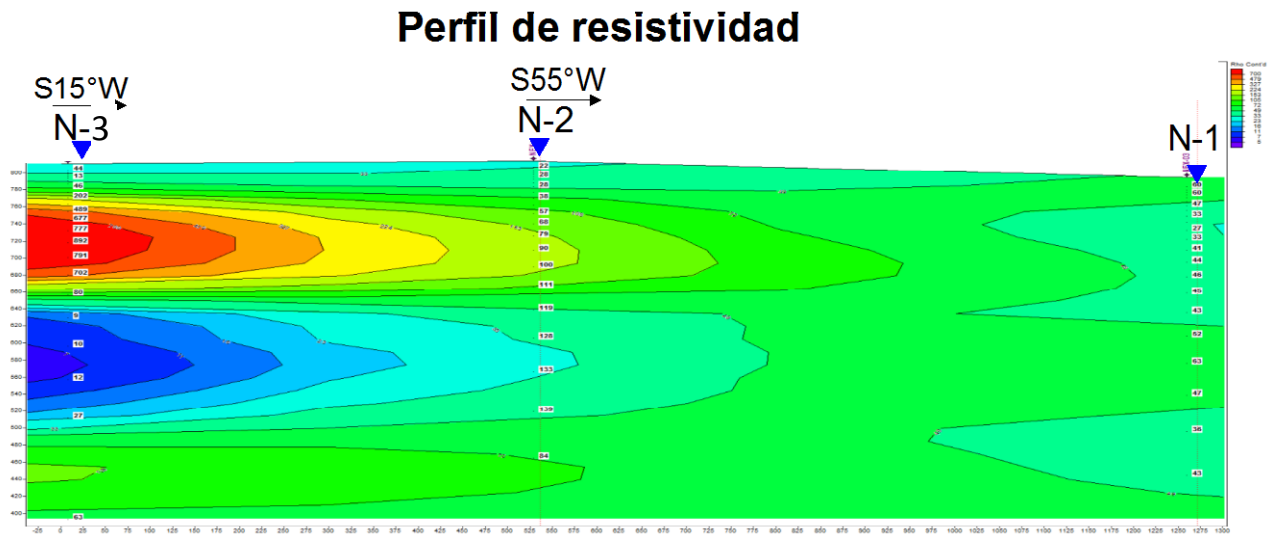


Figura 3.40. Perfil de resistividad de la comunidad de Nexpa

- **Perfil de resistividad Quilamula**

Integrado por tres TEMs con una longitud de 740 m, con una dirección preferencial SE a NE y una profundidad de investigación de 350 m. **Figura 3.41.**

Se identifican valores de resistividad de 20 a 160 ohm-m. Superficialmente bajo el TEM M-3 aparece un cuerpo de alta resistividad con un espesor de 20 m; bajo este mismo sondeo se presentan valores contrastantes de resistividad de media a baja, hasta una profundidad de 300 m, de ahí a mayor profundidad los valores tienden a incrementarse. Bajo el Sondeo M-1, debajo de los 150 m aparece un cuerpo de alta resistividad. Bajo el sondeo M-2 se presentan valores de baja resistividad hasta la profundidad de 160 m, hacia abajo tienden a incrementarse.

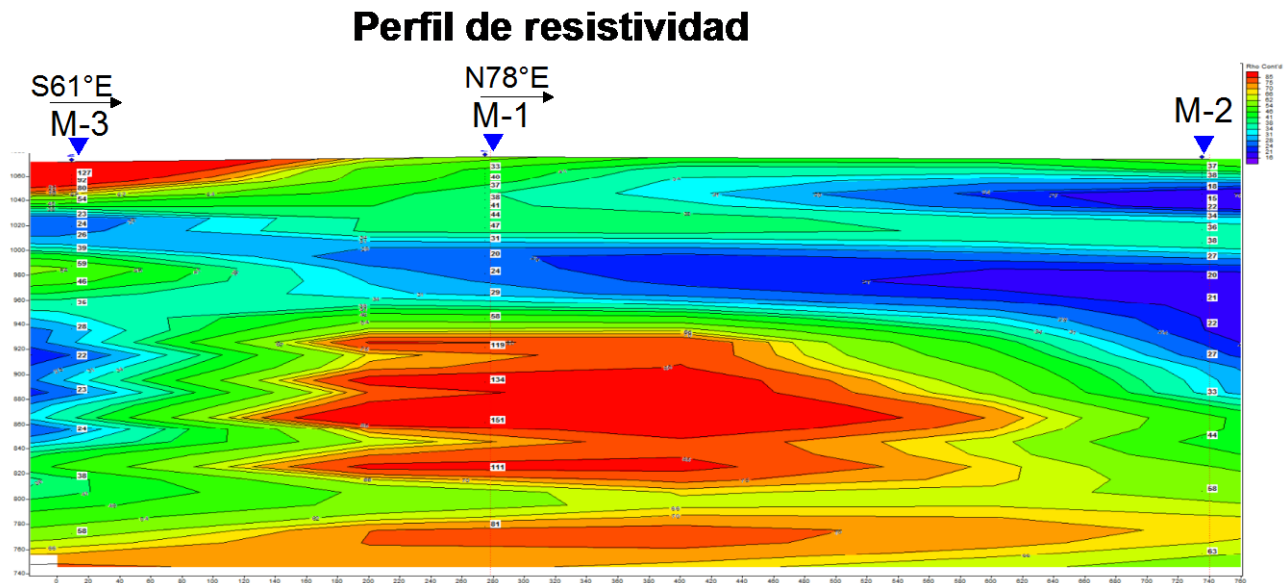


Figura 3.41. Perfil de resistividad de la comunidad de Quilamula

3.5.5.2. Secciones geoelectricas

Con el objeto de identificar las unidades geoelectricas presentes en el subsuelo y correlacionarlas con las unidades geológicas, se elaboraron cuatro secciones tomando como base los perfiles de resistividad y los resultados de los modelos unidimensionales de cada TEM.

- **Sección geoelectrica Coaxitlán**

Se interpretaron seis unidades geoelectricas, la última se identifica a los 70 m bajo el TEM C-3 y bajo el TEM C-1 a los 300 m, lo que da la idea de una posible falla geológica entre el TEM C-2 y el C-1, con el bloque caído en el C-1.

La unidad A se presenta en forma discontinua con espesor de 5 m y resistividad de 7 Ohm-m; sólo se presenta bajo el TEM C-2. La unidad B se presenta en forma continua con espesor de 10 a 40 m y resistividad de 17 a 43 Ohm-m, se presenta como capa superficial en los TEMs C-1 y C-3. La unidad C se presenta en forma continua con su mayor espesor bajo el TEM C-3, 50 m, y con resistividad de 3 a 13 Ohm-m. La unidad D se presenta en forma discontinua únicamente en el TEM C-1, con espesor de 125 m y resistividad de 31 Ohm-m, está en contacto lateral con la unidad F. La unidad E con resistividad media a baja se presenta en forma discontinua con valor de resistividad de 12 y espesor de 115 m; también se presenta en contacto lateral con la unidad F. Y por último la unidad F, con valores de resistividad que tiende a incrementarse con la profundidad. En la **Tabla 3.8** se describieron las unidades geoelectricas y en la **figura 3.42** se muestra la geometría del subsuelo.

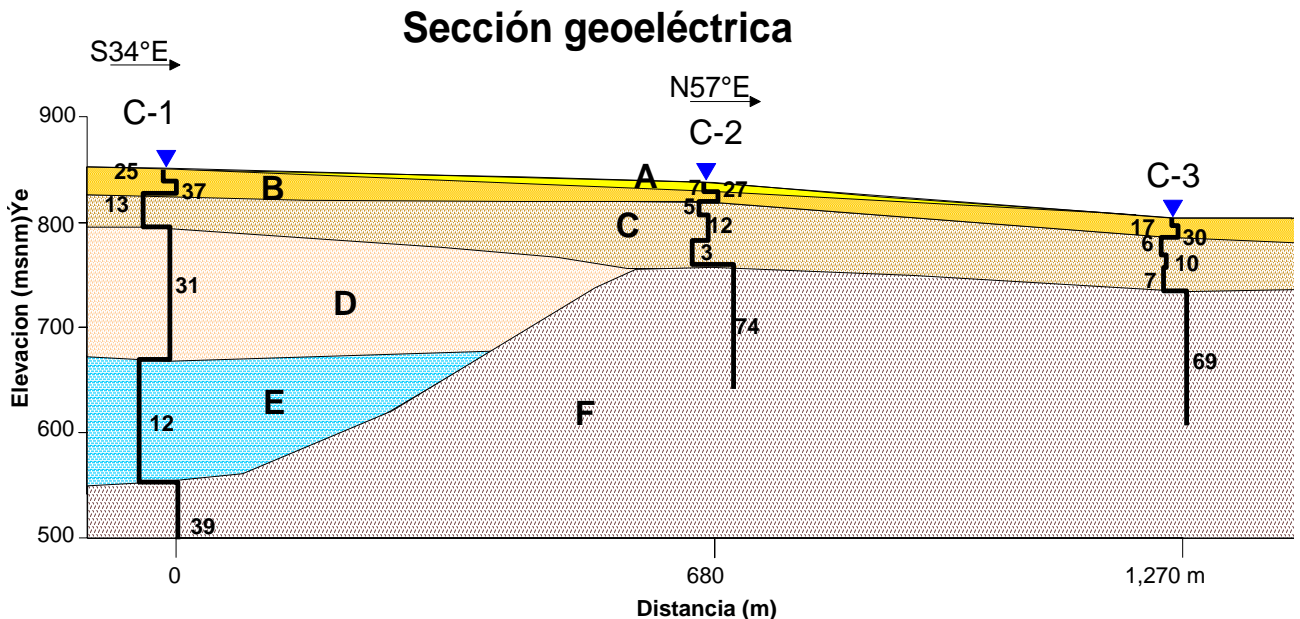


Figura 3.42. Sección geoelectrica de la comunidad Coaxitlán

- **Sección geoelectrica La Era**

Se interpretaron cinco unidades geoelectricas, la última se identifica a los 85 m bajo el TEM E-2. En forma general el comportamiento del perfil presenta unidades paralelas.

La unidad A1 se presenta en forma discontinua con espesor de 50 m y resistividad de 51 a 65 Ohm-m, sólo se presenta bajo el TEM E-1. La unidad B se presenta en forma discontinua con espesor de 30 a 35 m y resistividad de 30 a 47 Ohm-m, se presenta como capa superficial. La unidad D se presenta en forma continua y con su mayor espesor bajo el TEM E-1, 80 m; el valor de resistividad que presenta es de 30 a 47 Ohm-m. La unidad E con resistividad media a baja se presenta en forma continua con valor de resistividad de 13 a 24 Ohm-m y espesor de 30 a 55 m. Y por último la unidad F, con valores de resistividad que tiende a incrementarse con la profundidad. En la **Tabla 3.8** se describieron las unidades geoelectricas y en la **figura 3.43** se muestra la geometría del subsuelo.

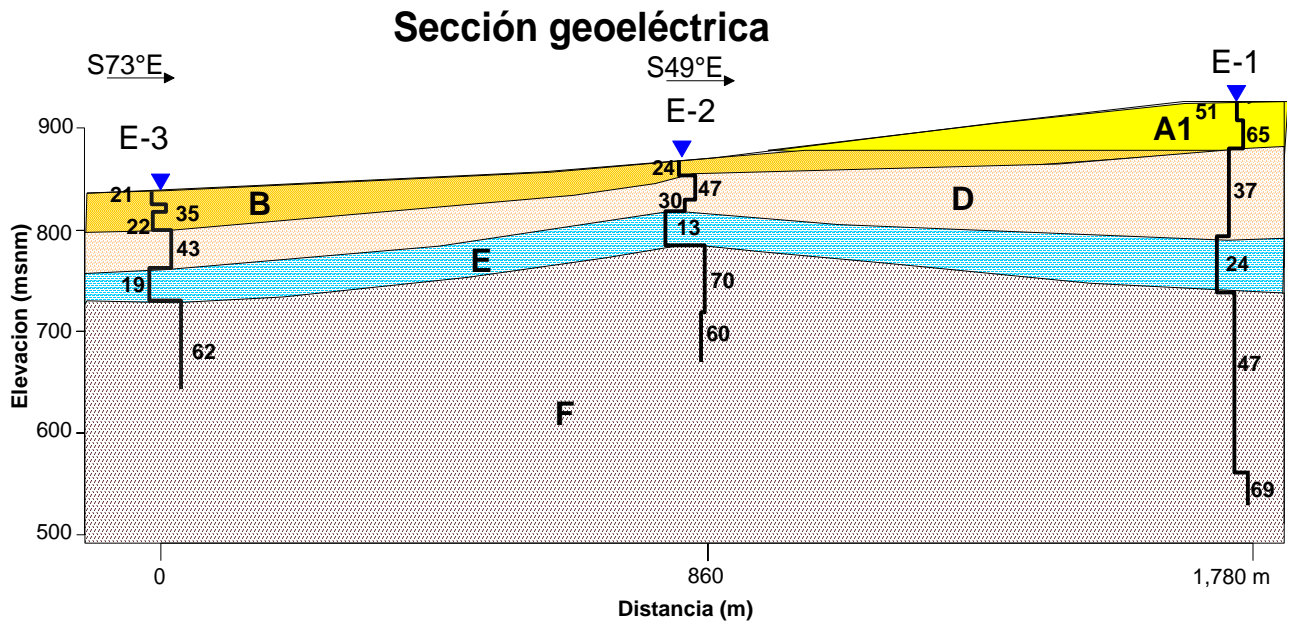


Figura 3.43. Sección geoelectrica de la comunidad La Era

- **Sección geoelectrica Nexpa**

Se interpretaron cuatro unidades geoelectricas, la última se identifica a los 30 m bajo el TEM N-3, dependiendo la ubicación en el perfil, por la posición de los contactos posiblemente exista una falla geológica entre los TEM N-2 y N-1, con el bloque caído hacia el N-1.

La unidad A1 se presenta en forma discontinua con espesor de 40 m y resistividad de 60 a 64 Ohm-m, sólo se presenta bajo el TEM N-1. La unidad B se presenta en forma continua con espesor de 15 a 90 m y resistividad de 22 a 44 Ohm-m, su espesor y profundidad se incrementan hacia la parte derecha del perfil. La unidad E sólo se presenta como una intercalación con espesor de 20 m y resistividad de 17 Ohm-m bajo en el TEM N-3. La unidad F cubre la mayor parte del perfil, con resistividades contrastantes que tienden a incrementarse. En la **Tabla 3.8** se describieron las unidades geoelectricas y en la **figura 3.44** se muestra la geometría del subsuelo.

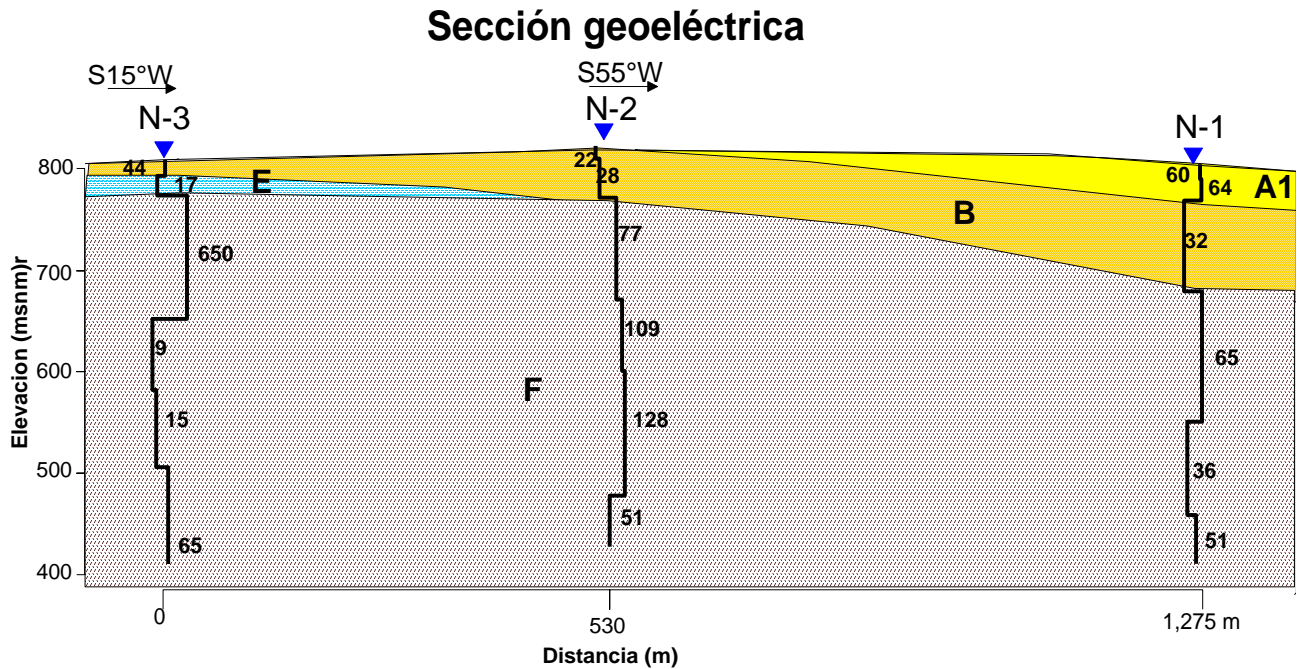


Figura 3.44. Sección geoelectrica de la comunidad de Nexpa

- **Sección geoelectrica de Quilamula**

Se interpretaron cinco unidades geoelectricas, la última se identifica entre los 180 y 280 m dependiendo la ubicación en el perfil, por la posición de los contactos posiblemente exista una falla geológica entre los TEM M3 y M1, con el boque caído hacia el M-3.

La unidad A1 se presenta en forma discontinua con espesor de 20 a 30 m y resistividad de 37 a 127 Ohm-m, no aparece bajo el TEM M-1. La unidad B se presenta en forma continua con espesor de 10 a 30 m y resistividad de 16 a 33 Ohm-m; bajo el TEM M-1 aparece como unidad superficial. La unidad D también se presenta en forma continua con espesor de 40 a 50 m y resistividad de 33 a 58 Ohm-m. La unidad E también se presenta en forma continua con resistividad de 21 a 25 Ohm-m. Y por último la unidad F con valores de resistividad que tienden a incrementarse. En la **Tabla 3.8** se describieron las unidades geoelectricas y en la **figura 3.45** se muestra la geometría del subsuelo.

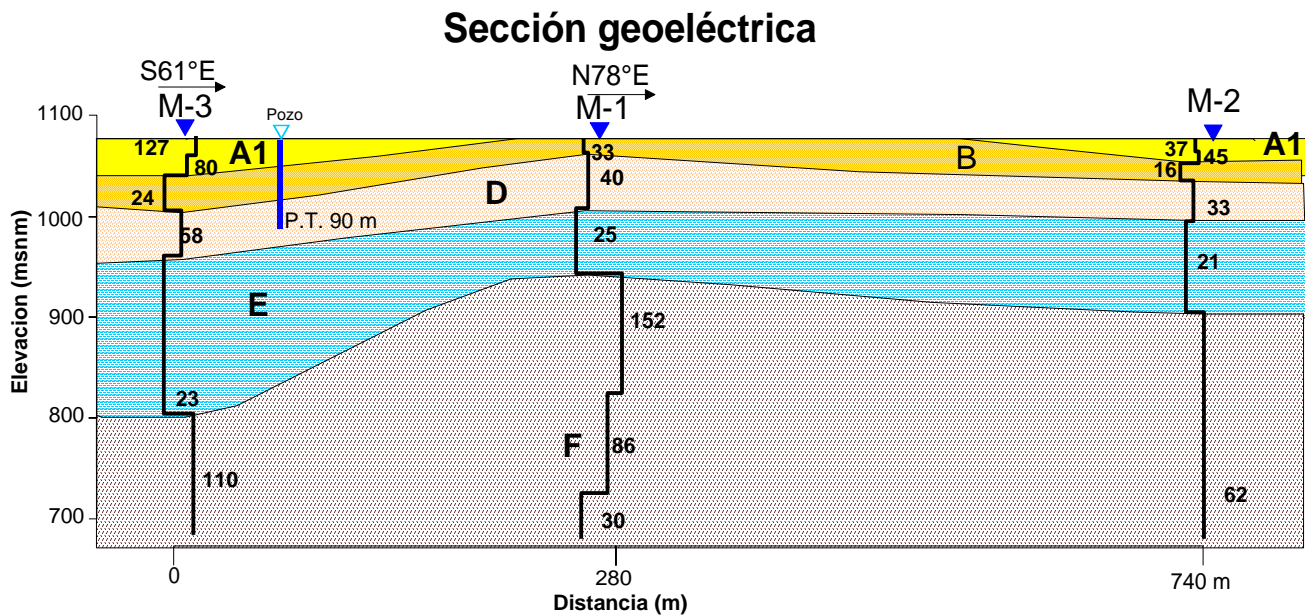


Figura 3.45. Sección geoelectrica de la comunidad Quilamula

3.5.6. Correlación geológica – geofísica

Con base en la descripción litológica de la zona y los resultados de la exploración geofísica, se asociaron las unidades geoelectricas a las unidades geológicas definidas por el Servicio Geológico Mexicano y a las formaciones que afloran en la zona, al no contar con cortes litológicos de los pozos existentes. La verificación de la presencia de estas unidades se conocerá a través de las perforaciones exploratorias que se hagan en cada lugar, por lo que la definición de las unidades propuestas se corroborará una vez realizadas éstas. **Tabla 3.9.**

Tabla 3.9. Correlación geológico - geofísica

Comunidad	Unidad geoelectrica	Resistividad (Ohm-m)	Litología asociada	Geología asociada	Formación	Interés geohidrologico
Quilamula	A1	37-127	Suelo, lahar	Qal, TplLh, TmplLh	Dep. aluviales	Alto cuando está saturado
	B	16-33	Andesita	TmplA	Cuayuca	Medio
	D	33-58	Conglomerado o riolita	TeoGgo-ToR	Grupo Balsas - Tilzapotla	Medio
	E	21-25	Lutita – arenisca	K Ar-Lu	Mexcala	Nulo
	F	>80	Pórfido riolítico - caliza	Tm Pr, K cz	Caliza es Morelos	Nulo
Nexpa	A1	60-64	Suelo, lahar	Qal, TplLh, TmplLh	Dep. aluviales, Cuernavaca	Alto cuando está saturado
	B	22-44	Andesita	TmplA	Cuayuca	Medio
	E	17	Lutita – arenisca	K Ar-Lu	Mexcala	Nulo
	F	>65	Pórfido riolítico - caliza	Tm Pr, K cz	Morelos	Nulo
La Era	A1	51-65	Suelo, lahar	Qal, TplLh, TmplLh	Dep. aluviales, Cuernavaca	Alto cuando está saturado
	B	22-35	Andesita	TmplA	Cuayuca	Medio
	D	30-47	Conglomerado o riolita	TeoGgo-ToR	Grupo Balsas - Tilzapotla	Medio
	E	13-19	Lutita – arenisca	K Ar-Lu	Mexcala	Nulo
	F	>50	Pórfido riolítico - caliza	Tm Pr, K cz	Morelos	Nulo
Coaxitlán	A	7-17	Suelo	Qal, TplLh, TmplLh	Dep. aluviales, Cuernavaca	Alto cuando está saturado
	B	25-37	Andesita	TmplA	Cuayuca	Medio
	C	5-10	Volcanoclástico	Tmpl Vc	Cuayuca	Medio
	D	31	Riolita	TeoGgo-ToR	Grupo Balsas, Tilzapotla	Medio
	E	12	Lutita –arenisca	K Ar-Lu	Mexcala	Nulo
	F	>40	Pórfido riolítico - caliza	Tm Pr, K cz	Morelos	Nulo

3.6. Hidrogeología

Una vez analizada la información geológica y geofísica, se procederá a analizar, interpretar y explicar los procesos hidrogeológicos que acontecen en el área de estudio.

3.6.1. Censo de aprovechamientos

Con base en la información del Registro Público de Derechos del Agua (REPD), en cada una de las comunidades estudiadas existe, al menos, un pozo de agua.

Cabe mencionar que la información del REPD no está completa debido a que la inscripción de pozos, en zonas de libre alumbramiento, no es obligatoria; además, no proporciona datos de calidad del agua ni de situación legal, y la información del estado o producción de los pozos no es precisa. Como ejemplo, en el caso de las comunidades de Coaxitlán, Nexpa y Quilamula, los pozos se encuentran inutilizados, en promedio, desde hace tres años, los aprovechamientos que actualmente se utilizan en La Era y Quilamula presentan niveles alarmantes de contaminación y en el municipio algunos de los pozos se encuentran en un área sujeta a conservación ecológica. Sin embargo, la información de este registro público, es un índice de referencia de las condiciones que se presentaron en cada comunidad, como se describe a continuación, y cuya ubicación fue verificada en campo:

- **Coaxitlán**

Se describe una captación con gasto de 0.5 lps y con profundidad de perforación de 136 m. El pozo está muy cerca del cauce del escurrimiento y del bordo de agua, por lo que se deduce que el agua que se estaba aprovechando era del subálveo. Se encuentra registrado como uso público urbano. **Figura 3.46.**

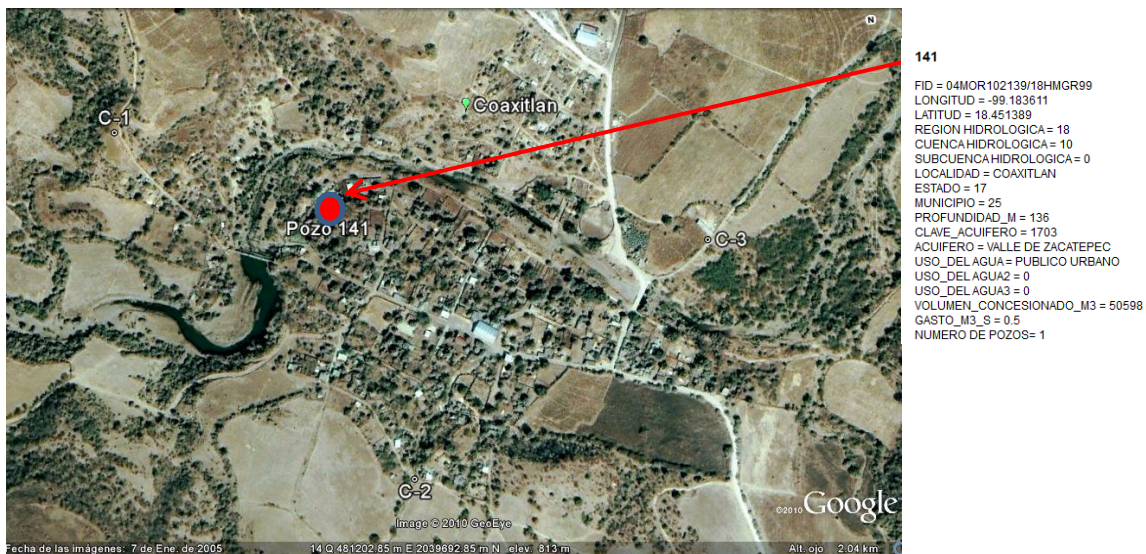


Figura 3.46. Ubicación de pozos en la comunidad de Coaxitlán (tomado de Google Earth y REPD)

- **La Era**

No existen pozos en esta comunidad, aunque se describen en la **tabla 3.10** los aprovechamientos (achololes):

Tabla 3.10 . Aprovechamientos de agua en La Era

Volumen (m3/año)	Uso que ampara el Título	Región Hidrológica	Cuenca	Fuente	Latitud	Longitud
1971.00	PUBLICO URBANO	18 - BALSAS	10	MANANTIAL EL IZOTE	18°33'32.00"	- 99°06'20.00"
31051.00	PUBLICO URBANO	18 - BALSAS	10	MANANTIAL SIN NOMBRE	18°33'45.00"	- 99°06'34.00"

CONAGUA, Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), 2010

- **Nexpa**

Se describe una captación con gasto de 5 lps y con profundidad de perforación de 70 m. La captación está muy cerca del cauce del escurrimiento, por lo que se deduce que el agua que se estaba aprovechando, era del subálveo. Se encuentra registrado como uso público urbano. **Figura 3.47.**

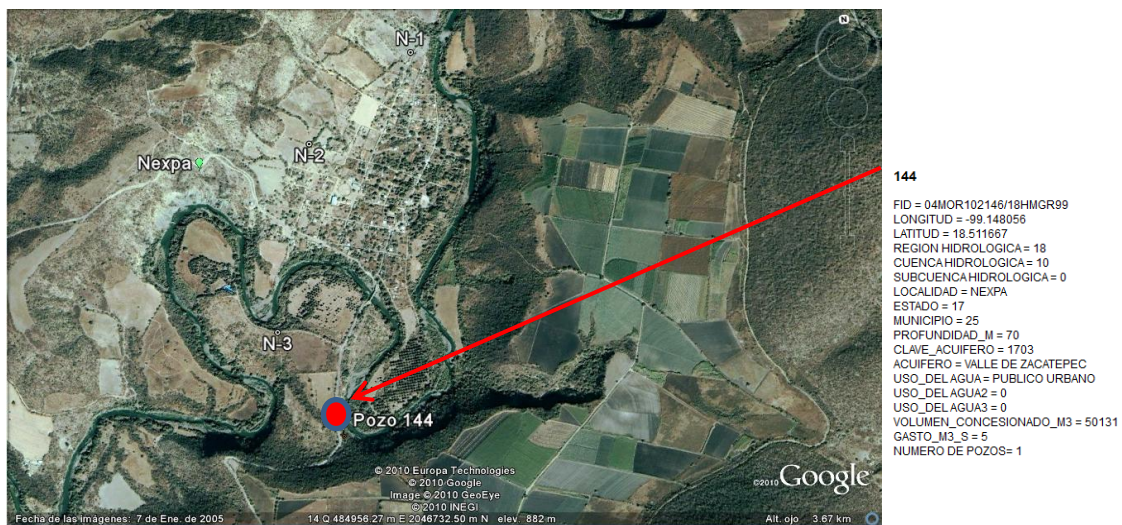


Figura 3.47. Ubicación de pozos en la comunidad de Nexpa (tomado de Google Earth y REPGA)

- **Quilamula**

Se describen dos captaciones con gastos en promedio de 2 lps y con profundidades de perforación de 6 y 100 m. para la noria y el pozo respectivamente. Las captaciones están muy cerca del cauce del escurrimiento, lo que significa que el agua que se está extrayendo actualmente de la noria es del subálveo y debido a la importante contaminación que presenta esta, el municipio ha emitido un comunicado de prohibición de uso, aunque los pobladores continúan extrayendo y utilizando el agua por no contar con otras fuentes de suministro, ya que el pozo se encuentra colapsado. Se encuentran registradas como uso público urbano. **Figura 3.48.**

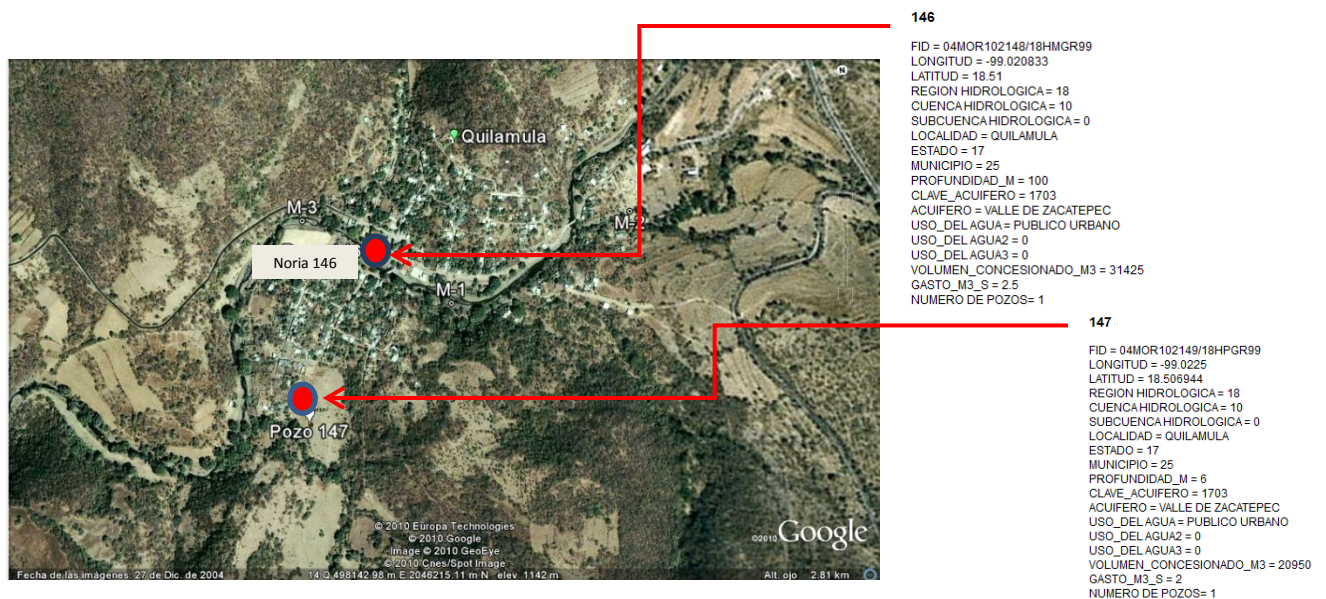


Figura 3.48. Ubicación de pozos en la comunidad de Quilamula (tomado de Google Earth y REPDA)

3.6.2. Piezometría

No fue posible realizar modelos digitales de elevación ni medir los niveles piezométricos debido a que en las comunidades de Coaxitlán, Nexpa y Quilamula los pozos se encuentran colapsados y en La Era no existen pozos. En la noria que se encuentra en Quilamula, el aporte se da por la infiltración del agua de los escurrimientos superficiales y está influida por el caudal de estos y la topografía, representa la parte alta de un acuífero libre. Se considera que las cuatro localidades se encuentran en la zona de recarga del acuífero.

3.6.3. Volumen de extracción

De acuerdo con el REPDA, en los pozos que se encuentran en estas comunidades se presentarían los siguientes volúmenes autorizados de extracción que, en conjunto, suman anualmente 153,104 m³: **Tabla 3.11**

Tabla 3.11 Volumen de extracción en pozos por localidad

Localidad	Volumen de extracción anual en m ³
COAXITLAN	50598
NEXPA	50131
QUILAMULA	31425
QUILAMULA (noria)	20950

CONAGUA, Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), 2010

3.6.4. Propiedades hidrodinámicas

No se cuenta con información de pruebas de bombeo o aforo para definir los valores de transmisividad. No obstante, la presencia de los depósitos aluviales y de la Formación Cuernavaca, sugieren que pudiera existir permeabilidad en la zona únicamente cuando está saturada, lo que daría a la zona un alto interés geohidrológico. En el caso de la Formación Cuayuca, el Grupo Balsas y la Riolita tilzapotla (sólo si se encuentra fracturada), presentan propiedades hidrodinámicas de interés medio.

3.6.5. Unidades hidrogeológicas y calibración de la información.

Con base en la información hidrogeológica regional, se identifican tres tipos de unidades geohidrológicas.

La primera está relacionada con los materiales del Cuaternario relacionados con la formación geológica correspondiente a los depósitos aluviales, la Formación Cuernavaca, la cual presenta de regular a alta permeabilidad, los espesores identificados de esta formación oscilan entre los 10 y 50 m y se asocian a las unidades geoelectricas A, A1. Es en estas unidades es donde se explotaban los pozos de las comunidades estudiadas.

También en esta primera unidad geohidrológica se agrupan las unidades geológicas correspondientes a la andesita, depósitos volcanoclásticos y riolita, Grupo Ixtlilco, Formación Cuayuca y Riolita Tilzapotla, respectivamente, los cuales presentan permeabilidades de medias a bajas.

La segunda unidad geohidrológica funciona como acuitardo, se asocia a los materiales del Grupo Balsas y la Formación Mexcala, en algunas partes tienen la capacidad de almacenar agua pero no la ceden fácilmente, se asocian a las unidades geoelectricas E y D. También incluye a la riolita cuando se presenta en forma masiva, sin fracturamiento, o bien se asocia a las rocas que integran el Grupo Balsas. Funciona como basamento de la primera unidad. El espesor estimado en esta zona varía entre 20 y 150 m.

La tercera unidad constituye un acuífero regional o profundo, se encuentra semiconfinado y se aloja en roca caliza de la Formación Morelos. En esta unidad el agua subterránea se conduce a través de fallas, fracturas o zonas de disolución. La CONAGUA considera a esta zona como de recarga. **Figura 3.49.**

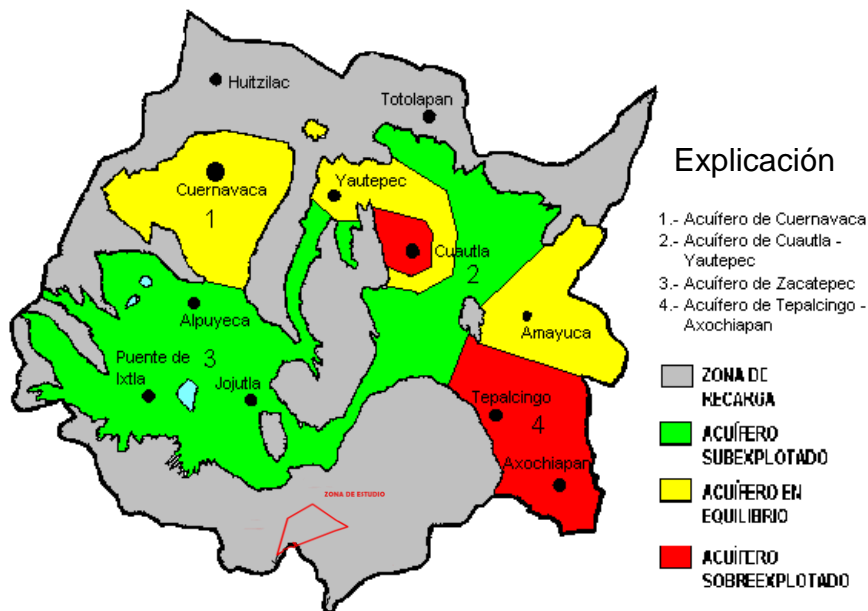


Figura 3.49 Disponibilidad de los acuíferos del estado de Morelos

(Tomado de Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Cuautla-Yautepec, Mor., CONAGUA, 2009)

3.6.6. Acuífero del área

A partir agosto de 2009, la zona de estudio se encuentra entre el acuífero Cuautla-Yautepec y el Zacatepec. De estos acuíferos se han publicado en el Diario Oficial de la Federación los siguientes decretos presidenciales:

i Decreto Presidencial de fecha 1° de junio de 1960, publicado el 23 de junio de 1960, veda tipo III.

ii Decreto Presidencial de fecha 26 de febrero de 1962, publicado el 26 de marzo de 1962, veda tipo III.

iii Decreto Presidencial de fecha 7 de marzo de 1973, publicado el 6 de julio de 1973, veda tipo III.

Actualmente el área de estudio se clasifica en la zona III, que la considera como de veda flexible o subexplotada.

3.7. Dictamen

Se tiene un contexto local de cada sitio en el que se determinó el espesor de las unidades geológicas que pueden proveer agua, sin embargo, no se cuenta con información que permita definir con precisión las condiciones hidrodinámicas de las rocas.

La información disponible y los datos obtenidos en los sitios donde se realizaron los estudios de exploración geofísica, permiten dictaminar que las cuatro zonas evaluadas, hasta los 90 m de profundidad, tienen un potencial reducido para acumular agua y cederla, situación que es consistente con los datos de pozos en los que se extraía agua potable y que presentaban rendimientos menores a los requeridos.

Las áreas donde se realizó la exploración geofísica presentan condiciones limitadas –por los valores de resistividad que se obtienen, la ubicación del acuífero, la productividad que presentaban los pozos y el tipo de roca-. El gasto mínimo esperado es menor a los 5 lps. Las unidades geoeléctricas que aportarían el gasto mencionado son las A, B, C y D que se asocian a las unidades geológicas, suelo, lahar, andesita, conglomerado y riolita. La recarga de estas unidades se produce principalmente a través del escurrimiento superficial que transita por las comunidades y por la permeabilidad media que presentan las unidades geológicas que afloran.

Subyaciendo a estas unidades se presenta una capa con resistividad baja E, con espesor que oscila entre los 60 y 150 m, asociado a una roca arenisca-lutita (Formación Mexcala) que funciona como acuitardo y debajo de ésta se localiza una roca caliza (Formación Morelos), la cual se considera como parte del acuífero regional o profundo, se encuentra semiconfinado y el agua se conduce a través de fallas, fracturas o zonas de disolución. También se identifica un pórfido riolítico intrusivo que condiciona la ocurrencia y calidad de agua subterránea en la zona.

Los pozos que aportaban agua y la noria, están muy cercanos al cauce de las corrientes superficiales de la zona, en las cuales se vierten las aguas residuales de las comunidades que se asientan aguas arriba. Esta situación deteriora la calidad del agua superficial y subterránea, por lo que en el diseño constructivo del pozo, se deberá considerar colocar un ademe sanitario de 12” de cuando menos 18 m de profundidad, para evitar la contaminación con las aguas superficiales de acuerdo a lo establecido en la NOM-003-CNA y probablemente será necesario darle tratamiento para eliminar coliformes.

Aunque los acuíferos Cuautla-Yautepec y Zacatepec cuentan con volumen disponible, con base en la disponibilidad publicada en el Diario Oficial de la Federación de 7.10 y 20 Mm³ al año respectivamente, se deberá gestionar ante la Comisión Nacional del Agua la autorización del volumen de extracción y el contar con los derechos de explotación, así como los permisos correspondientes.

De las cuatro comunidades estudiadas el espesor máximo de rocas volcánicas que contienen agua es del orden de los 100, por lo que se sugiere realizar una perforación exploratoria, en cada comunidad, a una profundidad de 250 m en los sitios donde se realizaron los siguientes TEMs:

Coaxitlán	TEM C3	Nexpa	TEM N1
La Era	TEM E3	Quilamula	TEM M2

De tomarse la decisión de perforar un pozo en los sitios propuestos, será necesario considerar los siguientes aspectos:

1. El camino para trasladar un equipo de perforación, de tipo rotatorio serie 1,500, que sería el indicado para la perforación a una profundidad de 250 m, es transitable.
2. El equipo de perforación deberá contar con cuchara para recuperar muestras en caso de que se presenten pérdidas totales de lodo, lo cual se espera por el tipo de material que se encuentra en el subsuelo, especialmente en las unidades geoelectricas D, además, es posible que se tengan problemas de perforación, caídos o atrapamiento de tubería, así como pérdidas de lodo de perforación.
3. El tendido de la línea de corriente eléctrica a los sitios donde se ubiquen los pozos.
4. Se requiere una supervisión estricta del pozo con muestreo continuo para ir identificando y clasificando el tipo de roca y material perforado.
5. Es necesario llevar a cabo una descripción litológica detallada de las muestras de roca, en caso de presentarse duda, será necesario realizar un análisis petrográfico en laboratorio.
6. La perforación exploratoria deberá realizarse con diámetro de 12", al término de esta se deberá correr un registro eléctrico de nueve curvas (tres de resistividad – NC, NL y Lateral-, resistencia, resistividad de fluido, temperatura, gradiente de temperatura, rayos gamma naturales y potencial natural).
7. Se sugiere realizar una prueba de productividad con bomba de 4" y duración de 2 a 4 horas para definir si el pozo exploratorio tiene la capacidad de aportar agua, previo a la construcción del pozo.
8. De resultar favorable, se sugiere ampliar a 14" para colocar tubería de a 10".
9. El equipo de aforo deberá ser capaz de extraer un caudal de cuando menos 10 lps con columna de bombeo de 150 m.
10. Se deberá considerar dentro del diseño constructivo del pozo, el colocar un tubo galvanizado de 3/4" de diámetro que sirva como piezómetro para llevar el historial piezométrico de la zona.
11. Deberá considerarse, además, grava, agua, bentonita y dispersor de arcilla.
12. Con el fin de armar el catálogo de precios unitarios, estandarizado para las cuatro comunidades, se considera que los materiales a encontrar son los siguientes:

Material	Posible litología	Profundidad en metros		
		0-100	100-200	200-250
I	Suelos/Lahar	80		
II	Basalto/Riolita/Andesita		120	
III	Caliza/Lutita-arenisca			50

13. Es necesario documentar las actividades de perforación.