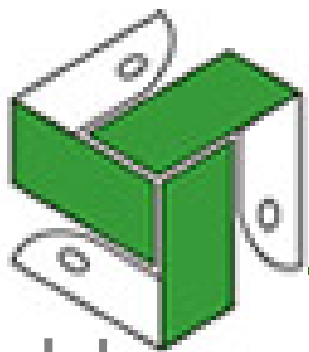




TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE COACALCO

**“ESTUDIO GEOFÍSICO PARA
DETERMINAR EL AFLORAMIENTO DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA LA
REPOSICIÓN DE POZO EN EL
MUNICIPIO DE TULTEPEC”**

PROYECTO DE RESIDENCIAS PROFESIONALES

PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERÍA CIVIL

SUSTENTANTE

ANTONIO JOVANI CEDILLO ALILLO

MATRICULA

201921149

PRESIDENTE:

M. EN G.E. GRETTEL PATRICIA FLORES STREICHER

COACALCO DE BERRIOZÁBAL, MÉX. FEBRERO, 2025

Agradecimiento

Gracias a las personas que estuvieron en este trayecto para poder concluir este trabajo y que siempre me han apoyado, a mis padres y hermanos que siempre estuvieron conmigo, también a las personas que se presenta como lo fueron mis asesores que con gran esfuerzo y dedicación que me brindaron su conocimiento amplio se pudo culminar el trabajo.

Resumen

En el presente trabajo se podrá encontrar diversa información con un solo fin en específico, se expone la problemática que en el Municipio De Tultepec ha presentado un crecimiento del Déficit para el suministro de agua potable.

Para conocer más a detalle el Municipio De Tultepec se integró los diversos temas de información de ubicación, clima, vegetación, componentes geofísicos y consumo per cápita, información extraída de los censos oficiales vigentes proporcionados por parte de la CAEM, INEGI y CONAPO, con la finalidad de contar con información precisa, para la demanda en el consumo o volumen de agua potable que genera el municipio, se complementó con información adicional aportada por la Dirección De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento del Municipio De Tultepec, ilustrando de manera visual para tener un mejor entendido de la información recabada.

Se incluyen informes geofísicos realizador y emitidas por la CAEM y la Dirección De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento del Municipio De Tultepec para obtener las diferencias entre los sitios propuestos para la perforación de pozos nuevos de extracción de agua potable, los cuales se pretenden ejecutar para abatir con la demanda del suministro de agua potable.

Integrando datos obtenidos de las pruebas que se hicieron a las áreas geofísicas, así como su breve explicación, así mismo de las referencias visuales par tener una mejor comprensión del tema, comparando los diferentes tipos de sondeos tipo verticales obteniendo información relevante de las zonas seleccionadas para su estudio.

Índice

Agradecimiento	2
Resumen	3
Índice	4
Índice de Figuras.....	6
Índice de Gráficas	7
Índice de Cuadro	7
Introducción	9
Descripción de la empresa u organismo y del puesto o área de trabajo	9
Problemas a resolver	10
Objetivo:.....	10
Objetivos específicos	10
Justificación	10
Marco teórico	11
Relación con el lago de Texcoco.	11
Localización de la zona de estudio	14
Clima y vegetación	15
Fisiografía	19
Geología.....	21
Brecha sedimentaria ts(bs)	22
Brecha volcánica básica ts(bvb).....	23
Depósitos aluviales q(al)	23
Depósitos lacustres q(la).....	23
Geohidrología.....	23

Aprovechamientos de agua subterránea.....	23
Geohidrología.....	28
Unidad geohidrológica u1.....	28
Unidad geohidrológica u2.....	30
Acuíferos del área	31
Exploración geofísica	33
Fundamento básico.....	33
Relación resistividad-aportación de agua.....	34
Características del equipo empleado	36
Metodología	36
Actividades desarrolladas	37
Ejecución de los sondeos eléctricos verticales	39
Sondeos eléctricos verticales.....	41
Sev 1	41
Sev 2.....	42
Sev 3.....	43
Sev 4.....	43
Sev 5.....	44
Conclusiones y recomendaciones	45
Selección del sitio del proyecto	45
Competencias desarrolladas o aplicadas	51
Fuentes de informacion	53
Anexos.....	54
Anexo 1 Juego de propuesta de planos.....	54

Anexo 2 resultados de estudio	54
-------------------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1 Macrocalización del municipio de Tultepec	14
Figura 2 Localización del área de estudio en la carta topográfica E14A29 de INEGI	15
Figura 3 Clima en la zona de estudios- CONABIO	16
Figura 4 Ubicación estación climatológica 15129 en el municipio de Tultepec	17
Figura 5 Uso de suelo y vegetación en el municipio de Tultepec	19
Figura 6 Ubicación de la zona de estudio en la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac	20
Figura 7 Distribución geológica en el Municipio de Tultepec	22
Figura 8 Ubicación de aprovechamientos hídricos en el Municipio de Tultepec	24
Figura 9 Pozo centenario	27
Figura 10 Pozo San Martín	27
Figura 11 Carta de hidrología subterránea E1402	29
Figura 12 Distribución geohidrológica en la zona de estudio	31
Figura 13 Acuífero en la zona de estudio	32
Figura 14 Equipo utilizado	36
Figura 15 Disposición del arreglo geofísico a emplear	37
Figura 16 Conjunto de electrodos y arreglo Schlumberger	37
Figura 17 Recorrido previo por los sitios de los sondeos	38
Figura 18 Realización de los SEVs	39

Figura 19 Ubicación de los SEV realizadas en el presente estudio	40
Figura 20 Figura 1.1. Orientación de la línea de investigación en cada sitio explorado.....	41
Figura 21 Ejecución del SEV 1	42
Figura 22 Ejecución del SEV 2	43
Figura 23 Ejecución del SEV 3	43
Figura 24 Ejecución del SEV 4	44
Figura 25 Ejecución del SEV 5	45
Figura 26 Propuesta de diseño del pozo para el sitio seleccionado	48

Índice de Gráficas

Grafica 1 Temperaturas medias reportadas en las normales climatológicas en la estación Tultepec (15129) 	17
Grafica 2 Temperaturas mínimas reportadas en las normales climatológicas en la estación Tultepec (15129)	17
Grafica 3 Precipitaciones promedio mensuales reportadas en las normales climatológicas en la estación Tultepec (15129).....	18
Grafica 4 Clasificación por uso del número de pozos activos en el municipio de Tultepec.....	27

Índice de Cuadro

Cuadro 1 Censo de aprovechamientos subterráneos en el municipio de Tultepec, parte 1	25
--	----

Cuadro 2 Censo de aprovechamientos subterráneos en el municipio de Tultepec, parte 2	26
Cuadro 3 Coordenadas de cada uno de los sitios analizados	40
Cuadro 4 Coordenadas de cada uno de los sitios analizados	41
Cuadro 17 Condición geohidrológica en cada sondeo	46
Cuadro 18 Principales características de construcción para perforación del pozo profundo en el sitio del SEV1	46

Introducción

El municipio de Tultepec es un municipio urbano, aunado su ubicación geográfica hace un difícil acceso a aguas superficiales y considerando el aumento del crecimiento demográfico de su población hace que incremente el problema de suministro de agua potable.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal de Tultepec 2022-2024, la red de distribución de agua potable en el municipio alcanza el 99.16% de las viviendas, el porcentaje faltante corresponde a algunas zonas habitacionales asentadas de manera irregular, principalmente en las zonas ejidales del municipio.

El abastecimiento de agua potable en la cabecera municipal se da a través de dos pozos San Martín y Centenario, que operan las 24 horas al día y aportan un gasto de 105 lps, además, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) otorgó un gasto de 110 lps., del Ramal de pozos profundos Los Reyes-Ecatepec. Sin embargo, todo este caudal recibido no es suficiente para cubrir las necesidades de la población.

Descripción de la empresa u organismo y del puesto o área de trabajo

En el municipio de Tultepec el área de agua potable Alcantarillado y saneamiento siempre ha existido ya que es una de las áreas principales, esta dependencia se dedica al suministro y dotación de agua potable dentro del municipio

En el área se determinó un lugar como auxiliar de residente de obra ya que se requería cubrir ciertos lineamientos y objetivos, siendo algunas necesidades tener un personal en campo que tome evidencia de las obras en ejecución de igual manera tenga un control administrativo de dichas actividades, también cubriendo la necesidad de la ciudadanía

Problemas a resolver

La falta de agua que se ha presentado en todas partes del mundo no es un tema nuevo, esto viene trabajándose desde hace años ya que se pretende atender las necesidades de la ciudadanía.

A raíz de esta problemática el municipio de Tultepec quiso dar una mejor solución a la falta de agua potable que se presenta, ya que es una problemática grave para la población del municipio por tanto se optó por hacer un pozo de agua nuevo en el municipio, esto conlleva a tomar la decisión de realizar un proyecto, con ayuda de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se hizo la petición y en respuestas se propuso el estudio de las zonas dentro del municipio para la elección de la ubicación donde será más favorable.

Objetivo:

Realizar el estudio geofísico para identificar las estructuras geológicas que puedan almacenar agua subterránea y sean aptos para explotar mediante pozos profundos.

Objetivos específicos

- Revisar pruebas físicas necesarias en campo
- Dar seguimiento a los procesos obtenidos y recolectar los resultados estratégicamente.
- Aplicar los procedimientos adecuados y especificaciones requeridas.

Justificación

La importancia de un estudio geofísico es para poder conocer la mejor y ubicación para el afloramiento de extracción de caudal para el suministro de agua potable hacia la población que presenta déficit en el abasto de agua potable dentro del Municipio De Tultepec, de lo contrario , no contar con un estudio y llevar acabo la asignación de una obra sin esta información, puede tener graves consecuencias al acuífero y/o la ecosistema de la

zona, al no estar en un óptimo sitio se desaprovechara su máximo potencial y no será viable un proyecto de esta índole así como la pérdida de una inversión financiera que no cumplirá con las metas determinadas; Gracias a un estudio geofísico será más fácil obtener información para llevar a cabo una comparación y un panorama amplio para su selección de la zona y esto traerá consigo ser la mejor opción viable para un mejor suministro de agua potable en el municipio.

Marco teórico

Relación con el lago de Texcoco.

La historia de este importante Lago de Texcoco se inicia desde la época Prehispánica, cuando en el territorio de América del Norte los indígenas eran los primitivos habitantes de la región y construyeron una serie de islas artificiales en este lago, con la finalidad de ganar mayor cantidad de tierra que les permitiera realizar sus cultivos.

Pero en el caso de Tenochtitlan estas islas tenían además la finalidad de construir poblados, pues en pleno siglo XVII los conquistadores españoles tenían bajo su dominio regiones como la que denominaron Nueva España, que era la capital de este virreinato, la cual estuvo sometida a numerosas inundaciones.

Todo ello dio origen a la necesidad de realizar mejoras en estas áreas, construyendo drenajes, lo que se mantuvo de manera sucesiva durante todos los gobiernos que tuvo México, aún cuando ya era independiente. Pero al final estas alteraciones ocasionaron que prácticamente desaparecieran casi en su totalidad los cinco lagos con los cuales se contaba.

Estos lagos se conocen con el nombre de Texcoco, Zumpango, Xaltocan, Xochimilco y el Chalco, y curiosamente contaban con aguas bastante distintas, debido a que unos eran dulces mientras que otros estaban provistos de aguas saladas.

Esto permitió que los pobladores aprovecharan los lagos de Texcoco, Zumpango y Xaltocan, con la finalidad de realizar la explotación de sal, ya que precisamente estos eran lagos salobres; pero en general se consideraba que las aguas de todos los lagos mencionados no eran aprovechadas más que como elemento de riego en la agricultura, en algunos de ellos debido a su salinidad y en otros porque el agua dulce presentaba un mal sabor.

El paisaje del valle de México donde se encuentra ubicado el Lago Texcoco se caracteriza por dos geoformas importantes, donde una corresponde a las montañas de origen volcánico y otra incluye a las porciones bajas o planicies que deben su formación a procesos erosivos y acumulativos.

La región en la que se encuentra el Lago Texcoco pertenece al Eje Neovolcánico que atraviesa México, por lo que este lago se formó durante el período cuaternario, hace unos 2,9 millones de años, dentro de la era cenozoica. Presentando un suelo con gran contenido de salinidad, que es transferida al agua que lo cubre.

A su vez se encontraba rodeado de cadenas montañosas que eran formadas por rocas ígneas, como resultado de la actividad volcánica de la región; formándose de esta manera la Sierra de Guadalupe y el Cerro Chimal huache, que nacen durante el cuaternario al igual que el vaso del lago.

Desde sus orígenes el Lago Texcoco era imponente, pero a partir de la época prehispánica se comenzaron a realizar alteraciones en él, que han llevado a la desecación de una gran parte de las masas acuosas de su superficie. La cuenca del lago en su origen

tenía desagüe hacia la cuenca del río Balsas, pero con el tiempo esta salida se fue cerrando, debido a la actividad volcánica.

En este lago predominan los suelos salinos, muy saturados en agua y que se endurecen con facilidad, motivo por el cual con la desecación de este lago quedan amplias zonas de su vaso expuestas al aire libre y caracterizadas por la presencia de grandes lluvias de arena, como consecuencia de la acción del aire.

Para la época prehispánica el Lago de Texcoco era imponente, un verdadero pulmón para la región, que era explotado debido a su alta salinidad, pero sus primitivos habitantes necesitaban contar con mayores áreas para sus cultivos, por lo que comienza la creación de sus islas artificiales, más una serie de drenajes para controlar las inundaciones.

Todo esto ha repercutido hoy en día sobre el lago Texcoco, que está prácticamente desapareciendo, a pesar de que el gobierno ha implementado una serie de planes para su recuperación, pero que por el momento no son lo suficientemente eficaces.

Características del Lago de Texcoco

Se trata de un lago que presenta una cuenca hidrológica de aproximadamente dos mil kilómetros cuadrados. Es parte de un sistema de lagos que conforman el valle de México, uniéndose a otros cuatro durante las temporadas de lluvias. Dos de ellos son de agua salada, denominados Zumpango y Xaltocan, mientras que los dos restantes son de agua dulce, conocidos como Xochimilco, y el Chalco, cubriendo un área total de 114.477 hectáreas.

El Lago de Texcoco es alimentado por las aguas provenientes de las cadenas montañosas que lo rodean, como es el caso de la Sierra de las Cruces, por la que escurren

las aguas de ríos como el Magdalena, Barranca del Muerto, Becerra, Mixcoac, Eslava y San Ángel; pero en el lado oriental recibe aguas provenientes de los arroyos de la Sierra Nevada.

Localización de la zona de estudio

El municipio de Tultepec se localiza en la parte noreste del estado de México (Figura 1) y al norte de la zona metropolitana de la ciudad de México, colinda al norte con los Municipios de Melchor Ocampo y Nextlalpan; al sur con Coacalco de Berriozábal y Tultitlán; al oriente con Nextlalpan y Tultitlán y al poniente con Tultitlán y Cuautitlán, todos ellos municipios del Estado de México. El municipio cuenta con una extensión territorial de 27.4 km².

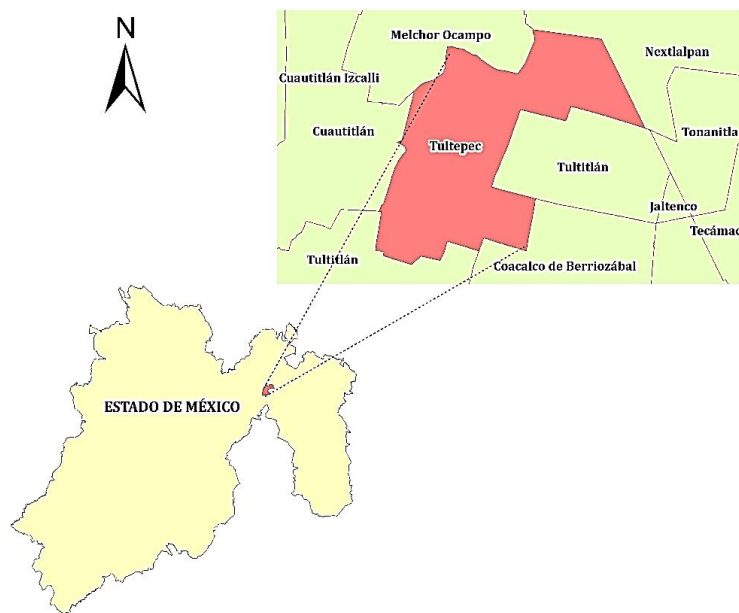


Figura 1 Macrolocalización del municipio de Tultepec

Su localización, respecto a las cartas topográficas del INEGI corresponde a la carta E14A29 –Cuautitlán, escala 1: 50,000 (Figura 2). Sus coordenadas extremas del polígono de los límites municipales son latitud norte 19° 64' - 19° 71' de latitud norte y 99° 07' - 99° 15' de longitud oeste; se encuentra entre los 2,200 a 2,400 msnm. (INEGI, 2023)

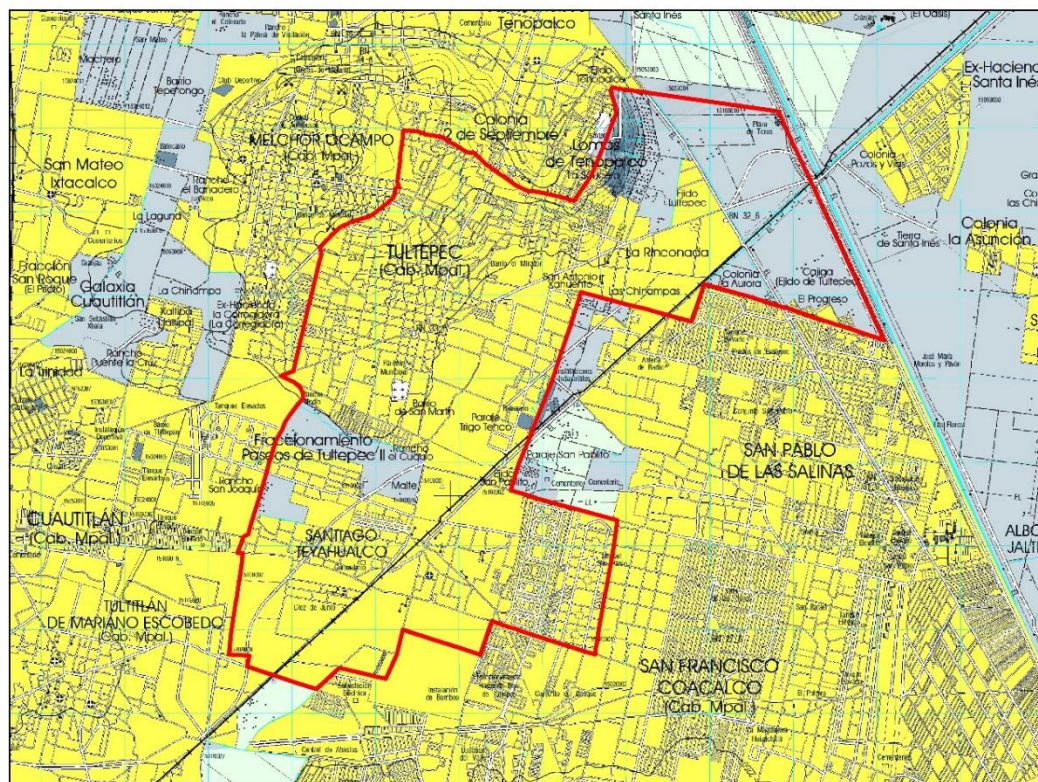


Figura 2 Localización del área de estudio en la carta topográfica E14A29 de INEGI

Clima y vegetación

El tipo de clima en Tultepec es C(wo) y C(w1), clave que corresponde a los climas templados y subhúmedos con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por E. García (1988) y los datos vectoriales reportados por a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (Figura 3) Este tipo de climas presentan temperaturas medias anuales entre los 12 y 18 °C, temperatura del más frío entre -3 y 18°C y temperatura del mes más caliente menor a los 22 °C.

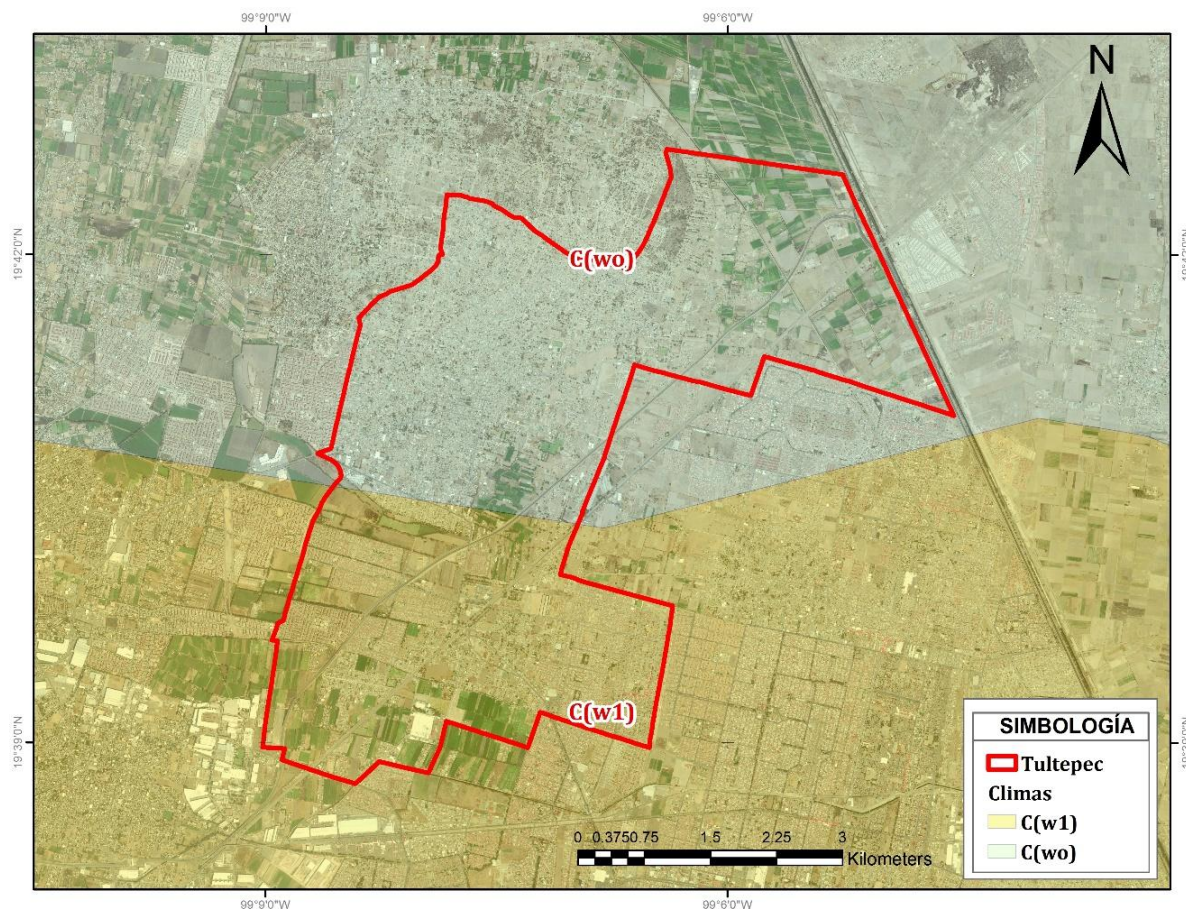


Figura 3 Clima en la zona de estudios- CONABIO

En el municipio de Tultepec, se identificó sólo una estación climatológica que corresponde a la estación Tultepec clave 15129, (Figura 4)

De acuerdo con las Normales climatológicas para el periodo 1951-2010, reportadas para la estación Tultepec, la temperatura media anual es de 14.8 °C (Gráfica 1).

Las temperaturas mínimas registradas en la estación Tultepec, son las presentadas en la (Gráfica 2. Con un promedio de 6.10°C, de acuerdo a las normales climatológicas 1951-2010.

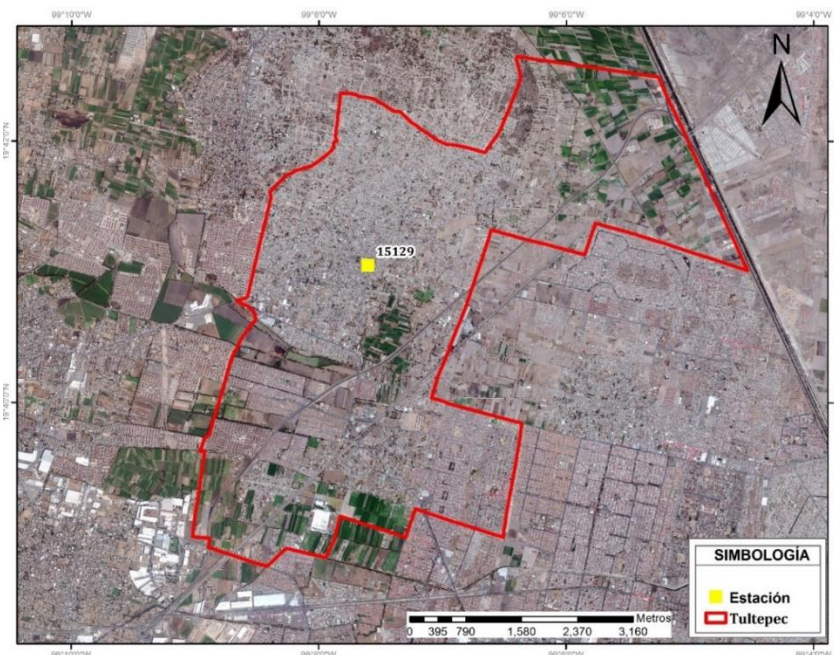
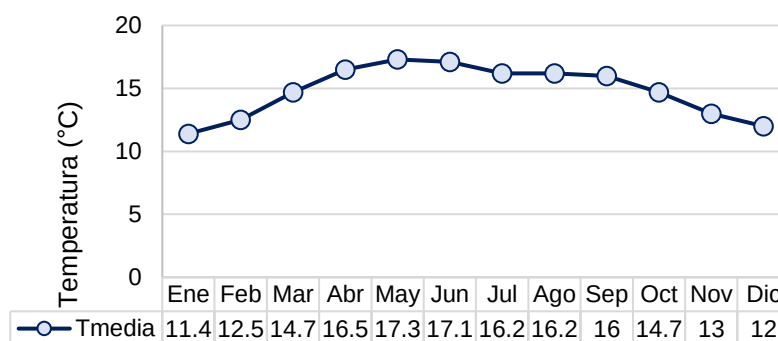
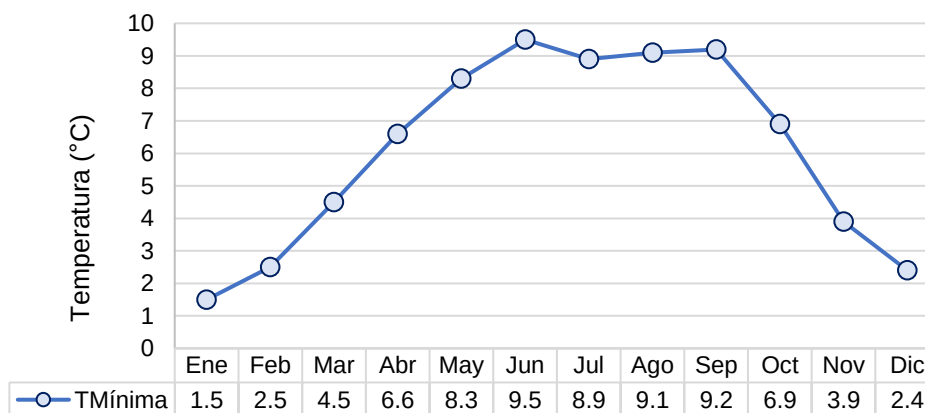


Figura 4 Ubicación estación climatológica 15129 en el municipio de Tultepec

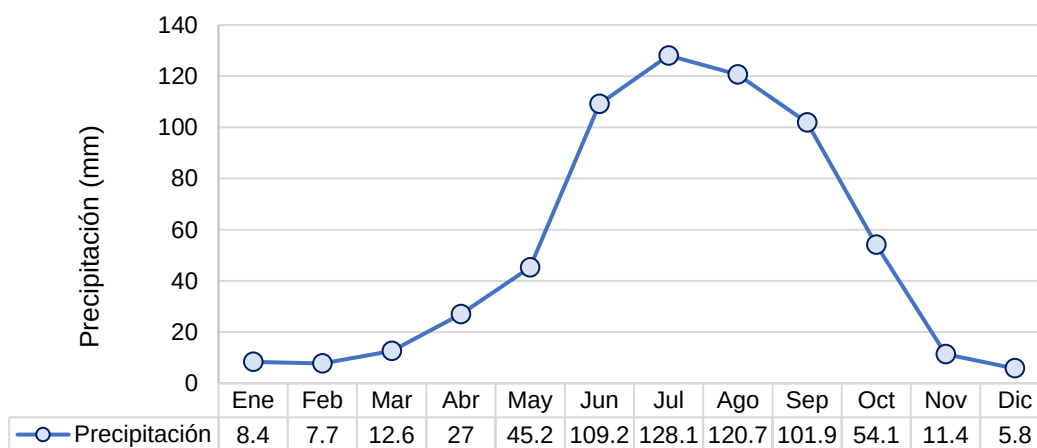


Grafica 1 Temperaturas medias reportadas en las normales climatológicas en la estación Tultepec (15129)



Grafica 2 Temperaturas mínimas reportadas en las normales climatológicas en la estación Tultepec (15129)

Las precipitaciones reportadas para el periodo de 1951 a 2010 oscilan desde los 5.8 mm en el mes más seco que corresponde a diciembre y una precipitación de 128.1 mm para el mes de julio, la precipitación anual para esta estación es de 632.1 mm.



Grafica 3 Precipitaciones promedio mensuales reportadas en las normales climatológicas en la estación Tultepec (15129)

De acuerdo con los datos vectoriales reportados por el INEGI en 2014 correspondientes al uso de suelo y vegetación, escala 1:250, 000, Versión 3; en el municipio el 39% del uso de suelo corresponde a zonas agrícolas y el restante 61% son áreas urbanizadas,(Figura 5). La especie vegetativa más común en la zona es el pirul (*Shinus molle*).

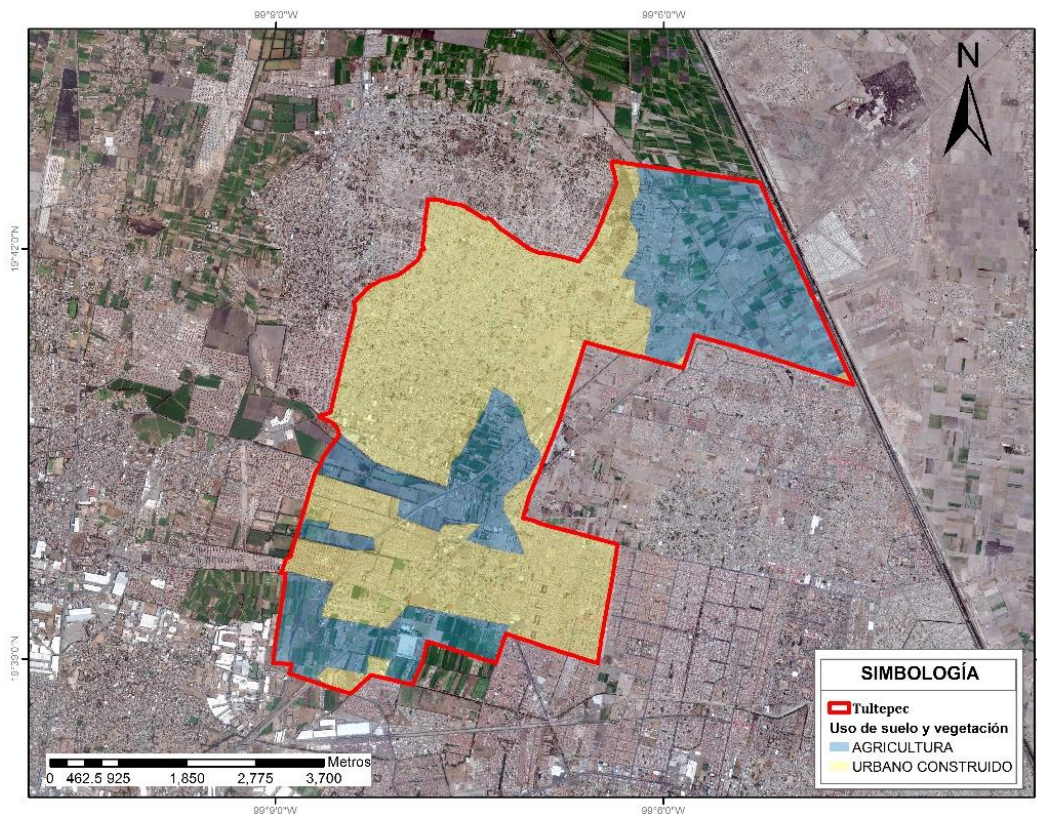


Figura 5 Uso de suelo y vegetación en el municipio de Tultepec
(CONABIO, 2023)

Fisiografía

El área de interés forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Meseta Neovolcánica, también denominada Faja Volcánica Transmexicana o Eje Neovolcánico, de acuerdo a la clasificación de E. Raisz, 1959-1964, (Figura 6).

El área está caracterizada por la presencia de un importante conjunto de grandes volcanes y la presencia en la porción central de la cuenca de la Ciudad de México, las máximas altitudes están representadas por las cimas volcánicas del Popocatepetl e Iztaccíhuatl, ubicados en la porción este del área, en donde también son notables las prominencias orográficas correspondientes a los volcanes de La Malinche y El Talaron.

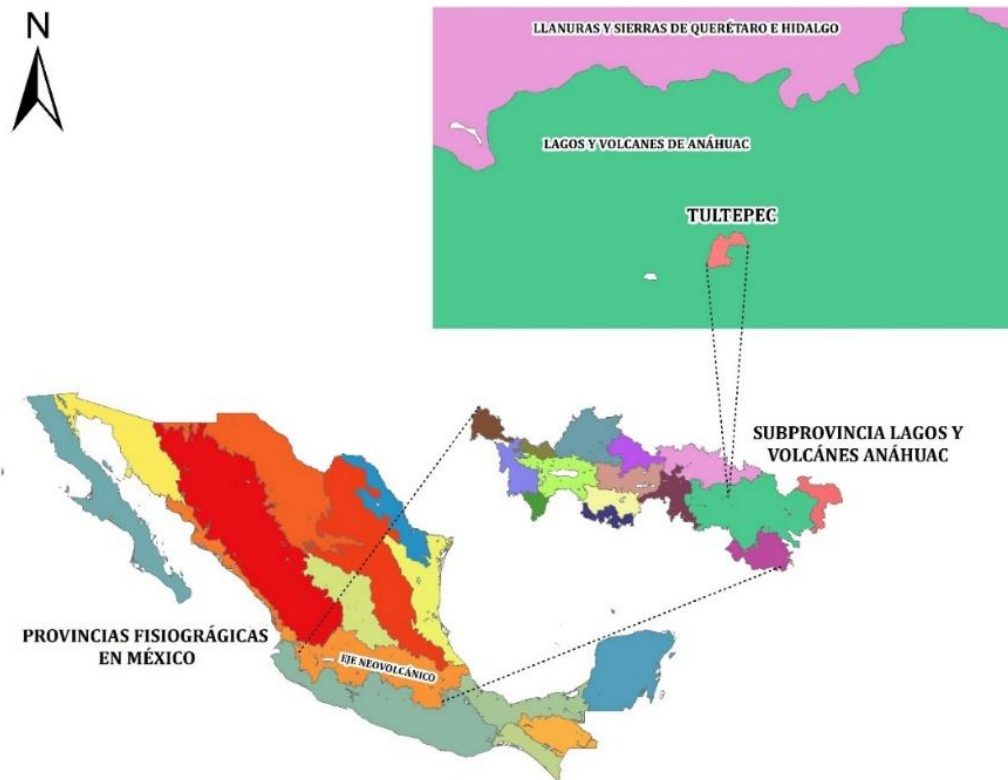


Figura 6 Ubicación de la zona de estudio en la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac

Geológicamente la zona del municipio se encuentra dentro de la provincia geológica Eje Neovolcánico Transversal, en la subprovincia denominada Lagos y Volcanes del Anáhuac, con un sistema de topoformas que corresponde a lomerío de aluvión antiguo con llanuras de depositación lacustre. (Raisz E., 1959-1964).

La subprovincia geológica Lagos y Volcanes del Anáhuac posee una fisiografía irregular a consecuencia de los procesos geológicos que la originaron. La emanación de potentes derrames magmáticos durante todo el cuaternario debido a la migración de fluidos incandescentes procedentes del manto hacia la litosfera terrestre a través de una superficie de debilidad generada en la corteza a consecuencia de procesos de subducción y cambio de rotación en las placas tectónicas de Cocos y Norteamericana, además de las alteraciones tectónicas que estos eventos provocaron, se propició la formación de volcanes y elevaciones orográficas, que al ser expuestas a procesos exógenos se

erosionaron y el sedimento rellenó las partes bajas formando el Valle de México, sitio donde se encuentra la zona de estudio.

La subprovincia fisiográfica Lagos y volcanes del Anáhuac está integrada por grandes sierras volcánicas que se alternan con amplios vasos lacustres, este sector fisiográfico es resultado de potentes derrames lávicos que experimentó la litosfera terrestre en este sector durante el terciario superior y cuaternario, estos derrames magmáticos dieron origen a los potentes campos volcánicos que actualmente se encuentran distribuidos en todo el sector fisiográfico.

La fisiografía local en el sitio de los estudios corresponde a una llanura rodeada por montañas de elevación media formadas por horizontes geológicos de edad pleistocena, esta zona se encuentra dentro del campo de depositación aluvial rodeado por exposiciones volcánicas de basaltos, andesitas, lahar y tobas que engloban a una serie de formaciones producto de emisiones de lava y conos cineríticos.(INEGI, 2023)

Geología

La geología de la zona, está constituida por cuatro unidades litológicas, una de origen volcánico y tres de origen sedimentario identificadas como brecha volcánica básica (Ts(Bvb)), brecha sedimentaria (Ts(bs)) depósitos aluviales (Q(al)) y lacustres (Q(la)), su distribución se muestra en la (Figura 7) y seguida la descripción geológica de las unidades.

Brecha volcánica básica ts(bvb)

Unidad constituida por bloques angulosos y subangulosos de basalto vesicular, embebidos en una matriz de tobas gruesa y escoria, ocasionalmente se intercalan horizontes de toba gruesa poco consolidada, la unidad presenta color negro y gris, sobre yace a los basaltos del terciario y subyace en la zona a los depósitos aluviales del cuaternario.

Esta unidad constituye un acuífero profundo con buena permeabilidad y con posibilidades de aportación de caudales altos.

Depósitos aluviales q(al)

Unidad no consolidada de suelo residual, consistente de arcillas y arenas con lentes ocasionales de gravas y gravillas, es producto de la desintegración de rocas preexistentes, su espesor es menor de los 300 metros, con una morfología de planicie, constituye un acuífero con una permeabilidad media a alta, dependiendo de su compactación y contenido de material arcilloso.

Depósitos lacustres q(la)

Depósitos de limo, arenas y materia orgánica que se forma en zonas bajas y lagunares con drenaje deficiente, es posible identificar en las arenas minerales como cuarzo, feldespatos y nódulos de hematita, así como fragmentos líticos.

Su espesor es reducido y se encuentran expuestos al noreste de la población de Tultepec.

Geohidrología

Aprovechamientos de agua subterránea

De acuerdo con el censo reportado por la CONAGUA en 2024, en el municipio de Tultepec se encuentran 34 aprovechamientos subterráneos que extraen agua del acuífero

a través de pozos profundos, (Figura 8). Cabe señalar que las coordenadas reportadas en el censo fueron las que se utilizaron para georreferenciar los pozos; sin embargo, algunos quedaron fuera de los límites del municipio.(CONABIO, 2023)

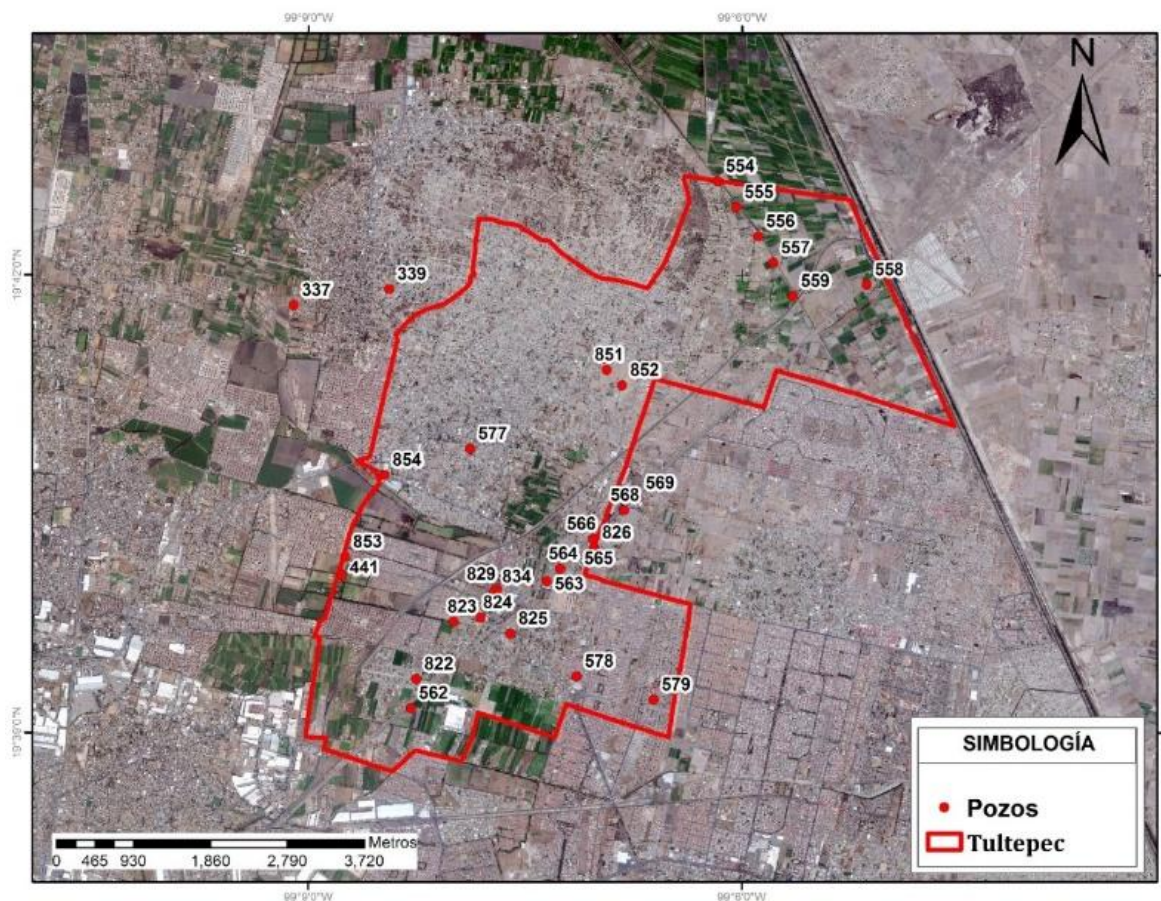


Figura 8 Ubicación de aprovechamientos hídricos en el Municipio de Tultepec

En el Cuadro 1 y Cuadro 1.2 se presenta el reporte del censo para los pozos del municipio de Tultepec.

Cuadro 1 Censo de aprovechamientos subterráneos en el municipio de Tultepec, parte 1

CLAVE	NOMBRE DEL POZO	POBLACION	MPIO.	DIRECCION	USUARIO	COORDENADA		ELEVACION (msnm)
						X	Y	
337		COLONIA MELCHOR OCAMPO	TULTEPEC	CALLE IXTLAHUACA S/N	COLONIA MELCHOR OCAMPO	484,101	2,177,924	2,268
339	POZO XOXCOTLA	COLONIA MELCHOR OCAMPO	TULTEPEC	PASEO TLAIXCO COLONIA EDUCACIÓN	COLONIA MELCHOR OCAMPO	485,255	2,178,116	2,269
441		COLONIA LA VIRGEN	TULTEPEC	CALLE LA VIRGEN S/N	RANCHO SAN JOAQUÍN	484,679	2,174,659	2,252
554	POZO No. 5 CASTERA	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	489,223	2,179,423	2,257
555	POZO No. 4 CASTERA	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	489,452	2,179,106	2,246
556	POZO No. 3 CASTERA	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	489,713	2,178,757	2,250
557	POZO No. 2 CASTERA	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	489,895	2,178,435	2,261
558	POZO No. 25 BIS	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	491,025	2,178,172	2,250
559	POZO No. 1 CASTERA	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	490,132	2,178,034	2,265
560	POZO No. 18	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	488,458	2,175,775	2,260
561	POZO No. 3	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	482,940	2,170,718	2,252
562	POZO No. 10 BIS	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	485,516	2,173,055	2,267
563	POZO No. 14 BIS	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	487,158	2,174,589	2,246
564	POZO No. 43	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	487,323	2,174,738	2,251
565	POZO No. 15	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	487,512	2,174,907	2,247
566	POZO No. 16	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	487,720	2,175,100	2,249
567	POZO No. 44	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	487,873	2,175,250	2,255
568	POZO No. 17	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	488,094	2,175,446	2,265
569	POZO No. 47	RAMAL REYES FFCC	TULTEPEC	CAMINO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	CNA BARRIENTOS	488,258	2,175,594	2,247
577	POZO SAN MARTÍN	SAN MARTÍN	TULTEPEC	BENITO JUÁREZ	SAN MARTÍN	486,235	2,176,189	2,255
578	POZO REAL DE TULTEPEC	REAL DE TULTEPEC	TULTEPEC		REAL DE TULTEPEC	487,520	2,173,437	2,249
579	POZO CTM	SAN PABLO CTM	TULTEPEC	CERRADA CALLE 4	CTM	488,452	2,173,157	2,251
582	POZO CENTENARIO	BARRIO SAN JUAN	TULTEPEC	5 DE FEBRERO	MUNICIPIO TULTEPEC	487,833	2,177,275	2,252
822	POZO COLONIA 10 DE JUNIO	SANTIAGO TEYAHUALCO	TULTEPEC	EMILIANO ZAPATA S/N	COLONIA 10 DE JUNIO	485,580	2,173,407	2,252
823	POZO PASEO DE TULTEPEC 1	SANTIAGO TEYAHUALCO	TULTEPEC	PASEO DE LA BELLEZA	PASEO DE TULTEPEC 1	486,033	2,174,099	2,254
824	POZO RANCHO NUEVO	SANTIAGO TEYAHUALCO	TULTEPEC	JOAQUÍN MONTENEGRO S/N	RANCHO NUEVO	486,357	2,174,148	2,254
825	POZO PLAZA CÍVICA	SANTIAGO TEYAHUALCO	TULTEPEC	BENITO JUÁREZ S/N	PLAZA CÍVICA EZEQUIEL FLORES FUENTES	486,721	2,173,955	2,248
826	POZO PASCUAL	SAN PABLITO	TULTEPEC	MARIANO AZUELA	POZO PASCUAL	487,733	2,174,991	2,242
829	POZO RANCHO SAN PABLO	BARRIO LA MANZANA	TULTEPEC	JOAQUÍN MONTENEGRO S/N	POZO RANCHO SAN PABLO	486,558	2,174,490	2,247
834	POZO RANCHO SAN PABLO	BARRIO LA MANZANA	TULTEPEC	JOAQUÍN MONTENEGRO S/N	POZO RANCHO SAN PABLO	486,524	2,174,460	2,242
851	POZO EJIDO	SAN ANTONIO XAHUENTO	TULTEPEC	CAMINO A XAHUENTO	POZO EJIDO	487,883	2,177,144	2,250
852	POZO EJIDO	SAN ANTONIO XAHUENTO	TULTEPEC	CAMINO A XAHUENTO	POZO EJIDO	488,069	2,176,956	2,246
853	POZO SAN JOAQUÍN	PARAJE SAN PABLO	TULTEPEC	CAMINO A SAN PABLO DE LAS SALINAS S/N	POZO SAN JOAQUÍN	484,719	2,174,882	2,260
854	POZO EUROCAR	PRADOS ECATEPEC	TULTEPEC	2 DE MARZO # 100	EUROCAR DE MÉXICO	485,197	2,175,871	2,259

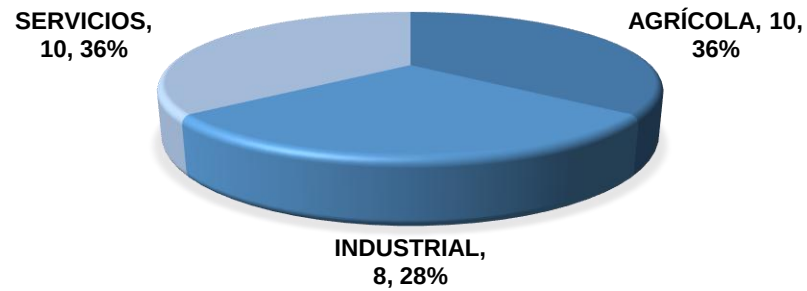
(CAEM, 2023)

Cuadro 2 Censo de aprovechamientos subterráneos en el municipio de Tultepec, parte 2

CLAVE	NOMBRE DEL POZO	TIPO DE APROVECHAMIENTO	SITUACION	PROFUNDIDAD	USO DEL AGUA	GASTO	VOLUMEN
337		POZO	ACTIVO	120	AGRÍCOLA	0.026	117,936
339	POZO XOXOCOTLA	POZO	ACTIVO	200	AGRÍCOLA	0.083	627,480
441		POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.039	294,840
554	POZO No. 5 CASTERA	POZO	ACTIVO	120	SERVICIOS	0.011	95,040
555	POZO No. 4 CASTERA	POZO	ACTIVO	120	SERVICIOS	0.009	56,376
556	POZO No. 3 CASTERA	POZO	ACTIVO	150	SERVICIOS	0.018	307,476
557	POZO No. 2 CASTERA	POZO	ACTIVO	150	SERVICIOS	0.024	441,504
558	POZO No. 25 BIS	POZO	INACTIVO	150	AGRÍCOLA	NO OPERA	
559	POZO No. 1 CASTERA	POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.045	252,720
560	POZO No. 18	POZO	INACTIVO	100	AGRÍCOLA	NO OPERA	
561	POZO No. 3	POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.040	129,600
562	POZO No. 10 BIS	POZO	ACTIVO	80	INDUSTRIAL	0.003	23,652
563	POZO No. 14 BIS	POZO	INACTIVO	100	AGRÍCOLA	NO OPERA	
564	POZO No. 43	POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.092	496,800
565	POZO No. 15	POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.067	264,114
566	POZO No. 16	POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.036	236,520
567	POZO No. 44	POZO	ACTIVO	150	SERVICIOS	0.007	91,980
568	POZO No. 17	POZO	ACTIVO	180	SERVICIOS	0.009	118,260
569	POZO No. 47	POZO	INACTIVO		SERVICIOS	NO OPERA	
577	POZO SAN MARTÍN	POZO	ACTIVO	150	INDUSTRIAL	0.028	662,256
578	POZO REAL DE TULTEPEC	POZO	ACTIVO	238	INDUSTRIAL	0.021	662,256
579	POZO CTM	POZO	ACTIVO	81	INDUSTRIAL	0.012	378,432
582	POZO CENTENARIO	POZO	ACTIVO	100	AGRÍCOLA	0.005	17,280
822	POZO COLONIA 10 DE JUNIO	POZO	ACTIVO	130	SERVICIOS	0.016	147,456
823	POZO PASEO DE TULTEPEC 1	POZO	ACTIVO	150	SERVICIOS	0.032	368,640
824	POZO RANCHO NUEVO	POZO	INACTIVO	100	SERVICIOS	NO OPERA	
825	POZO PLAZA CÍVICA	POZO	ACTIVO	180	SERVICIOS	0.014	239,148
826	POZO PASCUAL	POZO	ACTIVO	150	AGRÍCOLA	0.044	202,752
829	POZO RANCHO SAN PABLO	POZO	ACTIVO	150	SERVICIOS	0.024	155,520
834	POZO RANCHO SAN PABLO	POZO	INACTIVO	100	SERVICIOS	NO OPERA	
851	POZO EJIDO	POZO	ACTIVO	100	INDUSTRIAL	0.017	536,112
852	POZO EJIDO	POZO	ACTIVO	120	INDUSTRIAL	0.008	129,600
853	POZO SAN JOAQUÍN	POZO	ACTIVO	200	INDUSTRIAL	0.008	184,320
854	POZO EUROCAR	POZO	ACTIVO	200	INDUSTRIAL	0.025	788,400

(CAEM, 2023)

De los 34 pozos, 6 se reportaron como inactivos, 3 de uso agrícola y 3 de servicios y de los pozos activos su distribución por uso del agua es la presentada en la Gráfica 4. Se observa que el número de pozos agrícolas y de servicios es el mismo.



Grafica 4 Clasificación por uso del número de pozos activos en el municipio de Tultepec

En la (Figura 9) se presenta la imagen del pozo Centenario y en la (Figura 10) del pozo San Martín, localizados en la cabecera municipal de Tultepec.



Figura 9 Pozo centenario



Figura 10 Pozo San Martín

Geohidrología

Una unidad geohidrológica es uno o varios tipos de roca o material granular cuyas características fisicoquímicas permiten, en diferente grado almacenar y transmitir el agua subterránea.

En el municipio de Tultepec se presentan tres unidades geohidrológicas, el 78% de la superficie del municipio corresponde a una unidad con materiales no consolidado con posibilidades altas, el 14% a materiales no consolidado con posibilidades medias y el restante 8% a materiales consolidado con posibilidades bajas. De acuerdo a lo reportado en la carta de Hidrología de Aguas Subterráneas Ciudad de México , E1402, Escala: 1: 250 000 del INEGI (Figura 11).

Unidad geohidrológica u1

En el sitio de estudio, esta unidad Geohidrológica corresponde a la capa más superficial de la zona, esta unidad va desde el nivel de terreno natural hasta un piso que oscila entre 160 y 300 metros de profundidad, ésta unidad corresponde a estratos de material granular donde se intercalan pequeñas secuencias de material fino que resultan de la depositación de sedimentos limosos y arcillosos con secuencias de material de granulometría media (arenas y gravas) que indican ambientes de depositación en los que la energía del agente de transporte era baja a media, como lo son ambientes lacustres y llanuras de inundación.

Unidad geohidrológica u2

Esta unidad geohidrológica corresponde geológicamente a potentes horizontes de roca volcánica que van desde secuencias melanocráticas (Basaltos principalmente) que resultan de la emanación a la superficie de potentes derrames de material lávico muy denso y viscoso a consecuencia de su alta concentración de minerales ferromagnesianos, hasta secuencias leucocráticos (tobas cineríticas ignimbritas) que son resultado de la emanación de material piroclástico, bombas y lapillis, ricos en minerales feldespatoideos a la superficie, además de secuencias que tienen una marcada aportación de minerales tanto leucocráticos como melanocráticos (Andesita).

Estos horizontes de origen volcánico se caracterizan por tener una marcada alteración estructural a consecuencia de su disposición frágil, esta alteración marcada principalmente por fractura miento favorece una porosidad secundaria elevada en los horizontes mismos que al estar saturados de agua dotan al sistema de una elevada conductividad hidráulica, lo que hace que esta unidad represente el acuífero más somero de la zona mismo que en la actualidad es el que se está explotando.

En general esta unidad geohidrológica corresponde al acuífero de la zona, es la de aporte hídrico a los actuales aprovechamientos que se tienen en la demarcación de Tultepec en el Estado de México.

La cima de esta unidad geohidrológica se sitúa en un rango que oscila entre los 160 y 300 metros de profundidad y muestra continuidad transversal hasta la profundidad máxima de exploración lograda en la resiente de exploración geofísica (300 A 400 m. de profundidad aproximadamente).

Correlacionando los datos obtenidos en cada una de las prospecciones geofísicas realizadas en la zona se determinó que superficialmente sólo se encuentra aflorando la unidad geo eléctrica definida como U1.

La (Figura 12) se muestra la distribución de las secciones de investigación y distribución de la unidad geo eléctrica U1 en correlación con los resultados obtenidos. (CONABIO, 2023)



Figura 12 Distribución geohidrológica en la zona de estudio

Acuíferos del área

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) el área de estudio, pertenece al acuífero Cuautitlán-Pachuca, y ocupa la porción suroeste del acuífero, (Figura 13).

Es un acuífero de tipo semiconfinado a libre, constituido hacia su porción profunda por una secuencia de basaltos, brechas y tobas intercalada con materiales piroclásticos finos y sedimentos lacustres, que son permeables, y cubriendo a esta secuencia se tienen arenas, arcillas y tobas, poco permeables, con intercalaciones de lavas basálticas, que localmente constituyen rocas de moderada a buena capacidad productora. En lo referente a la hidrología subterránea, los materiales geológicos son altamente permeables lo que permiten la recarga de

acuíferos. Ante esta condición la explotación del acuífero ha sido intensiva, al igual que en el resto de la Cuenca del Valle de México.

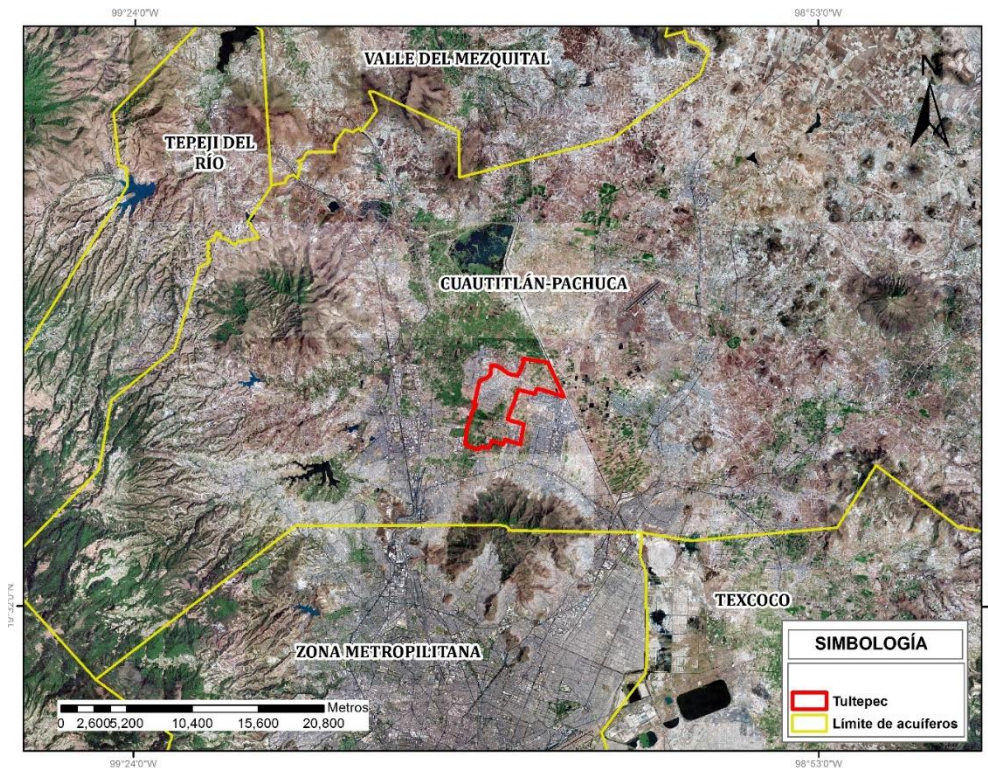


Figura 13 Acuífero en la zona de estudio

En el área de estudio se presentan las características hidrológicas similares al acuífero regional, ya que los materiales presentes están constituidos por los aluviones, depósitos fluviales y lacustres como son arcillas, limos, arenas y gravas, intercalaciones de materiales piroclásticos cuyo predominio son las tobas arenosas y pumíticas, y por la heterogeneidad y anisotropía de estos materiales, así como su distribución, en el subsuelo, presentan una permeabilidad predominante moderada a buena. (CONAGUA, 2023)

Exploración geofísica

Fundamento básico

Determinar la constitución del subsuelo, ha ocupado desde los más remotos tiempos la atención del hombre, tanto con fines puramente científicos, como para descubrir los recursos naturales que encierra.

De las observaciones directas y la deducción, nació la Geología, que preside y controla toda actividad científica cuyo objeto sea la tierra en su mayor aceptación.

Con el paso del tiempo y pese al gran desarrollo que experimenta la Geología se hace pertinente lo insuficiente de esta ciencia para determinar cuantitativamente la forma y constitución de los materiales en el subsuelo, no sólo cuando se encuentran recubiertos por una delgada capa de sedimentos recientes, sino también para confirmar extrapolaciones a que las rocas aflorantes y su modo de yacer indican.

Una nueva rama de la ciencia proveniente del campo de la Física permitiría, midiendo determinadas propiedades físicas de las rocas, aumentar el parecido de la realidad del modelo geológico del subsuelo elaborado a partir de la observación directa.

Esta joven rama de las ciencias de la naturaleza es la Geofísica, su aplicación práctica se efectúa en las modalidades o métodos principalmente magnético, eléctrico, gravimétrico, sísmico y radioactivo, según las propiedades de las rocas.

De estos métodos, el eléctrico es la modalidad terrestre o geo eléctrico que, por gran flexibilidad, poder resolutivo y bajo costo, mayor difusión ha alcanzado.

Los métodos geo eléctricos aprovechan directa o indirectamente la resistividad eléctrica de las rocas, para determinar la naturaleza litológica del subsuelo.

Se aplican con éxito en la investigación de sustancias minerales útiles, en estudios hidrogeológicos, en la ingeniería civil y en estratigrafía geológica para determinar contactos no aflorantes y trazar cortes cuantitativos.

Dentro de los métodos de prospección geo eléctrica uno de los más empleados son los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Se entiende por Sondeo Eléctrico Vertical y para ello resulta muy apropiado transcribir la definición dada por Orellana (1982): "Se llama Sondeo Eléctrico Vertical a una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción". Cuando el dispositivo es simétrico y durante la medición permanece fijo el del mismo y el centro del segmento de recepción MN, se suele denominar Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

Relación resistividad-aportación de agua

La resistividad eléctrica es una propiedad de los materiales que debido a su composición no permiten flujo de corriente eléctrica a través de su estructura interna.

Los materiales de composición metálica al ser conductivos ofrecen una resistividad muy baja, mientras que los no metálicos experimentan una resistividad eléctrica elevada. Este comportamiento resistivo se expresa de igual manera en formaciones rocosas, horizontes geológicos cuya composición esta principalmente representada por agregados minerales metálicos como en el caso de la Ferrita, Pirita, Grafito, Galena, Magnetitas, Pizarras, etc., muestran una resistividad muy baja, en rangos menores a 10^{-2} Ohm-m, bajo condiciones naturales de formación. Por su parte, los agregados no metálicos expresan una resistividad alta, del orden de 10^2 a 10^8 Ohm-m como lo son la Anhidrita, Blenda, Cinabrio, algunas Calizas, etc. e incluso muy alta, con valores que superan los 10^8 Ohm-m como lo son el Cuarzo, Feldespatos, Sulfatos, Micritas, etc. también bajo condiciones primarias de formación.

El comportamiento resistivo de los distintos materiales geológicos experimenta variaciones a consecuencia su anisotropía; sin embargo, existen otros factores que alteran la respuesta resistiva del material. En horizontes geológicos sus condiciones formaciones cambian a lo largo del tiempo, factores como la evolución de la corteza terrestre modifican su estructura interna, generalmente deformándolos y fracturándolos, las fracturas son espacios dentro de un horizonte geológico formados por diferenciación de esfuerzos a lo largo de la secuencia. La presencia de fracturas en un horizonte geológico altera la respuesta reactiva de los materiales, debido a que los espacios vacíos son saturados por diversos fluidos.

Los fluidos que comúnmente saturan los espacios porosos de formaciones a profundidad son muy variados, van desde sustancias orgánicas hasta inorgánicas.

En secuencias superficiales los fluidos de saturación más comunes son agua y aire. El aire posee un valor de resistividad eléctrica del orden de 1.3 a 3.3 Ohm-m según sus condiciones de temperatura; por otro lado, el agua dulce oscila su respuesta resistiva a consecuencia de la concentración de minerales disueltos que pueda tener en un rango que va de 0.8 a 103 Ohm-m. La presencia continua de valores de resistividad en estos rangos durante la ejecución de sondeos eléctricos verticales sugiere la presencia de estos fluidos saturando los espacios porosos de las unidades exploradas.

En el campo de la geohidrológica es de interés identificar la presencia de agua en formaciones geológicas, para ello se emplean métodos de prospección geofísica que permiten, a través de medios indirectos, identificar la presencia de agua saturando los espacios porosos de una determinada formación geológica.

Los Sondeos eléctricos verticales como los empleados en el presente estudio, son una herramienta eficaz que permite identificar tipos de secuencia y fluidos que la suturan dispuestos en el subsuelo. Así, mediante el análisis de la respuesta reactiva de los materiales a distintas

profundidades se puede definir el grado de saturación por agua que los horizontes geo eléctricos poseen, identificando así los aportes de agua por parte de los horizontes a las obras de extracción. Así, la repetición continua de valores de resistividad en diferentes rangos sugiere el tipo de secuencia y porosidad en ella, además del tipo de fluido que lo satura.

Características del equipo empleado

Para la ejecución de los sondeos, se utilizó un equipo para medidas de resistividades del subsuelo, marca Súper Sting, modelo R1 IP, fabricado por Advanced Geosciences Inc., USA, con salida de voltaje mayor de 400 voltios, utilizando una fuente de poder consistente de una batería (acumulador) de 12 voltios, Figura 6.1. (CAEM, 2023)



Figura 14 Equipo utilizado

Metodología

De acuerdo con la CAEM (2023) el método consiste en inyectar corriente eléctrica continua al subsuelo, en dos puntos extremos y medir el paso de la corriente, detectando la diferencia de potencial en dos polos interiores, logrando una penetración cada vez mayor en el subsuelo al ir abriendo los puntos de inyección, (Figura 15); en este caso la abertura electródica fue de entre 600 y 1000 metros, según las condiciones del terreno de prueba para una profundidad de investigación del orden de los 200-400 metros, en este caso, el método o arreglo empleado fue el Schlumberger, (Figura 16).

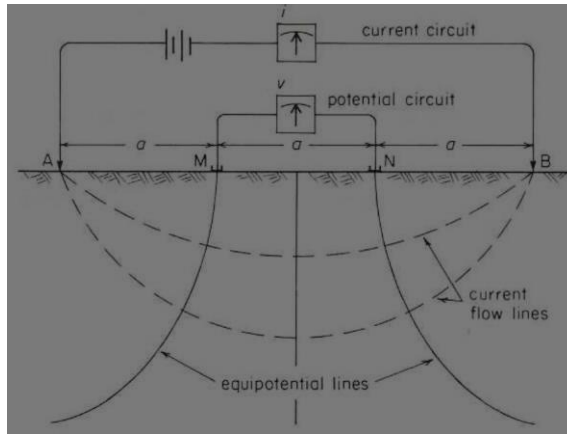


Figura 15 Disposición del arreglo geofísico a emplear

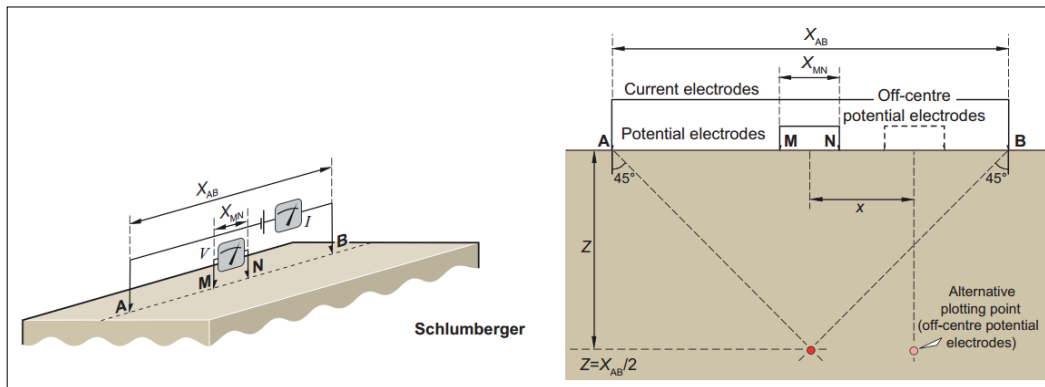


Figura 16 Conjunto de electrodos y arreglo Schlumberger

Para la interpretación del sondeo, se utilizó el programa Resix Plus Versión 2.34, diseñado por Interpex limited (Denver Colorado). (CAEM, 2023)

Actividades desarrolladas

Investigaciones preliminares. – Esta etapa consistió en labor dentro de la oficina se elaboró investigaciones principales tomando fuentes de información y recopilando datos ya extraídos.

Etapa 1.- Etapa de presentación de los trabajos a las autoridades municipales, donde fuimos atendidos por el Director del Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento del municipio (ODAPAS), quienes aceptaron el trabajo y se comprometieron a brindar apoyo con la información necesaria; particularmente, los sitios en los que conviniera realizar los 5 sondeos previstos; así como, programar el acompañamiento durante la ejecución de los mismos.

Etapa 2.- La segunda etapa de campo consistió en la definición de los 5 sitios para los sondeos, por parte del personal del OAPAS, (Figura 17).



Figura 17 Recorrido previo por los sitios de los sondeos

Etapa 3.- En la tercera etapa de campo, se ejecutaron los cinco sondeos eléctricos verticales por el método de resistividad eléctrica. En forma paralela a las etapas de campo se realizó la verificación de unidades geológicas expuesta en la zona y demás información complementaria, (Figura 2.8).



Figura 18 Realización de los SEVs

Etapa 4.- Posterior a las etapas de campo se llevó a cabo la etapa de gabinete, con la interpretación de sondeos y su correlación con la información geológica tomada de la carta de INEGI E14-2 Ciudad de México escala 1: 250,000, para finalizar con un análisis de resultados, conclusiones y la propuesta de un diseño de pozo y la integración del presente informe.

Ejecución de los sondeos eléctricos verticales

Dos sondeos SEV 1 y SEV 5, se ubicaron dentro de la población de Tultepec, en tanto que las tres mediciones restantes fueron localizadas en las inmediaciones de la misma población hacia la parte sur-sureste de la misma.

Esta ubicación se muestra en la (Figura 19), con sus coordenadas geográficas correspondientes, (Cuadro 3).

información y recolectándola.



Figura 19 Ubicación de los SEV realizadas en el presente estudio

Cuadro 3 Coordenadas de cada uno de los sitios analizados

SONDEO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
SEV1	19°41'116"	99° 08' 14.2"
SEV2	19° 40'16.0"	99° 07' 35.5"
SEV3	19°40' 17.3"	99° 07' 06.7"
SEV4	19°40' 51.9"	99° 06' 48.1"
SEV5	19°41' 16.1"	98° 06' 49.3"



Figura 20 Figura 1.1. Orientación de la línea de investigación en cada sitio explorado

La orientación del eje de los tendidos en cada uno de los sitios investigados se muestra en la (Figura 20).

Cuadro 4 Coordenadas de cada uno de los sitios analizados

SONDEO	UBICACIÓN	URIENTACIÓN
SEV 1	Calle Barranca de la Cantera	Noreste-Suroeste
SEV 2	Costado del Circuito Exterior Mexiquense	Noreste-Suroeste
SEV 3	Av. De los Parajes	Noreste-Suroeste
SEV 4	Costado del Circuito Exterior Mexiquense	Noreste-Suroeste
SEV 5	Av. de los Parajes	Noreste-Suroeste

Sondeos eléctricos verticales

Sev 1

Se realizó en la calle Barranca de la cantera, en dirección noroeste-suroeste, la interpretación de las lecturas geo eléctricas tomadas en campo muestran que en este punto se tiene una acumulación superficial de aproximadamente 35 m. de material granular sin saturación de agua en sus espacios porosos al que se representa como horizonte "A", subyaciendo a este horizonte se tiene una acumulación de material genéticamente similar al del horizonte "A", sin embargo en éste, los valores de resistividad eléctrica muestran un aumento en su orden de magnitud, lo que indica que tienen saturación de agua dulce, sobre todo en el base del horizonte, este horizonte geo eléctrico es el identificado como "B" este horizonte aportaría agua al pozo proyectado, sobre todo hacia la base del horizonte. Finalmente, a los 280 m. de profundidad en este punto se tiene la cima de un horizonte geo eléctrico con alta saturación de fluido en sus

espacios porosos, al que se refiere como horizonte “C” este horizonte tiene continuidad transversal más allá del intervalo explorado y representa un potente acuífero en el sitio.

En general, de entre todos los sitios explorados éste punto posee las condiciones más favorables para que en él se realice la perforación del pozo profundo con fines de explotación de agua potable.(Figura 21)



Figura 21 Ejecución del SEV 1

Sev 2

Esta exploración geo eléctrica se realizó en dirección noreste-suroeste de forma paralela al circuito exterior mexiquense, en este punto el material identificado como “A” en función a su comportamiento geo eléctrico, mostró un espesor de 15 m. aproximadamente, bajo éste, el horizonte “B” mostró un espesor de aproximadamente 265 m aproximadamente a los 280 metros se encuentra la cima del horizonte “C” en este punto.

En general este punto posee condiciones favorables para realizar en él la barrenación de un pozo profundo para aprovechamiento de agua potable. (Figura22)



Figura 22 Ejecución del SEV 2

Sev 3

En esta prospección eléctrica realizada en un eje de investigación de dirección noreste-suroeste, sobre la avenida Los Parajes, se registró la presencia del intervalo “A” en una profundidad aproximada de 35 m. en este punto las condiciones del intervalo “A” son iguales a las registradas en los otros puntos explorados, subyaciendo a este horizonte se dispone el horizonte geo eléctrico “B” en un intervalo de 145 metros aproximadamente, finalmente el horizonte “C” en este punto, se dispone a los 180 m de profundidad aproximadamente.

Este sitio posee condiciones adecuadas para llevar a cabo en él la perforación de un pozo profundo con fines de explotación de agua potable. (Figura 23)



Figura 23 Ejecución del SEV 3

Sev 4

Este sondeo eléctrico realizado en un eje de investigación en dirección noreste-suroeste paralelo al Circuito Exterior Mexiquense, se definió la presencia de los horizontes geo eléctrico presentes también en los otros puntos de investigación, en este caso, el horizonte geo eléctrico “A” posee un espesor de aproximadamente 20 metros, sus condiciones geohidrológicas son iguales a las obtenidas en los otros ejes de investigación. Subyaciendo al horizonte “A” se tiene el horizonte “B”, en este caso el horizonte “B” muestra menor porosidad en comparación a los otros sitios investigados, en este sector el horizonte “B” tiene un espesor aproximado de 290

metros. En esta línea de investigación el horizonte geo eléctrico “C” tiene su cima aproximadamente a los 310 metros de profundidad.

Aunque en general este sitio muestra un estatus de aportación de agua en un posible pozo de aprovechamiento, en comparación a los otros puntos explorados es el que representa las condiciones geohidrológicas más desfavorables al tener un espesor más grande del horizonte “B” y este a su vez muestra menos espacio poroso en su estructura interna. (Figura 24)



Figura 24 Ejecución del SEV 4

Sev 5

Esta exploración eléctrica se realizó paralela a la avenida de los Parajes, en una sección de investigación con orientación noreste-suroeste. En este sector el Horizonte “A” muestra un espesor aproximado de 20 m de profundidad, bajo éste y en un intervalo de aproximadamente 220 metros se dispone el horizonte “C” con buenas condiciones de saturación y drenaje, sobre todo hacia su base. El horizonte “C” en esta línea de investigación muestra una cima a los 240 metros de profundidad aproximadamente, con continuidad transversal hasta el máximo de investigación.

En general el sitio posee condiciones favorables para barrenar un pozo profundo con fines de explotación de agua potable proyectado.

Al efectuar los cinco levantamientos geo eléctricos mediante el método Schlumberger y de acuerdo al cálculo y ajuste de los modelos procesados, se ha logrado identificar tres unidades geoléticas características en cada uno de los perfiles sondeados; así mismo, es necesario entender que la última capa presente dentro de los modelos no adquiere un espesor y por ende una profundidad a la siguiente capa, esto debido al espaciamiento máximo entre los electrodos en superficie. (Figura 25)



Figura 25 Ejecución del SEV 5

Al termino de los sondeos esperamos la respuesta por parte de El Gobierno del Estado de México, a través de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM)

Para brindar la interpretación de los resultados obtenidos en los sondeos verticales para poder darle seguimiento y elaboración de la propuesta de planos para la aprobación de Conagua

Conclusiones y recomendaciones

Selección del sitio del proyecto

En general todos los sitios analizados poseen un modelo de distribución Geohidrológica en el que intervienen tres capas, siendo las potencialmente aportadoras de agua a una posible explotación mediante pozo profundo la base de la capa "B" y todo el horizonte "C", en general en todos los puntos explorados habría aportación de agua, sin embargo, jerarquizando en función a la información obtenida en cada uno de los tendidos, el punto del SEV1 muestra las mejores condiciones del sistema geohidrológico.

En el Cuadro 17 se ordena cada uno de los sitios explorados del más favorable al que muestra las condiciones de aportación más desfavorables.

Cuadro 5 Condición geohidrológica en cada sondeo

Sondeo eléctrico vertical	Aportación de agua a un sistema de explotación mediante pozo profundo	Condición geohidrológica
SEV 1	Muy buena	 M M
SEV 2	Buena	
SEV 5	Buena	
SEV 3	Regular	
SEV 4	Regular	

La profundidad de explotación recomendada es de 300 metros en donde la recomendación es en principio, realizar una perforación exploratoria hasta los 300 correr un registro eléctrico y realizar una prueba de aforo de 12 a 24 horas y verificar la calidad del agua; en función de estos resultados y su interpretación se proyectará la terminación definitiva del pozo, o bien profundizar más la exploración o suspender el proyecto de perforación y considerar realizar nuevamente la exploración, esta vez en el sitio del SEV2.

De confirmarse la buena condición del sitio del SEV1 se propone un prediseño del pozo con las características constructivas consideradas en el Cuadro 18 y en la figura 33 su esquema. (CAEM, 2023)

Cuadro 6 Principales características de construcción para perforación del pozo profundo en el sitio del SEV1

PROFUNDIDAD DE PROYECTO (P.P)	300 m
DIÁMETRO DE EXPLORACIÓN	22"

DIÁMETRO DE AMPLIACIÓN PARA CONTRADEME	26"
LONGITUD DE AMPLIACIÓN PARA CONTRADEME	6 m
DIÁMETRO DE TUBERÍA DE ACERO PARA CONTRADEME	26"
LONGITUD DE TUBERÍA DE CONTRADEME	6 m
DIÁMETRO DE TUBERÍA DE ACERO PARA ADEME	12"
LONGITUD DE TUBERÍA DE ADEME LISO	200 m
LONGITUD DE TUBERÍA DE ADEME RANURADO	100 m
TIPO DE TUBERÍA DE ADEME:	CEDAZO CANASTILLA DE 1 mm
TIPO DE FILTRO DE GRAVA:	CRIBADA DE 1/8 A 1/4 DE PULGADA
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PERFORADO	
PERFORACIÓN EN MATERIAL TIPO I	35 m
PERFORACIÓN EN MATERIAL TIPO II	245 m
PERFORACIÓN EN MATERIAL TIPO III	20 m
EQUIPO DE PERFORACIÓN RECOMENDADO	ROTARIA

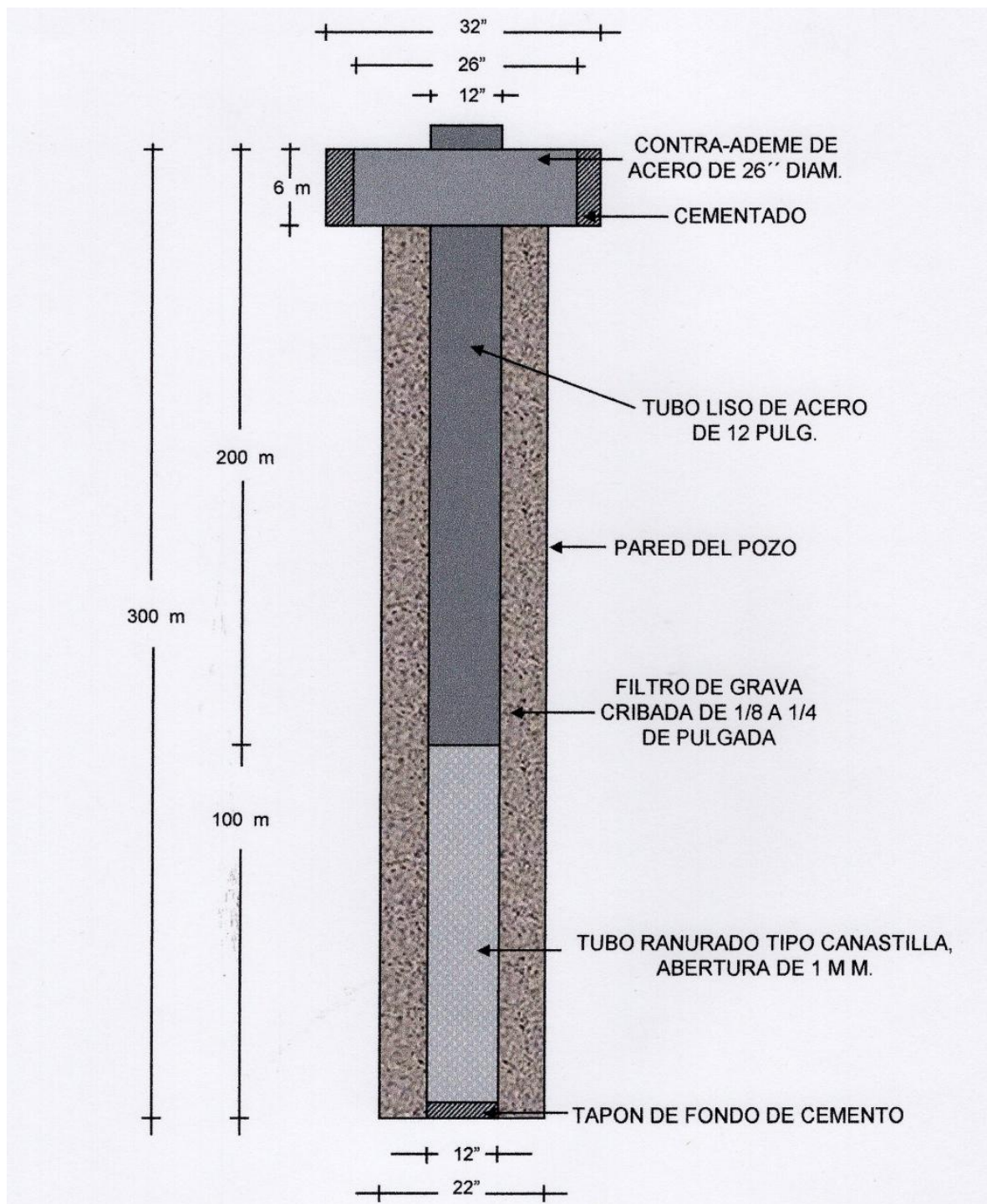


Figura 26 Propuesta de diseño del pozo para el sitio seleccionado

- Regionalmente la zona la constituye un valle de grandes dimensiones, constituido por un relleno aluvial y en partes bajas por depósitos lacustres, sobresalen afloramientos de rocas volcánicas extrusivas, del tipo de brechas sedimentarias y brechas volcánicas básicas, que constituyen el basamento del valle.
- Los depósitos aluviales presentan un espesor de aproximadamente 200 metros, éstos están conformados por arenas y arcillas semi compactadas principalmente sobre yacen a horizontes litológicos volcánicos de textura y estructura definida entre los que se encuentran secuencias andesíticas, brechas volcánicas y tobas principalmente, el estado físico de estos horizontes es tenaz y semi compacto a compacto con alta porosidad secundaria.
- Los materiales volcánicos de brechas presentan buena conductividad hidráulica y constituyen acuíferos con buena aportación de agua subterránea. De acuerdo a los pozos perforados en la población de Tultepec, sus aportaciones son de 60 lps, con un nivel de saturación de agua subterránea del orden de los 190 metros, observados en los pozos en el Valle de México.
- La geofísica eléctrica, identifica un modelo estructural hasta una profundidad teórica de 350-400 metros, consistente en tres estratos, la estructura se representa en dos secciones, con las características siguientes.
- Aparece en ambas secciones un estrato superior y delgado (horizonte A) con espesor máximo de 31 metros, asociado con arenas y arcillas semi compactadas secas,
- La parte intermedia de la estructura está representada por el horizonte B, este horizonte está constituido por depósitos aluviales que rellenan el Valle de México, principalmente gravas, arenas y arcillas, con saturación de agua dulce en la parte inferior.

- La parte inferior de ambas secciones está representada por el horizonte C, su límite superior se ubica entre los 167 y los 298 metros, con una resistividad variable entre los 6.1 y los 465 ohm-m, se correlaciona con material piroclástico, andesitas y brechas volcánicas con diferente grado de compactación y consolidación con saturación de agua dulce en sus espacios porosos.
- Las características del sitio en el que se desarrolló el sondeo SEV1 muestra las mejores condiciones hidrogeológicas. En este sitio se recomienda ejecutar una perforación exploratoria, correr un registro eléctrico y realizar una prueba de aforo para valorar el diseño y perforación del pozo, o bien, el descarte del sitio.
- La profundidad de explotación recomendada es de 300 metros.

Competencias desarrolladas o aplicadas

Abastecimiento de agua

- Elabora los estudios preliminares y trabajos que se deben efectuar para el desarrollo de un proyecto.
- Elabora el proyecto ejecutivo de una línea de conducción a gravedad y/o bombeo para una localidad urbana o rural.

Dibujo en Ingeniería Civil

- Utiliza equipo de cómputo y software para el dibujo de planos topográficos, aplicando la simbología adecuada.
- Utiliza equipo de cómputo y software para el dibujo de planos arquitectónicos, aplicando la simbología adecuada.
- Utiliza equipo de cómputo y software para el dibujo de planos estructurales, aplicando la simbología adecuada.
- Utiliza equipo de cómputo y software para el dibujo de planos de instalaciones, aplicando la simbología adecuada.

Geología

- Conoce el campo de estudio de la Geología, su importancia en el área y la conformación del relieve continental para identificar las formaciones Geológicas.
- Aplica la geología y la cartografía en la ingeniería civil para los estudios geológicos.

Topografía

- Identifica la importancia de la topografía y sus conceptos para realizar levantamientos topográficos y los aplica en los diferentes proyectos de ingeniería civil.

Fuentes de informacion

- Comisión del Agua del Estado de México, CAEM, 2013. Proyecto Ejecutivo del Sistema de Agua Potable de la Cabecera Municipal de Tultepec. Estado de México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO.2018, Conjunto de datos vectorial Climas, escala 1:1 000 000. Consultado en octubre de 2018. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2024. Conjunto de datos vectorial, Cartas topográficas, escala 1:50 000, Edición 2023. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Consultado en octubre de 2024. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/imagen_cartografica/1_50_000/889463866350_geo.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2024. Conjunto de datos vectorial, Uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie VI (continuo nacional). Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Consultado en octubre de 2024. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/1_250_000/serie_VI/889463863298.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2024. Conjunto de datos vectorial, Provincias fisiográficas, escala 1:1 000 000 serie I (continuo nacional). Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Consultado en octubre de 2018. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/FISIOGRAFIA/702825690267.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2024. Conjunto de datos vectorial, Subprovincias fisiográficas, escala 1:1 000 000 serie I (continuo nacional). Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Consultado en octubre de 2024. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/FISIOGRAFIA/702825690267.pdf
- Plan de Desarrollo Municipal de Tultepec 2022- 2024. H. Ayuntamiento Constitucional de Tultepec, Recuperado de <tultepec.gob.mx/uploads/PLAN-DE-DESARROLLO-TULTEPEC.pdf>

- Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2024. Normales climatológicas de la estación Tultepec. Consultado en octubre de 2024. Recuperado de [Normales Climatológicas por Estado](#)
- Toda la información sobre el lago de Texcoco, consultado en diciembre 2024 [TODA LA INFORMACIÓN SOBRE EL LAGO DE TEXCOCO EN MÉXICO](#)

Anexos

Anexo 1 Juego de propuesta de planos

- ESTRUCTURA DE POZO PROFUNDO EPP-01-SEV2
- NIVELES DINAMICOS Y ESTATICOS NDE-01-SEV2

Anexo 2 resultados de estudio

- Resultados de los estudios extraídos en sitio con su interpretación