

*UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO*

# *AGUAS TERMALES*

## *del Estado de Hidalgo*

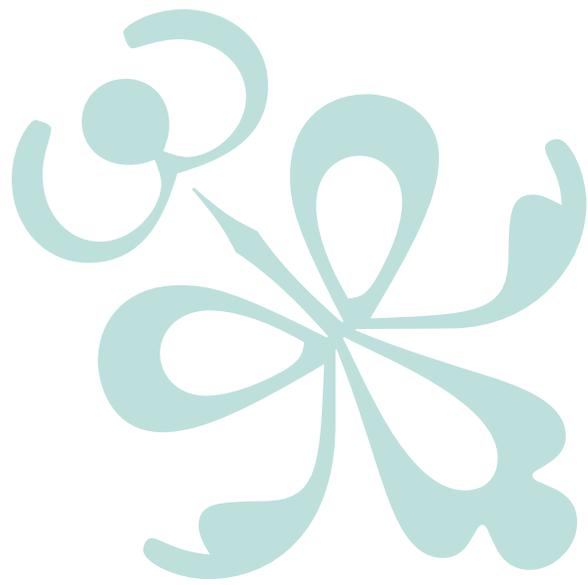
*M.C. Timoteo Camargo Cruz  
Dr. Juli3n N3ñez Ben3tez  
Ing. Javier Gera3im 3ngeles  
Hern3ndez*

# ***AGUAS TERMALES DEL ESTADO DE HIDALGO***

**Timoteo Camargo Cruz**

**Julián Núñez Benítez**

**Javier Geraím Ángeles Hernández**



***UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO***  
***ÁREA DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES***

# ***AGUAS TERMALES DEL ESTADO DE HIDALGO***

**Timoteo Camargo Cruz**

**Julián Núñez Benítez**

**Javier Geraím Ángeles Hernández**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, 2022



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

Adolfo Pontigo Loyola  
*Rector*

Octavio Castillo Acosta  
*Secretario General*

Marco Antonio Alfaro Morales  
*Coordinador de la División de Extensión de la Cultura*

Arturo Otilio Acevedo Sandoval  
*Director del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería*

**Fondo Editorial**

Asael Ortiz Lazcano  
*Director de Ediciones y Publicaciones*

Joselito Medina Marín  
*Subdirector de Ediciones y Publicaciones*

Primera edición electrónica: 2022

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
Abasolo 600, Col. Centro, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, C.P. 42000  
Dirección electrónica: editor@uaeh.edu.mx

El contenido y el tratamiento de los trabajos que componen este libro son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

**ISBN: 978-607-482-712-5**

Esta obra está autorizada bajo la licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd) No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para ver una copia de la licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.



Hecho en México/Printed in México

# *Índice*

	PAG.
PRÓLOGO	9
INTRODUCCIÓN	
Antecedente	10
Efectos curativos	13
ORIGEN GEOLÓGICO	14
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	17
ACATLÁN	
Manantial La Calera	20
AJACUBA	
Manantial Centro Vacacional Ajacuba	23
Noria Los Arcos	25
Noria La Carreta	27
Manantial Ejidal Las Lumbreras	29
Noria El Sol	31
ATOTONILCO DE TULA	
Manantial Vito	34

ATOTONILCO EL GRANDE	
Santa María Amajac	37
CALNALI	
Manantial Atempa	40
CARDONAL	
Grutas de Tolantongo	43
CHILCUAUTLA	
Manantial de Tlacotlapilco	46
HUICHAPAN	
Pozo Zamorano	49
Pozo Tagui Zethé	51
Manantial Pathecito	54
IXMIQUILPAN	
Manantial El Tephé	58
Manantial Tephathé	60
Manantial Dios Padre	62
Pueblo Nuevo	64
Manantial Maguey Blanco	67
Manantial El Alberto	70

PACHUCA	
Pozo N° 6 Téllez	74
TASQUILLO	
Manantial Tzindejeh	77
TECOZAUTLA	
Pozo Las Ánimas	80
Pozo Geotérmico Pathé (El Géiser)	82
Manantial Taxidhó	85
Manantial San Miguel Caltepanitla	88
Pozo La Cruz	91
Pozo El Arenal	94
TEZONTEPEC DE ALDAMA	
Manantial Tezontepec de Aldama	98
TULA	
Manantial La Cantera	101
BIBLIOGRAFÍA	103
GLOSARIO	105



## Prólogo

---

Las dependencias gubernamentales promotoras de turismo en el Estado de Hidalgo, asociaciones de balnearios ejidales y particulares poseedores de aguas termales tienen un futuro prometedor para fomentar el desarrollo de las actividades turísticas y medicinales del territorio volcánico hidalguense, que ofrece una variada clase de aguas minero-medicinales, paraíso balneológico de descanso, recreación y satisfacción para quienes buscan oportunidades turísticas de relajamiento y alivio a sus males físicos, siempre cuidando el agua y sin afectar el ambiente.

Considerando la importancia que representan estos recursos para el desarrollo económico y turístico de los municipios que cuentan con aguas termales mineromedicinales, así como el propósito de difundir los conocimientos sobre las zonas geohidrotermales del Estado de Hidalgo, el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo realizó la presente obra, que incluye, información sobre el origen geológico de las aguas termales, localización de los aprovechamientos en el Estado, vías de acceso, características geohidrológicas del lugar, análisis químico y usos del agua, con la integración de un mapa de localización que muestra la distribución geográfica y política de los focos hidrotermales en catorce municipios de la entidad, cuyas aguas son aprovechadas a través de pozos profundos, norias y manantiales.

**Timoteo Camargo Cruz**

# Introducción

---

## Antecedentes

Las aguas termales son aquellos recursos hidrológicos subterráneos que se manifiestan en la superficie con una temperatura mayor a la del agua normal dependiendo de su grado de temperatura, se clasifican en *hipertermales* cuando es mayor de 45°C, *mesotermales* de 36° a 45°C, e *hipotermales* de 21° a 35°C.

Cuando las aguas se mantienen a 20°C estas se consideran de temperatura normal, de 20 a 4°C, aguas frías; y de 4 a 0°C, aguas muy frías. Por su pH se clasifican en: aguas ácidas, cuando su valor es menor de 7.0; aguas neutras, cuando el pH es igual a 7.0; y aguas alcalinas si el pH es mayor de 7.0

Estos recursos que nos brinda la naturaleza han sido utilizados por el hombre desde tiempos remotos a través de manantiales, norias y pozos profundos; como fuentes de calor, vapor y minerales con fines curativos en la medicina antigua o tradicional, conocida como *balneoterapia*; y con mayor frecuencia en los últimos tiempos debido a los avances tecnológicos, en la perforación de pozos geotérmicos y aprovechamiento de aguas termales para otros fines tales como: generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua con fines industriales, generación de agua caliente para uso directo en hoteles, fuente de calor para calefacción habitacional y áreas de invernaderos, abastecimiento de agua caliente en balnearios turísticos, sitios naturales de recreo y uso urbano.

De acuerdo con algunos antecedentes históricos sobre el uso de aguas termales (Sáenz de la Calzada, 1956), en Israel el profeta Eliseo (850 años a.C.) ya recomendaba la balneoterapia que debiera aplicarse en siete baños (el siete, número mágico, ha persistido hasta nuestros días en las creencias populares para los tratamientos hidrológicos). Se dice que Mahoma también recomendaba el baño como práctica habitual para los musulmanes.

En las antiguas mitologías el agua se asociaba con las divinidades, en general cordiales

y propicias, como las Oceánidas, las Nereidas marinas y las Náyades de los manantiales, que los antiguos griegos vinculaban con la inocencia y el amor; Hércules después de trabajar descansaba y se curaba de sus heridas con aguas de manantiales propicios; el hijo de Peleo y de la ninfa Tetis, Aquiles, el de los pies ligeros, fue sumergido al nacer en las aguas de la laguna Estigia para hacerse invulnerable y lo llegó a ser, salvo en el talón donde lo sujetaba su madre al inmergirlo y que fue causa de su muerte a consecuencia del flechazo de Paris sobre la única parte vulnerable del héroe.

En México el agua también ha ejercido un atractivo mágico entre los pueblos precortesias más cultivados. Para los médicos indígenas, más diestros que los europeos que acompañaron a los conquistadores, el agua era el mejor de los remedios y no sólo de las afecciones corporales, sino de los disturbios del alma, por lo que su empleo siempre tenía cierto paralelismo con el bautismo judeo-cristiano.

Para los aztecas el baño era un principio curativo, seguramente bajo la advocación de Chalchiutlicue, la diosa del agua corriente, y mucho más cuando se utilizaba en los espacios cerrados conocidos como *temazcales* o *temazcalli*, donde recibían agua caliente artificialmente y su vapor, no sólo para la aplicación fisioterápica, sino también por la acción específica que sobre los enfermos tenían los principios solubles o volátiles de las hierbas medicinales que los expertos bañadores agregaban al elemento líquido.

Los temazcales también se empleaban para mejorar a las mujeres convalecientes y era de aplicación obligada ocho días después del parto, tradiciones que se siguen practicando en algunos pueblos de México. Los antiguos mexicanos que habitaron el valle de México también utilizaban las virtudes curativas de los Baños del Peñón, cercano al actual aeropuerto de la ciudad de México

Los pueblos tarascos de Michoacán usaban inteligentemente los manantiales radiactivos y mineromedicinales en torno a los que hoy se ha establecido la zona hotelera de San José Purúa y Agua Blanca. Los pueblos purépechas, al igual que todos los pueblos de la historia antigua, asociaban sistemáticamente la magia con la medicina y utilizaban las virtudes curativas de las aguas con prácticas esotéricas, donde figuraban el uso del copal, el peyote y otros productos vegetales que hoy se reconsideran como productos farmacológicos y terapéuticos de las drogas psicodislépticas.

No obstante el misionero fray Juan de San Miguel, que rechazaba lógicamente todas las prácticas de hechicería indígena, reconoció, acerca de las aguas citadas, que curaban todas las enfermedades y prolongaban la vida.

En el siglo XVIII, el padre Francisco Antonio Navarrete escribe su *Historia de peregrina del agua de Querétaro*, y en el mismo siglo el médico de origen francés fray Pablo de la Purísima Concepción Beaumont publica en 1772 su libro *Tratado de agua mineral caliente de San Bartolomé*. Exige en el tratamiento crenoterápico y método profesional las contraindicaciones balneológicas, y señala que las aguas mineromedicinales deben tomarse al pie de la fuente, pues de lo contrario perderían gran parte de su virtud, sugiere emplear las aguas en forma múltiple: inmersión completa, semibaños, lociones, lavativas, duchas, baños de vapor, inhalación y por ingesta; recomienda también, el uso de lodos en las fuentes termales de acuerdo con cada caso particular establece un régimen que en general consiste en tres semanas con dos baños diarios, uno entre 10 y 11 de la mañana y el segundo entre 5 y 6 de la tarde, con una duración en cada caso de hora y media, y en la ingestión tres cuartillos de agua en ayunas.

En Europa la balneología alcanzó su desarrollo hasta el siglo XIX cuando surge de manera importante la *crenoterapia científica*, con representantes como Lister en Inglaterra, Hoffman en Alemania, Durand Fardel en Francia y Pedro María Rubio en España.

En México, y bajo la influencia del positivismo francés, José E. Lobato publica en 1884 un estudio sobre aguas medicinales de la República Mexicana; más tarde Manuel Muñoz en 1934, publica un libro de gran interés sobre las aguas medicinales de México.

En 1941 Harry Petters brinda una gran ayuda a la balneología nacional con sus estudios de aguas curativas y lugares de recreo en México.

El aprovechamiento de energía geotérmica en México para la generación eléctrica se remonta a los años de 1960 y 1961, cuando se comenzó a explotar el primer pozo geotérmico de Pathé (Géiser) en Tecozautla, Hidalgo.

## *Efectos curativos de aguas y arcillas termales*

---

De acuerdo con las referencias bibliográficas en geo-salud sobre el uso de aguas y arcillas termales, a continuación se mencionan algunas aplicaciones terapéuticas y efectos curativos considerados por la Sociedad Internacional de Medicina Hidrológica:

1. Los baños de aguas termales aumentan la temperatura del cuerpo humano.
2. Su temperatura y contenido de minerales ejerce una acción antiséptica.
3. La temperatura del agua tiene acción microbicida para el combate de gérmenes.
4. Los baños en aguas termales aumentan la presión hidrostática del cuerpo.
5. Aumenta la circulación sanguínea y favorece la oxigenación.
6. Ejercen acción antiinflamatoria para el tratamiento de enfermedades reumáticas y artríticas.
7. La temperatura beneficia el tratamiento de enfermedades respiratorias
8. El aumento de la temperatura del agua ayuda a disolver y eliminar las toxinas del cuerpo por sudoración.
9. El uso del temazcal entre los aztecas era para mujeres convalecientes 8 días después del parto. Esta práctica existe aún en algunas comunidades rurales.
10. Las aguas termales tienen propiedades relajantes debido a su alta carga de iones negativos.
11. Las arcillas o barro termales son utilizados en tratamientos cosméticos como mascarillas faciales para limpiar la piel, debido a sus propiedades plástica, adhesiva y de alto contenido de minerales.
12. Las arcillas termales como agentes purificadores eliminan las toxinas del cuerpo.
13. Las arcillas termales ayudan a reducir la acción inflamatoria de las articulaciones, dolores musculares, nerviosos y reumáticos.

## Origen de las aguas termales

---

Su origen ha sido un tema muy discutible desde hace mucho tiempo. De acuerdo con los diferentes autores que han investigado las aguas termales mineromedicinales, podrían proceder de estratos profundos del subsuelo e inclusive de zonas magmáticas. A continuación se presentan algunas teorías que explican su origen, resumidas de la manera siguiente:

Teoría Artesiana de Laplace (1824). Sostiene la existencia de un reservorio de agua situada a 3,000m de profundidad, que se mantendría debido a la infiltración de aguas pluviales. El agua de este reservorio tendría una temperatura casi igual a la del agua hirviente, ya que el centro de la tierra conservaría una gran acumulación de calor, según defendieron algunos autores antiguos, como Laurencio, Plinio y Vitruvio. Por la influencia de enormes presiones de vapor y gas formados en el seno de estos reservorios, el agua buscaría una salida y, por medio de conductos subterráneos, alcanzaría la superficie terrestre, llevando consigo en disolución una gran cantidad de elementos y compuestos provenientes de la alteración física y química de los diversos estratos geológicos que haya atravesado en su ascenso a la superficie.

Teoría de Elie de Beaumont (1847). Consideraba las aguas termales o termominerales como “volcanes privados de la facultad de emitir ningún otro producto más que emanaciones gaseosas, que en el mayor número de casos no llegan a la superficie más que condensados en estado de aguas minerales o termales”.

Teoría de Armando Gautier (1905). Considera que las aguas termales vendrían de las rocas primarias mediante procesos de destilación de las capas más profundas de estas rocas; por influencia del calor central serían por tanto “aguas de constitución”, un producto volcánico para este autor. Las elevadas temperaturas en las profundidades de la tierra darían lugar a la liberación de gran cantidad de agua a partir de elementos rocosos, que al enfriarse tenderían a recuperar el agua liberada a partir de la oxidación del hidrógeno en las capas terrestres profundas. Este mecanismo podría dar una explicación a la constancia en el caudal de los manantiales termales de origen profundo.

Orígenes diversos de las aguas termales (mineromedicinales). Amelung y Hildebrand (1985), Trombe (1987) y Schmidt (1989), distinguen diferentes tipos de aguas mineromedicinales atendiendo a sus características hidrogeológicas. Por una parte, destacan las aguas endógenas o juveniles que escaparían del ciclo hidrológico por no haber formado nunca parte de la hidrosfera; podrían tener un origen ígneo. Dichas aguas se formarían mediante la liberación de elementos volátiles procedentes de la cristalización de los magmas en su ascenso hacia la superficie; tendrían, por lo tanto, un origen volcánico que se explicaría mediante el proceso de consolidación de lavas y vapor de agua de procedencia volcánica, o bien, un origen químico, o sea, agua procedente de las reacciones químicas que tendrían lugar en el seno de la corteza terrestre. Procederían en todos los casos de las profundidades de la tierra, es decir serían aguas profundas.

Resumiendo el origen geológico de las aguas termales, éstas se clasifican en dos clases:

1. Aguas de origen magmático o profundas
2. Aguas telúricas o de infiltración

Pero en la naturaleza se da la circunstancia de que la mayoría de las aguas mineromedicinales tienen un origen mixto, es decir, una mezcla de aguas profundas y de infiltración. Sin embargo, a pesar de su mixtificación las aguas mineromedicinales se siguen clasificando por su origen en aguas magmáticas y telúricas.

Las aguas magmáticas son originadas por procesos geológicos relacionados con filones metálicos o eruptivos, como consecuencia de la cristalización de magmas con la liberación de constituyentes volátiles, compuestos esencialmente de agua junto con numerosos elementos como flúor, cloro, boro, azufre, carbono, arsénico y fósforo entre otros.

Las estructuras geológicas que favorecen la circulación en el subsuelo son principalmente las diaclasas y fisuras, fallas, zonas de milonitización, contactos geológicos, filones y diques eruptivos, donde los mecanismos de emergencia ocurren bajo la influencia de varios factores, principalmente la temperatura, el gradiente hidráulico, la expansión del vapor de agua y la acción de los gases ocluidos y disueltos.

Los terrenos por donde emergen suelen tener abundantes elementos metálicos y rocas eruptivas; cuantitativamente tienen, por lo general, una menor mineralización que las aguas superficiales, pero cualitativamente son más ricas en elementos mineralizantes, de caudal,

composición y temperatura constante.

Las aguas telúricas, denominadas también *de infiltración*, pueden surgir en cualquier terreno; éstas se originan mediante un proceso de infiltración de aguas pluviales por el suelo y subsuelo; a su paso entre las rocas disuelven las sales minerales y se acumulan formando acuíferos o terminan ascendiendo a través de los espacios porosos de las rocas, hasta llegar otra vez a la superficie en forma de manantiales; el caudal que registran varía con el régimen de lluvias y estaciones del año.

Su temperatura del agua es baja y se eleva a medida que aumenta la profundidad de infiltración, o bien, por el contacto de cámaras magmáticas activas.

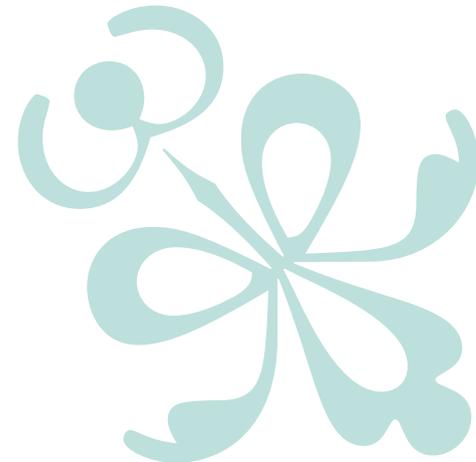
## *Distribución geográfica*

---

Las zonas de aguas termales del Estado de Hidalgo quedan comprendidas principalmente en la porción suroeste de la entidad, que corresponde fisiográficamente a la provincia del Eje Neovolcánico, distribuidas en los municipios de Acatlán, Ajacuba, Atotonilco de Tula, Atotonilco el Grande, Cardonal, Chilcuautla, Huichapan, Ixmiquilpan, Pachuca, Tasquillo, Tecozautla, Tezontepec de Aldama y Tula de Allende.

La región noreste del Estado, que corresponde fisiográficamente a la Sierra Madre Oriental, posee un lugar de aguas termales localizado en la comunidad de Atempa, municipio de Calnali.

Estos lugares se caracterizan geohidrológicamente por la manifestación de agua caliente y vapor en pozos profundos, norias y manantiales, que son aprovechados especialmente para riego agrícola, uso urbano, abastecimiento de balnearios y hoteles.



# Mapa de aguas termales del Estado de Hidalgo



## SIMBOLOGÍA

- CARRETERAS**
- Principales
  - Secundarias
  - De 4 carriles
  - Cuota 4 carriles
  - Cuota 2 carriles
  - - - Pavimentada
  - - - Revestida
- Capital del Estado**  
⊛ Capital del Estado  
  Cabecera Municipal  
  Población  
⬢ Zona Urbana de la Capital del Estado
- LÍMITES**
- Estatal
  - Municipal
- HIDROGRAFÍA**
- ~ Ríos
  - T Pozo Termal
  - ⌋ Manantial Termal

## MANANTIALES Y POZOS TERMALES

1. Manantial La Calera
2. Manantial Centro Vacacional
3. Noria Los Arcos
4. Noria La Carreta
5. Manantial Ejidal La Lumberas
6. Noria El Sol
7. Manantial Vito
8. Manantiales Santa María Amajac
9. Manantial Atempa
10. Manantial Grutas de Tolantongo
11. Manantial Tlacotalpilco
12. Pozo Zamorano
13. Pozo Taguá Zeté
14. Manantial Pathecito
15. Manantial El Paraiso
16. Manantial Chichimequillas
17. Manantial Tephé
18. Manantial Tephathé
19. Manantial Dios Padre
20. Manantial Pueblo Nuevo
21. Manantial Maguey Blanco
22. Manantial El Alberto
23. Pozo 6 Téllez
24. Manantial Tzindejeh
25. Pozo Las Ánimas
26. Pozo Pathé (El Géiser)
27. Manantial Taxidhó
28. Manantial San Miguel Caltepanitia
29. Pozo La Cruz
30. Pozo El Arenal
31. Manantial Tezontepec de Aldama
32. Manantial La Cantera

## *A*catlán

---

La zona hidrotermal se localiza al norte de la cabecera municipal, cuyas aguas son aprovechadas solamente para el abastecimiento del balneario La Calera.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial se cuenta como vía de acceso con el tramo de carretera que va de la ciudad de Pachuca a Huasca de Ocampo y Tulancingo, hasta el entronque de San José Cacaloapan.

De este lugar, se recorren 13 km en dirección hacia el norte sobre el camino pavimentado que conduce al poblado de Alcholoaya, continuando en la misma dirección por terracería hasta el poblado de El Sabino y el manantial La Calera.

**Geohidrología del lugar:** el manantial se encuentra en la base de la ladera del río El Chilar; la geología superficial que caracteriza el lugar está formada de basaltos, tobas y brechas volcánicas sobre estratos de calizas y lutitas.

Los basaltos están representados superficialmente por derrames masivos muy fracturados, que varían de color gris claro a gris oscuro por intemperismo, de estructura compacta y vesicular; en algunos lugares están asociados con afloramientos de tobas y brechas volcánicas de composición andesítica. Los estratos de calizas y lutitas subyacen en forma discordante con las rocas ígneas mencionadas. Sus afloramientos se observan en la base de los cortes del río El Chilar, éstas consisten de estratos plegados muy fracturados y cavernosos. El agua caliente brota sobre las superficies de fracturas y cavernas de disolución, que son los conductos favorables para la circulación de agua caliente del subsuelo hacia la superficie.

**Usos:** el volumen de agua que aporta el manantial es utilizado únicamente para el abastecimiento del mismo balneario; las excedencias y descargas residuales drenan directamente al río El Chilar.

## *Balneario La Calera*



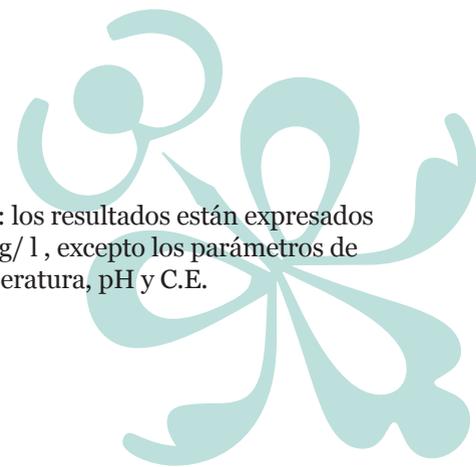
**Localización:** se encuentra en el poblado El Sabino, a una altitud de 2,838 msnm; sus coordenadas geográficas son de 20° 08' 50" latitud norte y 98° 41' 05" longitud oeste.

Parámetros	Valor obtenido	Valor normal	Clasificación
Temperatura ( ° C )	45° C	20° C	Hipertermales
Conductividad E.	950.00	--	--
pH	6.71	7.00 (neutro)	Ácido
Alcalinidad	489.8 0	400.00	Ligeramente alta
Carbonatos	0.15	--	--
Bicarbonatos	587.80	--	--
Nitratos	<0.01	0.05	Bajo
Cloruros	34.50	250.00	Bajo
Sulfatos	7.90	500.00	Bajo
Sodio	97.00	200.00	Bajo
Potasio	12.80	12.00	Ligeramente alto
Calcio	126.00	--	--
Magnesio	3.20	50.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	327.80	500.00	Baja
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	49.22	--	--
Hierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	0.231	0.10	Alto
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0112	0.025	Bajo

## Analisis químico del agua

**Clasificación química:  
cálcica-sódica-bicarbonatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/ l , excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## Ajacuba

---

El municipio de Ajacuba cuenta con una zona hidrotermal localizada en el centro de la misma población a una altitud de 2,130 msnm, cuyas aguas son aprovechadas por medio de manantiales y norias que abastecen a los balnearios del lugar.

**Vías de comunicación:** el acceso a los balnearios termales de Ajacuba se puede tener por dos vías:

La primera es por la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, en el tramo comprendido entre Pachuca y la población de Tecámac; de este lugar se toma la desviación hacia a San Agustín Tlaxiaca sobre la carretera alterna que conduce a Tlaxcoapan y Tula, pasando por los poblados de Benito Juárez, Santiago Tezontlale y Ajacuba, con un recorrido de aproximadamente 28 km.

La segunda vía de acceso es por la carretera estatal Tula-Pachuca, pasando por Tlaxcoapan y Tetepango hasta la población de Ajacuba.

**Geohidrología del lugar:** la zona hidrotermal se encuentra en el extremo sureste del valle de Ajacuba, sobre lomeríos bajos y superficies de relieve ligeramente inclinado; la geología que se presenta en el lugar está formada de rocas ígneas extrusivas y sedimentarias. Las primeras constituyen la cadena de sierras que rodean la zona de los manantiales en el valle de Ajacuba; sus afloramientos están formados por basaltos y andesitas en derrames masivos muy fracturados y de microestructura vesicular, que varían de color gris oscuro a café oscuro por intemperismo. Las rocas sedimentarias que afloran en el área están constituidas por depósitos de calizas y travertino de color gris a café amarillento, de estructura cavernosa debido a procesos de disolución de carbonatos de calcio. El agua de los manantiales y norias emana en los depósitos de travertino, sobre las superficies de fracturas y cavernas de disolución, que son los conductos permeables por donde circula el agua del subsuelo hacia la superficie.

**Usos:** las aguas residuales y excedencias que descargan los balnearios de Ajacuba son aprovechadas para riego agrícola; su calidad puede ser mejorada mediante la instalación de una planta de tratamientos, con el propósito de prevenir la contaminación de suelos y el medio ambiente.

## *Balneario Centro Vacacional Ajacuba*



**Localización:** se encuentra en la calle central de la población, entre las coordenadas geográficas 20° 05' 28" latitud norte y 99° 07' 21" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica–bicarbonatada–sulfatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura	54° C	20° C	Hipertermal
Conductividad E.	3030.00	–	–
pH	7.17	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	872.00	400.00	Alta
Carbonatos	0.77	–	–
Bicarbonatos	1046.40	–	–
Nitratos	<0.01	0.05	Bajo
Cloruros	144.90	250.00	Bajo
Sulfatos	659.60	500.00	Alto
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	321.80	500.00	Baja
Sílice como SiO <sub>2</sub>	39.00	–	–
Sodio	206.00	200.00	Ligeramente alto
Potasio	47.40	12.00	Alto
Calcio	86.00	–	–
Magnesio	26.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	–	–
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.031	0.025	Ligeramente alto

## *Noria Los Arcos*



**Localización:** se encuentra en la entrada de la población de Ajacuba, sobre la carretera a Santiago Tezontla; sus coordenadas geográficas son 20° 05' 40" latitud norte y 99° 07' 28" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada- sulfatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	35° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	2810.00		
pH	7.36	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	785.80	400.00	Alta
Carbonatos	1.08	--	--
Bicarbonatos	943.00	--	--
Nitratos	0.89	0.05	Alto
Cloruros	137.00	250.00	Bajo
Sulfatos	529.40	500.00	Ligeramente alto
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	186.00	500.00	Baja
Sílice como SiO <sub>2</sub>	46.6	--	--
Sodio	106.00	200.00	Bajo
Potasio	28.00	12.00	Alto
Calcio	380.0	--	--
Magnesio	43.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.032	0.025	Ligeramente alto

## Noria La Carreta



**Localización:** se encuentra en la calle Flores Magón No. 3, entre las coordenadas geográficas 20° 05' 21" latitud norte y 99° 07' 28" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica–bicarbonatada–sulfatada

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	36° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	2970.00	--	--
pH	7.47	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	850.0	400.00	Alta
Carbonatos	1.50	--	--
Bicarbonatos	1020.0	--	--
Nitratos	0.77	0.05	Alto
Cloruros	144.9	250.00	Bajo
Sulfatos	588.4	500.00	Alto
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	333.4	500.00	Baja
Silice como SiO <sub>2</sub>	41.0	--	--
Sodio	197.0	200.00	Bajo
Potasio	49.10	12.90	Alto
Calcio	89.00	--	--
Magnesio	27.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.032	0.025	Ligeramente alto

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

## *Manantial Las Lumbreras*



**Localización:** se encuentra en la calle Cuauhtémoc s/n. Sus coordenadas geográficas son 20° 05' 20" latitud norte y 99° 07' 11" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica–bicarbonatada–sulfatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	2950.00	--	--
pH	7.73	7.00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	810.80	400.00	Alta
Carbonatos	2.60	--	--
Bicarbonatos	973.00 mgr/l	--	--
Nitratos	0.43	0.05	Alto
Cloruros	142.90	250.0	Bajo
Sulfatos	627.50	500.00	Alto
Dureza-total (CaCO <sub>3</sub> )	271.00	500.00	Baja
Sílice como SiO <sub>2</sub>	41.00	--	--
Sodio	214.00	200.00	Ligeramente alto
Potasio	43.10	12.00	Alto
Calcio	64.00	--	--
Magnesio	27.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.06	0.01	Alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.031	0.025	Ligeramente alto

## *Noria El sol*



**Localización:** se encuentra en la calle Cuauthémoc s/n. Sus coordenadas geográficas son 20° 05' 20" latitud norte y 99° 07' 11" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica–bicarbonatada–sulfatada

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	32° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	2970.00	--	--
pH	7.47	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	850.0	400.00	Alta
Carbonatos	1.50	--	--
Bicarbonatos	1020.0	--	--
Nitratos	0.77	0.05	Alto
Cloruros	144.9	250.00	Bajo
Sulfatos	588.4	500.00	Alto
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	333.4	500.00	Baja
Sílice como SiO <sub>2</sub>	41.0	--	--
Sodio	197.0	200.00	Bajo
Potasio	49.10	12.90	Alto
Calcio	89.00	--	--
Magnesio	27.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.034	0.025	Ligeramente alto

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

## *A*totonilco de Tula

---

**E**ste municipio posee una zona hidrotermal situada a 3.5 km al sur de la población, cuyo aprovechamiento es a través de manantiales que abastecen de agua al balneario y el hotel de Vito.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial de aguas termales de Vito, el acceso se hace por dos vías: por la antigua carretera federal Pachuca- México, por Tizayuca, hasta la desviación de Los Reyes Acozac. De este lugar se continúa aproximadamente 38 km sobre el tramo de carretera que comunica a Zumpango, Vito y Atitalaquia, o bien sobre la carretera que conduce a Tlaxcoapan, Atitalaquía y Vito.

**Geohidrología del lugar:** el sitio de aguas termales queda comprendido en la parte sur del Valle del Mezquital, alojado sobre las márgenes del río Salado.

Las rocas que afloran en el área son de origen ígneo y sedimentario. Las primeras consisten en basaltos que afloran sobre cerros y lomeríos aislados, al oriente de los manantiales de Vito; éstas se caracterizan por sus derrames masivos muy fracturados y vesiculares. Las rocas sedimentarias cubren grandes extensiones en la zona de manantiales; sus afloramientos están compuestos por calizas estratificadas de color gris claro, de superficies muy fracturadas y cavernosas, limitadas lateralmente por depósitos volcanosedimentarios de la Formación Tarango, cuyos sedimentos consisten de arenas, limos y arcillas en capas medianamente consolidadas.

Los manantiales se localizan sobre las laderas del río Salado. El agua aflora en la zona de contacto entre las capas de arenas, limos y arcillas, cuyos espacios intergranulares constituyen los conductos favorables para la circulación y descarga de agua caliente del subsuelo.

**Usos:** el volumen de agua que aporta este manantial se aprovecha solamente con fines turísticos para el abastecimiento del balneario y el hotel del lugar. Las aguas residuales que se generan y las excedencias son descargadas directamente al río Salado.

## *Manantial Vito*



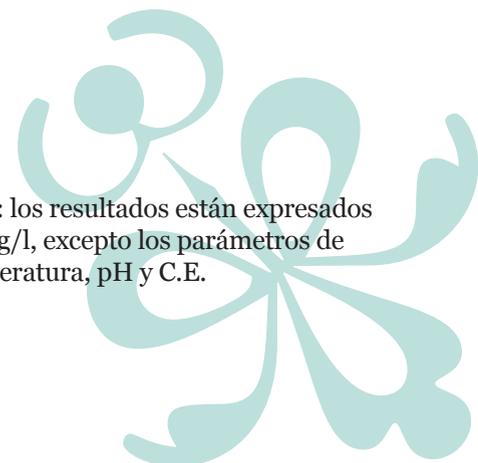
**Localización:** se encuentra ubicado al sur de la misma población de Vito, a una altitud de 2,200 msnm; sus coordenadas geográficas son 19° 59' 00" latitud norte y 99° 10' 00" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura °C	55° C	20° C	Hipertermal
Conductividad E.	2400.00	--	--
pH	7.82	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	436.40	400.00	Ligeramente alta
Carbonatos	1.72	--	--
Bicarbonatos	523.70	--	--
Nitratos	0.50	0.05	Alto
Cloruros	156.80	250.00	Bajo
Sulfatos	1009.70	500.00	Alto
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	609.30	500.00	Ligeramente alta
Silíce como SiO <sub>2</sub>	62.00	--	--
Sodio	346.00	200.00	Alto
Potasio	53.60	12.00	Alto
Calcio	183.00	--	--
Magnesio	37.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.06	0.30	Bajo
Manganeso	<0,02	0.10	Bajo
Cobre	<0,05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0,05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.031	0.025	Ligeramente alto

**Clasificación química:  
sódica-cálcica-sulfatada-  
bicarbonatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Atotonilco El grande*

---

**E**l municipio posee una zona hidrotermal ubicada en la población de Santa María Amajac, cuyas aguas son aprovechadas a través de manantiales que abastecen al balneario y del hotel del mismo nombre.

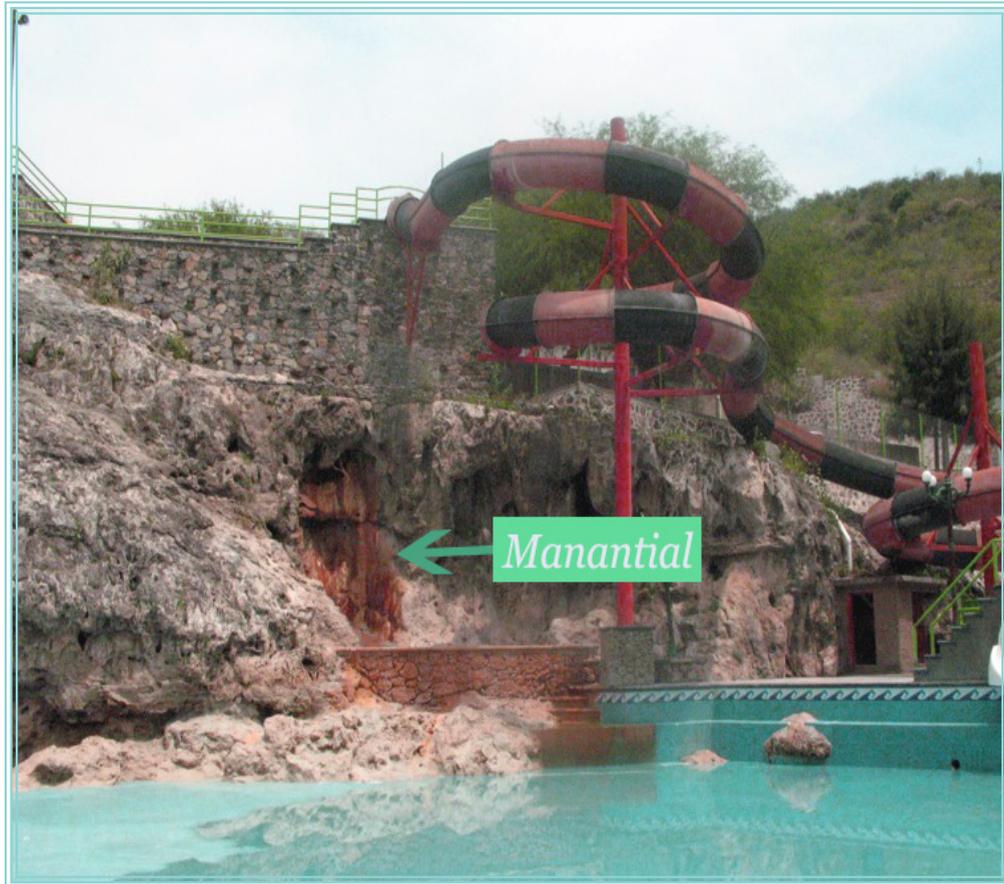
**Vías de comunicación:** para llegar al lugar se cuenta como principal vía de acceso con la carretera federal No. 105 México-Tampico, en el tramo comprendido entre Pachuca y Atotonilco el Grande. Después de pasar por la población de Atotonilco se continúa por 5 km hacia el oeste, sobre un camino pavimentado que conduce al manantial y la comunidad de Santa María Amajac.

**Geohidrología del lugar:** el manantial se encuentra en las laderas del río Amajac alojado sobre una cañada que marca estructuralmente una línea de falla, afectando a rocas sedimentarias marinas y continentales, cubiertas superficialmente por derrames de basaltos, masivos y columnares. Las sedimentarias marinas están constituidas por calizas masivas y estratificadas de la Formación El Abra. Generalmente son de superficies ásperas y cavernosas, asociadas con depósitos de travertino de color amarillento, cuya morfología está representada por cerros y lomeríos de escasa altura.

Los depósitos sedimentarios continentales consisten de conglomerados y estratos delgados de areniscas medianamente consolidadas, cuya porosidad y permeabilidad se registra entre los estratos y espacios intergranulares; sus afloramientos se localizan sobre superficies erosionadas en las laderas del río Amajac, situadas al sur del balneario.

Las rocas ígneas cubren las superficies de los depósitos sedimentarios; sus afloramientos consisten de basaltos en derrames masivos y columnares, muy fracturados y de microestructura vesicular, que varían de color gris oscuro a café rojizo, según el grado de intemperismo. El agua de los manantiales emana en calizas y depósitos de travertino sobre superficies de fracturas y cavernas de disolución, que son los conductos favorables para la circulación de agua caliente hacia la superficie.

## *Manantial Santa María Amajac*



**Localización:** está situado en el extremo sureste de la población de Santa María Amajac, a una altitud de 1,800 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 06' 50" latitud norte y 98° 44' 50" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: cálcica-sódica-sulfatada- clorurada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	55° C	20° C	Hipertermal
Conductividad E	1939.00	--	--
pH	6.84	7.00 (neutro)	Ligeramente ácido
Alcalinidad	208.80	400.00	Baja
Carbonatos	0.09	--	--
Bicarbonatos	250.60	--	-
Nitratos	<0.01	0.05	Bajo
Cloruros	236.00	250.00	Bajo
Sulfatos	486.40	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	1172.30	500.00	Alta
Sílice como SiO <sub>2</sub>	44.94	--	--
Sodio	128.00	200.00	Bajo
Potasio	8.10	12.00	Bajo
Calcio	390.00	--	--
Magnesio	48.20	50.00	Bajo
Fierro	<0.063	0.30	Bajo
Manganeso	<0.020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo.
Níquel	<0.050	0.01	Alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.000213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0252	0.025	Normal

## Calnali

---

**E**l municipio posee una zona hidrotermal situada en la comunidad de Atempa, cuyas aguas son utilizadas para el abastecimiento de su balneario.

**Vías de comunicación:** para llegar al lugar se cuenta como principal vía de acceso con la carretera federal No. 105 México, Pachuca y Tampico, hasta la desviación de Chalma, de donde se recorren aproximadamente 20 km sobre la carretera que comunica con la cabecera municipal de Calnali.

Después de esta población se continúa 20 km hacia el oriente sobre la misma carretera, que va a Atlapexco, hasta la desviación del camino pavimentado que conduce a la comunidad de Atempa.

**Geohidrología del lugar:** el manantial se encuentra en la región montañosa de la Sierra Madre Oriental, sobre el cauce del río Atempa, cuya morfología está representada localmente por una barranca profunda, limitada por grandes acantilados labrados por la erosión.

Las rocas que se presentan en el lugar están formadas de calizas estratificadas, intercaladas con lutitas de color amarillo claro a café amarillento por intemperismo; sus afloramientos se caracterizan también por la presencia de estratos plegados, fracturados y cavernosos con espesores de 5 a 40 cm. Este manantial se localiza sobre el cauce del río Atempa; el agua emana sobre las superficies de fracturas y cavernas en los estratos de calizas, que poseen espacios porosos favorables para la circulación de agua caliente hacia la superficie.

**Usos:** el agua de este manantial se utiliza para el abastecimiento de la comunidad y el balneario de Atempa. Las descargas residuales y las excedencias drenan directamente al río Atlapexco, cuyo volumen contribuye en parte a la recarga de manantiales y norias localizados a lo largo de su curso.

## *Manantial de Atempa*



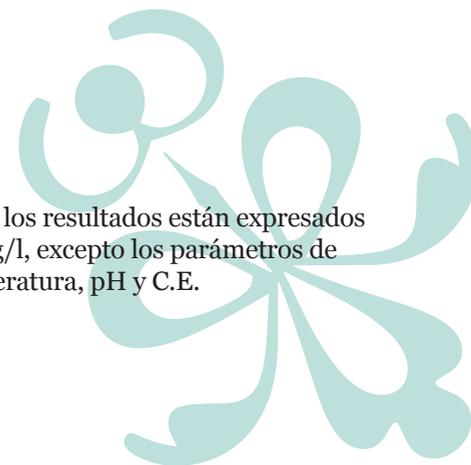
**Localización:** el sitio se encuentra en la comunidad de Atempa a una altitud de 1,963 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 53' 03" latitud norte y 98,° 29' 13" longitud oeste.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	781.00	--	--
pH	7.74	7.00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	412.00	400.00	Ligeramente alta
Carbonatos	1.35	--	--
Bicarbonatos	494.40	--	--
Nitrato	<0.01	0.05	Bajo
Cloruros	15.40	250.00	Bajo
Sulfatos	8.80	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	78.40	500.00	Baja
Sílice como SiO <sub>2</sub>	32.00	--	--
Sodio	29.00	200.00	Bajo
Potasio	2.10	12.00	Bajo
Calcio	23.00	--	--
Magnesio	5.10	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Ligeramente alto
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Bajo
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.00050	0.001	Bajo
Bario	0.80	1.00	Bajo
Arsénico	0.0032	0.025	Bajo

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica–bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## Cardonal

---

El municipio de Cardonal posee una zona hidrotermal situada en la comunidad de San Cristóbal; su aprovechamiento es a través de las Grutas de Tolantongo (*Tonaltongo*), donde se registran emanaciones de agua caliente y caídas de agua fría al mismo tiempo, siendo esto uno de sus principales atractivos turísticos como balneario termal.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial de Tolantongo, se tiene como vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta Ixmiquilpan; después de esta población se continúa aproximadamente 48 km hacia el norte, sobre el tramo de carretera a Cardonal y la terracería que conduce a las Grutas de Tolantongo.

**Geohidrología del lugar:** se localiza en las márgenes de una barranca formada por el río Tolantongo. Las rocas que afloran en el lugar consisten en calizas intercaladas con lutitas, expuestas en estratos plegados y fracturados de diferentes espesores.

Estas estructuras están representadas en grandes acantilados de paredes verticales, que caracterizan el lugar por la presencia de superficies cársticas, formadas de cavernas y pequeñas ollas labradas por el intemperismo y la erosión, asociadas a estructuras de estalactitas y estalagmitas

El agua que emana de estas formaciones geológicas proviene de dos fuentes hidrogeológicas, una de agua caliente y otra de agua fría, que al mezclarse en la entrada de la gruta, le ha permitido situarlo como un lugar atractivo de recreo y de admiración por los visitantes

**Usos:** el volumen de agua que registran estos manantiales es aprovechado en el mismo lugar como área de balneario natural, abastecimiento de albercas y servicio del hotel; las excedencias y descargas residuales drenan al río Tolantongo y éste a su vez descarga al río Amajac. El mismo volumen de agua puede ser reutilizado para riego mediante la instalación de un equipo de bombeo, que permita llevar agua a las partes altas con el propósito de establecer áreas de cultivo.

## *Grutas de Tolantongo*



**Localización:** se encuentran ubicadas en la comunidad de San Cristóbal a una altitud de 1,332 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 38' 53" latitud norte y 99° 00' 20" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-bicarbonatada

Nota: Los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	40° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	1009.00	--	--
pH	8.16	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	263.00	400.00	Baja
Carbonatos	2.25	--	--
Bicarbonatos	315.60	--	--
Nitratos	2.96	0.05	Alto
Cloruros	86.40	250.00	Bajo
Sulfatos	58.20	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	131.70	500.00	Baja
Sílice como Si <sub>2</sub>	49.00	--	--
Sodio	97.00	200.00	Bajo
Potasio	13.30	12,00	Ligeramente alto
Calcio	29.00	--	--
Magnesio	14.40	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1,00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	1.00	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0095	0.025	Bajo

## Chilcuautla

---

**E**l municipio de Chilcuautla cuenta con una zona hidrotermal localizada a 5 km al norte de la misma población, cuyo aprovechamiento es a través de varios manantiales que abastecen de agua al balneario de Tlacotlapilco.

**Vías de comunicación:** para llegar al lugar el acceso se hace de la manera siguiente:

Por la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, hasta la comunidad de Tephé en Ixmiquilpan, de este lugar se toma la desviación hacia Chilcuautla y Tlacotlapilco, o bien, por la carretera Pachuca-Actopan y Tula hasta Progreso, al llegar a esta población se toma la desviación hacia el norte sobre el tramo de carretera que comunica a Ixmiquilpan.

Aproximadamente a la mitad de este trayecto se encuentra la desviación del camino pavimentado que conduce al balneario de Tlacotlapilco, situado a 2 km del lugar.

**Geohidrología del lugar:** el sitio de aguas termales de Tlacotlapilco se localiza sobre el cauce del río Tula; su litología esta formada superficialmente por derrames de basaltos masivos muy fracturados, de estructura compacta y vesicular, color gris a café amarillento, según el grado de intemperismo, cuyos afloramientos sobreyacen a depósitos piroclásticos medianamente consolidados.

El agua caliente emana en varios puntos localizados en la base de los afloramientos de basaltos, sobre las superficies de fracturas y contacto con los horizontes piroclásticos, que son los conductos permeables por donde circula y se descarga el agua caliente.

**Usos:** el volumen de agua que aportan estos manantiales es utilizado para el abastecimiento del balneario Tlacotlapilco; las descargas residuales y excedencias drenan directamente al río Tula.

## *Manantial de Tlacotlapilco*



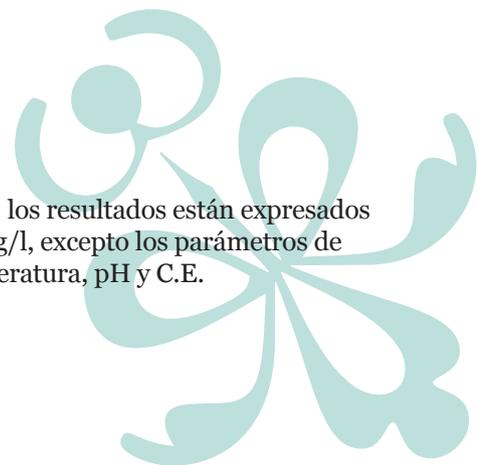
**Localización:** se encuentra en la misma comunidad de Tlacotlapilco, a una altitud de 1,955 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 22' 01" latitud norte y 99° 12' 52" longitud oeste.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C.	40° C.	20° C.	Mesotermal
Conductividad E.	1219.00	--	--
pH	7.91	7.00 (neutro=)	Alcalino
Alcalinidad	227.60	400.00	Baja
Carbonatos	1.1.00	--	--
Bicarbonatos	273.10	--	--
Nitratos	3.83	0.05	Alto
Cloruros	117.10	250.00	Bajo
Sulfatos	109.90	500.00	Bajo
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	129.80	500.00	Baja
Sílice como SiO <sub>2</sub>	135.00	--	--
Sodio	165.00	200.00	Bajo
Potasio	30.70	12.00	Alto
Calcio	36.00	--	--
Magnesio	9.70	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0094	0.025	Bajo

## Análisis químico de agua

**Clasificación química: sódica–bicarbonatada–clorurada–sulfatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## Huichapan

---

La región posee aguas termales en una franja alargada que se extiende de sur a norte desde Huichapan, Llano Largo, San Miguel Caltepanitla hasta Tecozautla, donde se encuentran algunos manantiales y la perforación de varios pozos profundos de uso agrícola, agua potable y abastecimiento de balnearios.

**Vías de comunicación:** para llegar al pozo Zamorano, se cuenta como principal vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, hasta la estación gasolinera de Portezuelos.

De esta estación se toma la desviación hacia Huichapan por el tramo de carretera No. 45, hasta la comunidad de Yonthé; al llegar a este lugar se continúa aproximadamente 2 km hacia el norte por el camino pavimentado que conduce a San Miguel Caltepanitla.

**Geohidrología del lugar:** el pozo termal el Zamorano se localiza en el valle de San Miguel Caltepanitla, sobre una superficie de relieve ligeramente inclinado y drenado por varios arroyos superficiales que integran la cuenca del río Tecozautla. Estas corrientes contribuyen por infiltración a la recarga de acuíferos que abastecen los pozos y manantiales en el valle de San Miguel Caltepanitla y Tecozautla.

Las rocas que cubren la superficie del área están formadas de tobas riolíticas y dacitas de la Formación Donguinyó, que se caracterizan por sus depósitos masivos de color rosa, café claro y amarillento según el grado de intemperismo; estos afloramientos se encuentran muy fracturados y erosionados, o bien, están cubiertos por una delgada capa de suelo residual.

La columna geológica que caracteriza su perforación a 180 m de profundidad, está formada de tobas riolítica y lítica intercaladas en el subsuelo con horizontes de basaltos fracturados y proclásticos, que en conjunto forman un sistema de acuífero termal, cuyo nivel estático es de 120m., nivel dinámico 122 m, gasto de 27 l/seg. y temperatura de 30°C.

## *Pozo El zamorano*



**Localización:** se encuentra en el ejido de Zamorano a una altitud de 2,020 msnm; sus coordenadas geográficas son 20° 26' 01" latitud norte y 99° 37' 04" longitud oeste.

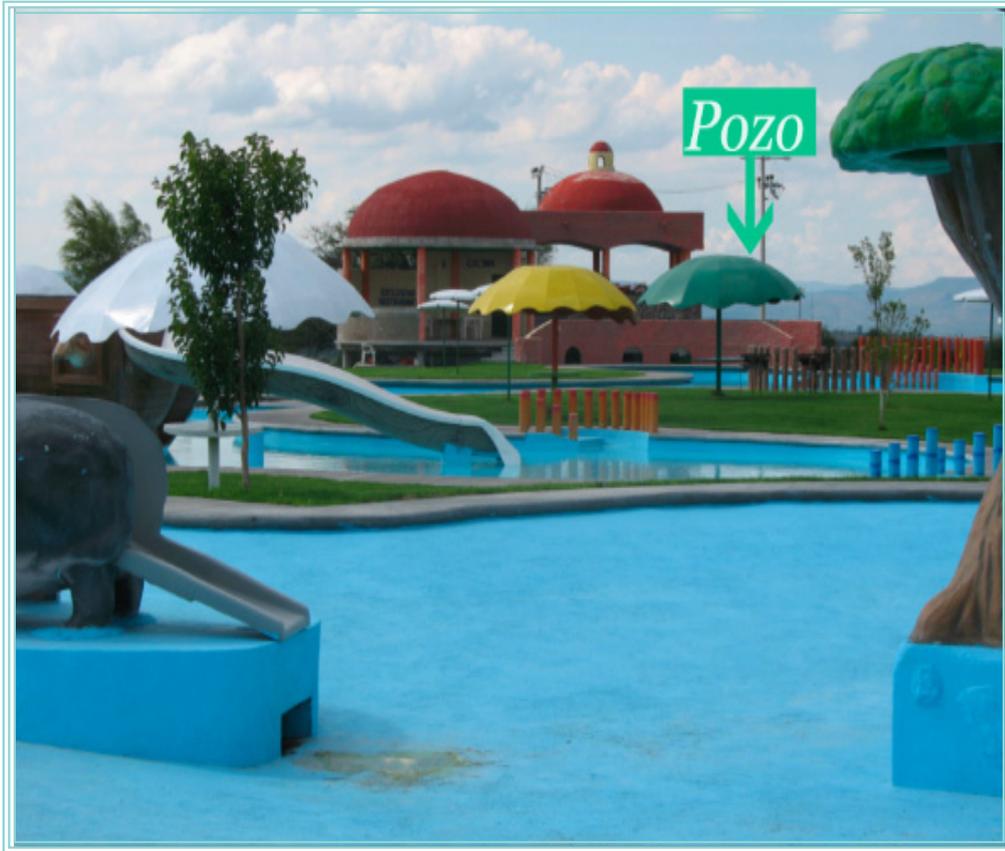
## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	36° C	20° C	Mesotermal
Conductividad	266.90	--	--
pH	7.98 (neutro)	7.00	Alcalino
Alcalinidad	134.2	400.00	Bajo
Carbonatos	0.76	--	--
Bicarbonatos	161.00	--	--
Nitratos	0.54	0.05	Alto
Cloruros	16.30	250.00	Bajo
Sulfatos	8.40	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	45.30	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	81.32	--	--
Sodio	42.00	200.00	Bajo
Potasio	7.80	12.00	Bajo
Calcio	14.00	--	--
Magnesio	2.50	50.00	Bajo
Fierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	<0.020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	0.80	1.00	Bajo
Arsénico	0.0065	0.025	Bajo

## *Pozo Taguú Zethé*



**Localización:** se encuentra en el ejido de Taguú a una altitud de 2,835 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 26' 48" latitud norte y 99° 38' 29" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al pozo termal de Taguú se cuenta como principal vía de acceso con la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelos.

De esta estación, se toma la desviación hacia Huichapan por el tramo de carretera No. 45, hasta la comunidad de Yonthé; al llegar a este lugar se continúa aproximadamente 3 km hacia el norte por la desviación de la carretera que conduce a San Miguel Caltepanitla, hasta el balneario y pozo de Taguú Zethé.

**Geohidrología del lugar:** el pozo termal de Taguú se encuentra en el valle de San Miguel Caltepanitla, sobre una superficie de relieve casi plano, drenada por pequeños arroyos que integran la cuenca del río Tecozautla. Estas corrientes contribuyen por infiltración a la recarga de los sistemas de acuíferos que se explotan en el valle de Tecozautla.

Las rocas que cubren la superficie del área están formadas de tobas riolíticas y dacitas de la Formación Donguinyo, que se caracterizan por sus depósitos masivos de color rosa a café amarillento según el grado de intemperismo.

La columna geológica determinada durante su perforación está formada de tobas riolítica y lítica intercaladas en el subsuelo con horizontes de piroclásticos, toba pumítica y basaltos muy alterados, que en conjunto forman un sistema de acuífero con características termales; su profundidad es de 175 m, nivel estático 80 m, nivel dinámico 95 m, gasto de 38 l/seg. y temperatura de 38°C.

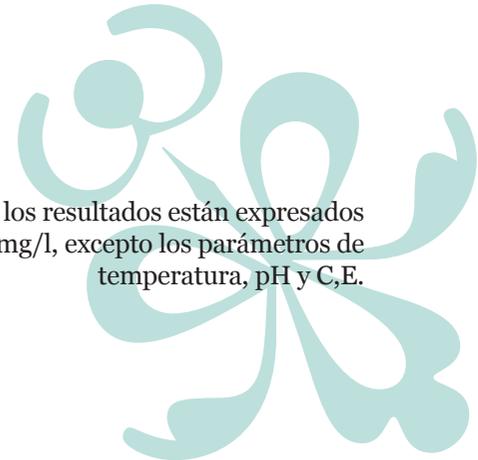
**Usos:** el volumen que se explota es utilizado para el abastecimiento del balneario de Taguú y riego agrícola.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C	20° C	Mesotermal
Conductividad	239.50	--	--
pH	8.02	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	125.60	400.00	Baja
Carbonatos	0.78	--	--
Bicarbonatos	150.70	--	--
Nitratos	0.36	0.05	Alto
Cloruros	12..00	250.00	Bajo
Sulfatos	7.00	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	40.70	500.00	Baja
Silicio como SiO <sub>2</sub>	77.04	--	--
Sodio	42.00	200.00	Bajo
Potasio	6.40	12.00	Bajo
Calcio	14..00	--	--
Magnesio	2.60	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.05	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.006	0.025	Bajo

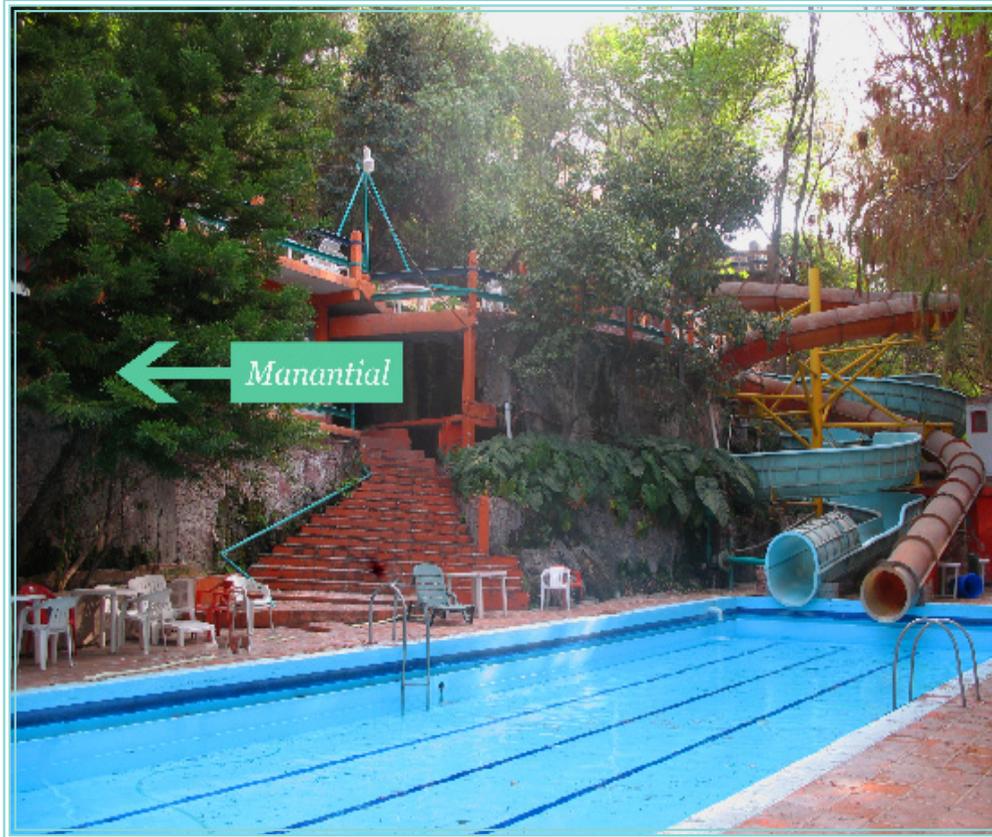
## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica- bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C,E.



## *Manantial Pathecito*



**Localización:** este manantial termal se localiza en la comunidad del mismo nombre a una altitud de 1,900 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 27' 00" latitud norte y 99° 38' 00" longitud oeste.

Cercano al lugar y en el mismo acuífero se encuentran los manantiales de **El Paraíso** y **Chichimequillas**, cuyas aguas termales son utilizadas también para el abastecimiento de balnearios.

**Vías de comunicación:** para llegar a los manantiales Pathecito, El Paraíso y Chichimequillas se tiene como principal vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, hasta la estación gasolinera de Portezuelo.

De esta estación se toma la desviación a Huichapan por el tramo de la carretera estatal No. 45, hasta la comunidad de Yonthé; al llegar a este lugar se continúa finalmente por el camino pavimentado que conduce a los balnearios Pathecito, El Paraíso y Chichimequillas.

**Geohidrología del lugar:** estos manantiales termales se encuentran en el valle de San Miguel Caltepanitla, cuya superficie se caracteriza por su relieve ligeramente inclinado y drenado por varios arroyos que recargan los sistemas de acuíferos del valle de Tecozautla.

Las rocas que afloran en la superficie del lugar están formadas de tobas riolíticas y dacíticas de la Formación Donguinyó, caracterizadas por sus afloramientos masivos de color rosa a café amarillento según el grado de intemperismo, cubiertos en algunos lugares por derrames basálticos de estructura vesicular.

Geohidrologicamente los manantiales se localizan en un mismo acuífero; el agua emana sobre las zonas de fracturas y cavernas de los basaltos en las laderas del río El Molino.

**Usos:** el volumen de agua que aporta estos manantiales es utilizado para el abastecimiento de los balnearios Pathecito, El Paraíso y Chichimequillas, cuyas descargas residuales y excedencias son drenadas directamente al río El Molino y éstas a su vez, son reutilizadas para riego en pequeñas superficies agrícolas.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	36° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	247.70	--	--
pH	7.91	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	128.0	400.00	Bajo
Carbonatos	0.62	--	--
Bicarbonatos	153.6	--	--
Nitratos	0.41	0.05	Alto
Cloruros	13.50	250.00	Bajo
Sulfatos	7.70	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	42.30	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	49.22	--	--
Sodio	40.00	200.00	Bajo
Potasio	7.00	12.00	Bajo
Calcio	13.00	--	--
Magnesio	2.40	50.00	Bajo
Fierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	<0.020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0315	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1,00	Bajo
Arsénico	0.0036	0.025	Bajo

## *Ixmiquilpan*

---

El municipio posee aguas termales al sur de la población, las que son aprovechadas para el abastecimiento de balnearios de importancia desde el punto de vista turístico y recreativo.

**Vías de comunicación:** para llegar a la zona de manantiales termales de Tephé, Tephathé y Dios Padre, se cuenta como principal vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, hasta el poblado de Tephé situado al sur de Ixmiquilpan.

**Geohidrología del lugar:** la zona hidrotermal queda comprendida en la parte sur del valle de Ixmiquilpan, distribuida sobre una superficie de relieve ligeramente ondulado, cubierto de rocas sedimentarias y limitado por estructuras cerriles de origen ígneo.

Las rocas sedimentarias cubren la mayor parte del área que ocupan los manantiales; sus afloramientos consisten de calizas masivas muy fracturadas y cavernosas, cubiertas en algunos lugares por conglomerados, areniscas y aluviones recientes medianamente consolidados.

Esta unidad se encuentra limitada al suroeste por rocas ígneas extrusivas, cuyos afloramientos están formados de basaltos masivos muy fracturados de estructura compacta y vesicular, que varían de color gris a café oscuro según el grado de intemperismo.

El agua de los manantiales aflora superficialmente sobre calizas y areniscas, cuyas cavernas y espacios intergranulares constituyen los conductos favorables para la circulación de agua caliente hacia la superficie.

## *Manantial El Tephé*



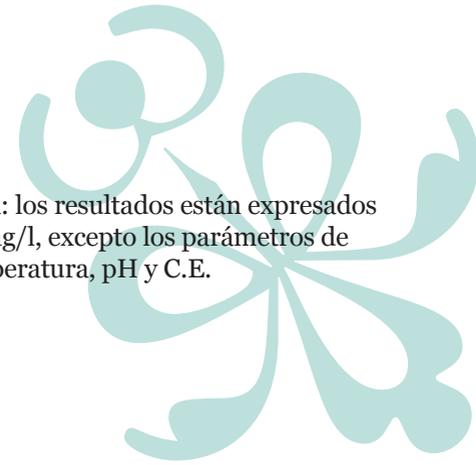
**Localización:** se encuentra en la comunidad del mismo nombre a una altitud de 1,751 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 26' 31" latitud norte y 99° 10' 00" longitud oeste.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C.	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	1360.00	--	--
pH	8.28	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	316.60	400.00	Bajo
Carbonatos	3.56	--	--
Bicarbonatos	379.90	--	--
Nitratos	2.89	0.05	Alto
Cloruros	155.80	200.00	Bajo
Sulfatos	86.20	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	140.20	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	66.00	--	--
Sodio	157.00	200.00	Bajo
Potasio	23.70	12.00	Alto
Calcio	24.00	--	--
Magnesio	19.50	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	0.10	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0,02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0127	0.025	Bajo

## Análisis químico de agua

**Clasificación química:  
sódica–bicarbonatada–clorurada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Manantial Tephé*



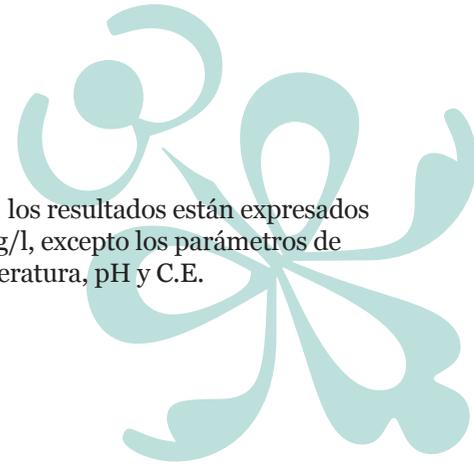
**Localización:** se encuentra ubicado en la comunidad de Tephé a una altitud de 1,749 msnm, sus coordenadas son 20° 26' 31" latitud norte y 99° 10' 00" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	37° C.	20°C	Mesotermal
Conductividad E	1295.00	--	--
pH	8.30	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	287.40	400.00	Bajo
Carbonatos	3.38	--	--
Bicarbonatos	344.90	--	--
Nitratos	2.88	0.05	Alto
Cloruros	150.90	250.00	Bajo
Sulfatos	87.90	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	130.70	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	60.00	--	--
Sodio	153.00	200.00	Bajo
Potasio	22.30	12.00	Alto
Calcio	22.00	--	--
Magnesio	18.40	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Ligeramente alto
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0126	0.025	Bajo

**Clasificación química:  
sódica–bicarbonatada– clorurada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Manantial Dios Padre*



**Usos:** el agua de estos manantiales se utiliza para el abastecimiento de balnearios y hoteles del lugar; las excedencias y descargas residuales drenan a pequeños canales que desembocan al río Tula.

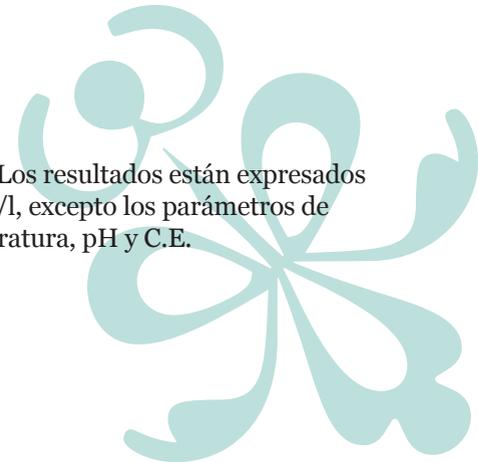
**Localización:** se encuentra en la comunidad de Tephé a una altitud de 1,728 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 27'41" latitud norte y 99° 11' 41" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C.	37° C.	20° C.	Mesotermal
Conductividad E.	1360.00	--	--
pH	8.28	7.00 (neuro)	Alcalino
Alcalinidad	316.60	400.00	Bajo
Carbonatos	3.56	--	--
Bicarbonatos	379.90	--	--
Nitratos	2.89	0.05	Alto
Cloruros	155.80	250.00	Bajo
Sulfatos	86.20	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	140.20	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	66.00		
Sodio	157.00	200.00	Bajo
Potasio	23.70	12.00	Alto
Calcio	24.00	--	--
Magnesio	9.50	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0127	0.025	Bajo

**Clasificación química:  
sódica-cálcica-bicarbonatada**

Nota: Los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Manantial Pueblo Nuevo*



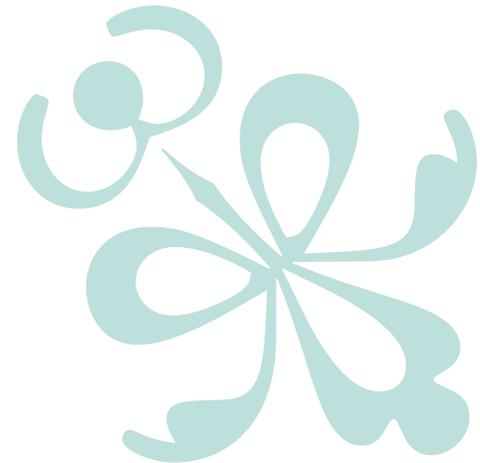
**Localización:** se encuentra ubicado en la comunidad del mismo nombre a una altitud de 1,748 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son 20° 26' 00" latitud norte y 99° 09'49" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial de Pueblo Nuevo, se tiene como principal vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, hasta la comunidad de Tephé, después de este lugar se continúa 2 km aproximadamente hacia el norte, sobre un camino pavimentado que conduce al balneario de Pueblo Nuevo.

**Geohidrología del lugar:** el manantial termal de Pueblo Nuevo se localiza sobre un lomerío formado de calizas en estratos masivos, color gris claro, estructura compacta, fracturada y cavernosa.

El agua emana sobre las superficies de fracturas y cavernas de disolución cársticas, que son los conductos de alta porosidad por donde circula y se descarga agua caliente del subsuelo.

**Usos:** el agua de este manantial es utilizada para el abastecimiento del balneario de Pueblo Nuevo; las descargas residuales y excedencias son drenados a un canal que conduce al río Tula.



## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura °C	37° C.	20°C	Mesotermal
Conductividad E	1295.00	--	--
pH	8.30	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	287.40	400.00	Bajo
Carbonatos	3.38	--	--
Bicarbonatos	344.90	--	--
Nitratos	2.88	0.05	Alto
Cloruros	150.90	250.00	Bajo
Sulfatos	87.90	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	130.70	500.00	Bajo
Silíce como SiO <sub>2</sub>	60.00	--	--
Sodio	153.00	200.00	Bajo
Potasio	22.30	12.00	Alto
Calcio	22.00	--	--
Magnesio	18.40	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Ligeramente alto
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0126	0.025	Bajo

## *Manantial Maguey Blanco*



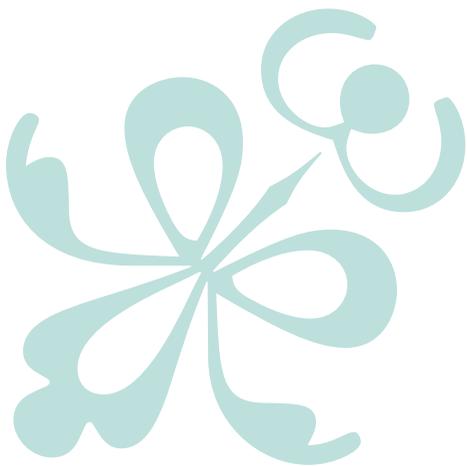
**Localización:** se encuentra ubicado en la misma comunidad de Maguey Blanco a una altitud de 1,813 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 25' 31" latitud norte y 99° 09' 52" longitud

**Vías de comunicación:** para llegar al balneario de Maguey Blanco, se tiene como principal vía de acceso la antigua carretera No. 85 México-Laredo, hasta la población de Tephé. Después de este lugar se continúa por 2.5 km hacia el sur sobre la carretera que conduce a la población de Progreso, hasta la comunidad Maguey Blanco, donde se localiza el manantial.

**Geohidrología del lugar:** el manantial termal de Maguey Blanco se localiza sobre un lomerío formado de calizas masivas color gris claro, estructura compacta, fracturadas y cavernosas, labradas por el intemperismo y la erosión.

El agua emana sobre las superficies de fracturas y cavernas de disolución cárstica, que son los conductos de alta permeabilidad por donde circula y se descarga agua caliente del subsuelo.

**Usos del agua:** el volumen de agua que descarga este manantial es aprovechado para uso urbano en la ciudad de Ixmiquilpan y abastecimiento del mismo balneario de Maguey Blanco; las excedencias y aguas residuales del balneario son descargadas a un canal de riego para su reutilización en las zonas agrícolas.

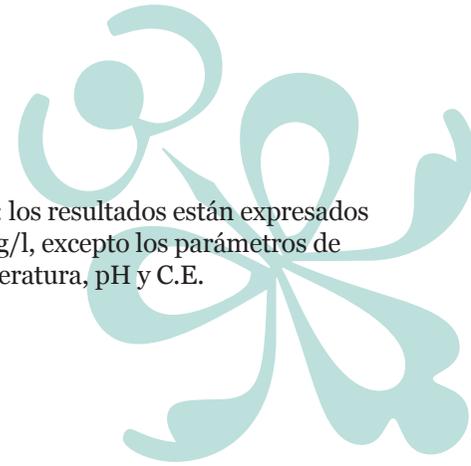


Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura °C	32° C.	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	1515.00	--	--
pH	8.15	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	313.20	400.00	Bajo
Carbonatos	2.62	--	--
Bicarbonatos	375.80	--	--
Nitratos	4.38	0.05	Alto
Cloruros	161.80	250.00	Bajo
Sulfatos	132.00	500.00	Bajo
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	142.80	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	62.00	--	--
Sodio	216.00	200.00	Ligeramente alto
Potasio	25.10	12.00	Alto
Calcio	27.00	--	--
Magnesio	18.30	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.02	0.02	Normal
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.011	0.05	Bajo

## Análisis químico de agua

**Clasificación química:  
sódica–bicarbonatada–  
clorurada–sulfatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Manantial El Alberto*



**Localización:** se encuentra ubicado en la misma comunidad de El Alberto a una altitud de 1,776 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 24' 41" latitud norte y 99° 12' 49" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al balneario termal El Alberto, se cuenta como principal vía de acceso con la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo, hasta la población de Tephé en Ixmiquilpan.

De este lugar se continúa por 4 km hacia el sur sobre la carretera que comunica a Progreso, hasta la comunidad La Estancia, donde se encuentra la desviación del camino pavimentado que conduce al balneario El Alberto.

**Geohidrología del lugar:** el área que ocupa el manantial se localiza sobre el cauce de un pequeño arroyo cercano al río Tula; las rocas que afloran en la superficie consisten de tobas arenosas medianamente consolidadas, cubiertas por derrames basálticos muy fracturados, de estructura compacta y vesicular. El agua de este manantial emana sobre el corte del mismo arroyo, formado de tobas arenosas y aluviones recientes.

**Usos:** su volumen de agua es aprovechado para el abastecimiento de las albercas y riego agrícola en una superficie de 25 ha, las excedencias son descargadas directamente al río Tula; éstas pueden ser reutilizadas mediante la instalación de un equipo de bombeo que permita establecer áreas verdes de recreación y mejoramiento del ambiente turístico del lugar.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada- clorurada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C.	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	917.00	--	--
pH	8.37	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	204.00	400.00	Bajo
Carbonatos	2.81	--	--
Bicarbonatos	244.80	--	--
Nitratos	2.98	0.05	Alto
Cloruros	74.90	250.00	Bajo
Sulfatos	54.30	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	110.10	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	101.00	--	--
Sodio	93.00	200.00	Bajo
Potasio	19.10	12.00	Alto
Calcio	37.00	--	--
Magnesio	4.30	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Bario	<0.00025	1.00	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	1.00	1.00	Bajo
Arsénico	0.0072	0.05	Bajo

## Pachuca

---

La zona hidrotermal se localiza en el centro del valle de Pachuca-Tizayuca, donde se encuentran varios pozos de agua caliente que abastecen a la ciudad de Pachuca, entre ellos el pozo Téllez No. 6.

Dentro de la misma región se señala también la zona minera El Álamo, cuyo interior presenta manifestaciones hidrotermales asociadas a yacimientos minerales.

**Vías de comunicación:** para llegar al lugar se cuenta como vía de acceso con la carretera federal No. 130 Pachuca-México hasta el poblado de Santa Matilde, después de este lugar se continúa hacia el poblado de Téllez, donde se encuentra el pozo No. 6.

**Geohidrología del lugar:** el pozo se encuentra dentro del valle de Pachuca-Tizayuca. La geología que caracteriza el lugar, de acuerdo con el corte geológico determinado, está formada por depósitos volcanosedimentarios medianamente consolidados, que descansan sobre una alternancia de derrames basálticos, tobas arenosas y materiales piroclásticos, que en conjunto forman una unidad acuífera favorable para la captación de agua del subsuelo por medio de pozos profundos. Su profundidad es de 200 m, nivel estático 60 m, nivel dinámico 78 m, gasto de 42 l/seg. y temperatura de 38°C.

**Usos:** El agua que se explota es utilizada para abastecimiento urbano en la ciudad de Pachuca.

## *Pozo termal Téllez No. 6*



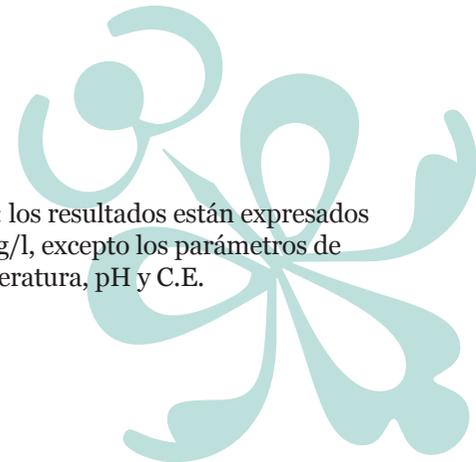
**Localización:** se encuentra en la comunidad de Téllez a una altitud de 2,340 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 00' 00" latitud norte y 98° 45' 00" longitud oeste.

# Análisis químico de agua

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38°C	20° C	Mesotermal
Conductividad E	1000.00	--	
pH	7.98	7..00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	280.00	--	--
Carbonatos	0.78	--	--
Bicarbonatos	161	--	--
Nitratos	14.80	0.05	alto
Cloruros	16.300	250..00	Bajo
Sulfatos	8.40	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	43.30	--	--
Sílice como SiO <sub>2</sub>	80.30	--	--
Sodio	42..00	200.00	Bajo
Potasio	7.30	12..00	Bajo
Calcio	14..00	--	--
Magnesio	2.50	50.00	Bajo
Hierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.05	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	0.00	0.01	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	0.80	1.00	Bajo
Arsénico	‘.0065	0.25	Bajo

**Clasificación química:  
sódica–cálcica–bicarbonatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



**E**l municipio posee una zona hidrotermal al norte de la población, cuyas aguas son aprovechadas por medio de manantiales para el abastecimiento del balneario y el hotel de Tzindejeh

**Vías de comunicación:** para llegar al balneario de Tzindejeh se tiene como principal vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México–Laredo, hasta la población de Tasquillo.

**Geohidrología del lugar:** el área de aguas termales se localiza en las márgenes del río Tula, las rocas que cubren la superficie del lugar están formadas por conglomerados y areniscas medianamente consolidados, limitados hacia el norte por depósitos de aluviones recientes.

El agua aflora en la zona de contacto entre conglomerados y areniscas, cuyos espacios intergranulares constituyen geohidrológicamente los conductos favorables para la circulación del agua hacia la superficie.

**Usos:** el volumen de agua es aprovechado con fines turísticos para el abastecimiento del balneario y el hotel del lugar; las aguas residuales producidas son descargadas directamente en el río Tula.

## *Manantial Tzindejéh*



**Localización:** se encuentra en la cabecera municipal de Tasquillo a una altitud de 1,680 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 33' 00" latitud norte y 99° 18' 00" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica- bicarbonatada- clorurada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C	20° C	Mesotermal
Conductividad	582.00	--	--
pH	7.81	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	176.00	400.00	Bajo
Carbonatos	0.68	--	--
Bicarbonatos	211.20	--	--
Nitratos	1.12	0.05	Alto
Cloruros	78.80	250.00	Bajo
Sulfatos	6.60	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	145.20	500.00	Bajo
Silíce como SiO <sub>2</sub>	79.18	--	--
Sodio	71.0	200.00	Bajo
Potasio	9.10	12.00	Bajo
Calcio	41.00	--	--
Magnesio	10.40	50.00	Bajo
Fierro	<0.20	0.30	Bajo
Manganeso	<0.050	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	1.00	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0049	0.05	Bajo

## Tecozautla

---

El municipio cuenta con mantos acuíferos de agua caliente, distribuidos en la mayor parte del valle de Tecozautla, donde son explotados por medio de pozos profundos, norias y manantiales que abastecen a unidades de riego, balnearios y hoteles de la región.

**Vías de comunicación:** para llegar al pozo termal de Las Ánimas se cuenta como principal vía de acceso con la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelos.

De esta estación se toma la desviación hacia Huichapan por el tramo de carretera No. 45, hasta la comunidad de Yonthé; al llegar a este lugar se continúa aproximadamente por 5 km hacia el norte por la carretera que conduce a San Miguel Caltepanitla y Tecozautla, donde se localiza el balneario Las Ánimas.

**Geohidrología del lugar:** el pozo termal de Las Ánimas se encuentra en el valle de San Miguel Caltepanitla, sobre una superficie de relieve casi plano, drenada por varios arroyos que integran la cuenca del río Tecozautla. Estas corrientes contribuyen por infiltración a la recarga de los sistemas de acuíferos que se explotan en los valles de San Miguel Caltepanitla y Tecozautla.

Las rocas que cubren la superficie están formadas de tobas riolíticas y dacitas de la Formación Donguinyó, cuyos afloramientos se caracterizan por sus depósitos masivos de color rosa, café claro y amarillento según el grado de alteración por intemperismo.

La columna geológica determinada durante su perforación está formada de tobas riolítica y lítica intercaladas en el subsuelo con horizontes de piroclásticos, toba pumítica y basalto fracturado, que en su conjunto forman un sistema de acuífero

## *Pozo Las Ánimas*



**Localización:** se encuentra al suroeste de la comunidad de San Miguel Caltepanitla a una altitud de 1,942 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 27' 38" latitud norte y 99° 37' 57" longitud oeste.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	36° C	20° C	Mesotermal
Conductividad	259.30	--	--
pH	7.94	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	127.60	400.00	Bajo
Carbonatos	0.66	--	--
Bicarbonatos	153.10	--	--
Nitratos	0.38	0.05	Alto
Cloruros	11.50	250.00	Bajo
Sulfatos	8.40	500.00	Bajo
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	41.90	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	7918	--	--
Sodio	40.00	200.00	Bajo
Potasio	6.50	12.00	Bajo
Calcio	13.00	--	--
Magnesio	2.30	50.00	Bajo
Fierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	<0.020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0081	0.05	Bajo

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada

Nota: Los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Pozo El Géiser*



**Localización:** se encuentra en la comunidad de Uxdejé a una altitud de 1,700 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 34' 40" latitud norte y 99° 41' 34" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al pozo de Pathé El Géiser se tiene como principal vía de acceso la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelo.

De esta estación se toma la desviación hacia Huichapan y se continúa a Tecozautla; antes de llegar a esta población se encuentra el camino pavimentado que conduce a Gandhó y al pozo geotérmico de Pathé (El Géiser), localizado a una distancia de 5 km aproximadamente.

**Geohidrología del lugar:** el pozo geotérmico de Pathé se localiza sobre el cauce del río San Juan, alojado en la base de una ladera. Las rocas que caracterizan el lugar están formadas de andesita, riolita y tobas volcánicas muy alteradas debido a procesos de hidrotermalismo; sus afloramientos consisten de depósitos masivos de color claro a café amarillento, cubiertos en la superficie por derrames de basaltos vesiculares y suelos de formación residual.

El pozo se encuentra equipado con una tubería de 25 pulgadas de diámetro, cuyo conducto descarga agua caliente a una temperatura de 98°C en forma intermitente, acompañado de explosiones que forman grandes nubes de vapor con olor a azufre.

**Usos:** por sus características geotérmicas, el pozo es visitado con fines científicos y turísticos; el agua se utiliza para el abastecimiento del balneario y servicio de hotel; las excedencias y descargas residuales drenan directamente al río San Juan.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica–bicarbonatada–clorurada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor Normal	Clasificación
Temperatura ° C	52° C y 99° C.	20° C	Hipertermal
Conductividad	1646.00	–	–
pH	9.26	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	219.00	400.00	Bajo
Carbonatos	20.27	–	–
Bicarbonatos	262.80	–	–
Nitratos	0.09	0.05	Ligeramente alto
Cloruros	105.00	250.00	Bajo
Sulfatos	70.30	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	5.00	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	239.68	–	–
Sodio	253.00	200.00	Alto
Potasio	17.70	12..00	Ligeramente alto
Calcio	2.00	–	–
Magnesio	<1.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	1.00	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.05	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	–	–
Aluminio	<0.0847	0.02	Alto
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.035	0.025	Ligeramente alto

## *Manantial Taxhidó*



**Localización:** se localiza en el poblado de Manguaní, a una altitud de 1,600 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 35' 00" latitud norte y 99° 39' 00" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial termal de Taxhidó, se cuenta como principal vía de acceso con la carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelo; de este lugar se toma la desviación a Huichapan, después de esta población se continúa hacia Tecozautla y se continúa finalmente hacia el norte sobre el camino de terracería que conduce a la comunidad de Manguaní, donde se localiza el manantial de Taxhidó.

**Geohidrología del lugar:** el manantial de Taxhidó se localiza sobre el cauce del río San Juan, la geología que caracteriza la zona está formada por rocas ígneas extrusivas, principalmente depósitos masivos de riolita y dacita fracturados, alternados con tobas y brechas volcánicas de la misma composición, cubiertas a su vez por derrames de basaltos masivos.

El agua caliente se origina en la base de la columna geológica, sobre superficies de fracturas y pequeñas cavernas formadas en los horizontes de tobas y brechas volcánicas.

**Usos:** el volumen de agua que emana es utilizado para abastecimiento de uso potable y como sitio de balneario natural sobre el cauce del río San Juan; las excedencias y descargas residuales producidas drenan directamente a la presa de Zimapán.

## Análisis químico de agua

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	39° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	270.30	–	–
pH	7.94	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	132.80	400.00	Bajo
Carbonatos	0.69	–	–
Bicarbonatos	159.40	–	–
Nitratos	0.63	0.05	Ligeramente alto
Cloruros	15.50	250.00	Bajo
Sulfatos	7.00	500.00	Bajo
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	56.90	500.00	Bajo
Sílice como Si O <sub>2</sub>	62.06	–	–
Sodio	43.00	200.00	Bajo
Potasio	6.60	12.00	Bajo
Calcio	18.00	–	–
Magnesio	2.90	50.00	Bajo
Fierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	<0.020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.20	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	–	–
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	0.00213	0,05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0110	0.05	Bajo

**Clasificación química:  
sódica–cálcica–bicarbonatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Manantial San Miguel Caltepanitla*



**Localización:** se encuentra en la misma comunidad de San Miguel Caltepanitla a una altitud de 2,040 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 29' 00" latitud norte y 99° 38' 00" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial termal de San Miguel Caltepantra, se cuenta como principal vía de acceso con la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelos.

De esta gasolinera se toma la desviación de la carretera estatal No. 45, que va a Huichapan, hasta la comunidad de Yonthé; al llegar a este lugar se continúa hacia el norte por el camino pavimentado que conduce a Tecozautla, hasta el poblado de San Miguel Caltepantra, donde se localiza el manantial del mismo nombre.

**Geohidrología del lugar:** el manantial se encuentra ubicado en el valle de San Miguel Caltepantra, sobre una superficie de relieve ligeramente inclinada, surcada por varios arroyos que integran la cuenca del río Tecozautla, cuyos escurrimientos recargan en parte la zona acuífera de San Miguel Caltepantra y Tecozautla.

La geología superficial que se presenta en el lugar está formada de tobas riolítica y dacíticas de la Formación Donguinyó, caracterizados por sus depósitos masivos muy fracturados y de superficies ásperas, que varían de color rosa a café amarillento, según el grado de intemperismo y erosión.

El agua caliente emana sobre las superficies de fracturas de los afloramientos de tobas riolíticas y dacitas, que son los conductos favorables para la circulación de agua caliente hacia la superficie.

**Usos:** el agua que aporta este manantial se aprovecha para abastecimiento urbano y abrevadero de animales; las descargas residuales y excedencias son utilizadas en pequeñas superficies de riego.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura °C	28° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	266.9	--	--
Ph	7.98	7.00 (neutro)	Alcalino
Alcalinidad	134.20	400.00	Bajo
Carbonatos	0.76	--	--
Bicarbonatos	161.00	--	--
Nitratos	0.54	0.05	Alto
Cloruros	16.30	250.00	Bajo
Sulfatos	8.40	500.00	Bajo
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	45.30	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	81.32	--	--
Sodio	42.00	200.00	Bajo
Potasio	7.80	12.00	Bajo
Calcio	14.00	--	--
Magnesio	2.50	50.00	Bajo
Fierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	<0-020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0-00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.80	1.00	Bajo
Arsénico	0.0065	0.05	Bajo

## Pozo La Cruz



**Localización:** se encuentra en el barrio La Cruz a una altitud de 1,800 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 32' 00" latitud norte y 99° 40' 00" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al lugar se cuenta como principal vía de acceso con la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelo.

De esta estación se toma la desviación hacia Huichapan y se continúa a Tecozautla hasta la entrada del balneario La Cruz, situado cerca de la carretera.

**Geohidrología del lugar:** el pozo se encuentra en el extremo sur del valle de Tecozautla, sobre una superficie de relieve ligeramente inclinado, drenada por los ríos Yonthé o San Francisco y Tecozautla, cuyos escurrimientos contribuyen a la recarga de los acuíferos de la región.

La geología superficial que caracteriza el lugar está formada de aluviones medianamente consolidados y suelos recientes, que en conjunto forman una unidad hidrogeológica favorable para la recarga de acuíferos subterráneos.

La litología que caracteriza su columna geológica está formada de sedimentos aluviales arenosos que sobreyacen a la unidad de tobas San Antonio y San Francisco, que a su vez intercalan en el subsuelo con horizonte de piroclásticos y derrames de basaltos.

**Usos:** el agua se utiliza para el abastecimiento del balneario turístico La Cruz y riego agrícola.

## Análisis químico de agua

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	38° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	266.00		
pH	7.98	7.00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	134.20	--	--
Carbonatos	0.76	--	--
Bicarbonatos	161.03	--	--
Nitratos	0.54	0.05	Alto
Cloruros	16.30	250.00	Bajo
Sulfatos	8.40	500.00	Bajo
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	43.30	500.0	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	81.32		
Sodio	42.00	200.00	Bajo
Potasio	7.70	12.00	Bajo
Calcio	14.00	--	--
Magnesio	2.50	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.05	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	--	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	0.00213	0.01	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	0.80	1.00	Bajo
Arsénico	0.0065	0.25	Bajo

**Clasificación química:  
sódica-cálcica-bicarbonatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



## *Pozo El Arenal*



**Localización:** se localiza en el tramo de la carretera Gandhó-Tecoautla a una altitud de 1,800 msnm; sus coordenadas geográficas son 20° 32' 00" latitud norte y 99° 40' 00" longitud oeste.

**Vías de comunicación:** para llegar al lugar se cuenta como principal vía de acceso con la antigua carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la estación gasolinera de Portezuelo.

**Geohidrología del lugar:** se encuentra sobre una extensa superficie de relieve casi plano. La columna geológica que caracteriza el pozo está formada de suelos arenosos y aluviones medianamente consolidados de alta porosidad, que cubren en el subsuelo a rocas basálticas, intercalados con tobas arenosas y piroclásticos.

**Usos:** el volumen de agua que se explota es utilizado para el abastecimiento del balneario de El Arenal y riego agrícola.



## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura °C	41° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	220.00		
pH	7.6	7.00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	134.20	400.00	Bajo
Carbonatos	0.75	---	--
Bicarbonatos	161.00	-	--
Nitratos	0.54	0.05	Alto
Cloruros	16.30	250.00	Bajo
Sulfatos	8.40	500.00	Bajo
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	48.30	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	19.00	80.30	Bajo
Sodio	40.00	200.00	Bajo
Potasio	8.00	12.00	Bajo
Calcio	14.00	-	--
Magnesio	2.50	50.00	Bajo
Fierro	<0.050	0.30	Bajo
Manganeso	<0.020	0.10	Bajo
Cobre	<0.050	1.00	Bajo
Níquel	<0.050	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.020	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	-	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	0.80	1.00	Bajo
Arsénico	0.0064	0.25	Bajo

## Tezontepec de Aldama

---

El sitio de aguas termales se encuentra en la porción norte de la cabecera municipal, cuyas aguas son aprovechadas a través de manantiales que abastecen al balneario turístico de Tezontepec de Aldama.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial de Tezontepec, se cuenta como principal vía de acceso con el tramo de carretera federal No. 85 México-Laredo hasta la ciudad de Actopan.

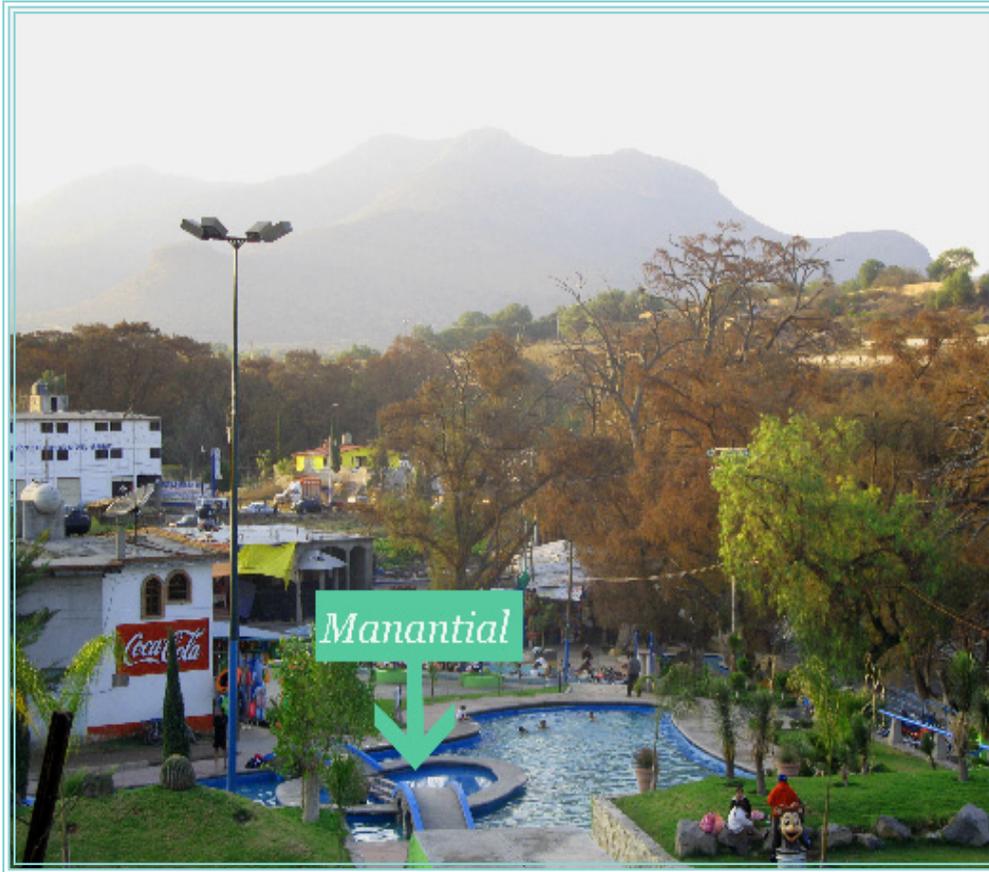
De esta población se continúa por la carretera estatal No. 19 a Tula, hasta el lugar denominado El Tinaco; al llegar a este punto, se toma la desviación hacia el norte sobre un camino pavimentado que conduce a Tezontepec de Aldama y balneario de aguas termales.

**Geohidrología del lugar:** los manantiales se localizan en la base de los cortes geológicos del río Tula. Las rocas que afloran en el lugar están formadas por derrames de basaltos masivos muy fracturados, color negro a gris oscuro, de estructura compacta y vesicular, que sobreyacen en forma discordante a estratos de calizas y depósitos de travertino.

El agua caliente brota sobre las zonas de fracturas y cavernas de los estratos de calizas, que son los conductos favorables para la circulación y descarga de agua caliente del subsuelo.

**Usos:** el volumen de agua que emana de la zona de manantiales es utilizado para el abastecimiento del mismo balneario de Tezontepec de Aldama; las excedencias y descargas residuales drenan directamente al río Tula.

## *Manantial Tezontepec de Aldama*



**Localización:** se encuentra en el extremo norte de la misma población a una altitud de 1,963 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 19' 01" latitud norte y 99° 16' 03" longitud oeste.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura °C	41° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	1218.00	-	--
pH	7.90	7.00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	227.50	400.00	Baja
Carbonatos	1.10	-	--
Bicarbonatos	273.10	-	--
Nitratos	3.82	0.05	Alto
Cloruros	154.11	250.0	Bajo
Sulfatos	110.00	500.00	Bajo
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	129.80	500.00	Bajo
Sílice como SiO <sub>2</sub>	135.00	-	--
Sodio	165.00	200.00	Bajo
Potasio	30.70	12.00	Alto
Calcio	36.00	-	--
Magnesio	9.70	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.060	0.01	Bajo
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	-	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.00025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.0093	0.25	Bajo

## Análisis químico de agua

**Clasificación química:  
sódica–bicarbonatada–clorurada–  
sulfatada**

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.



**E**ste municipio posee un sitio de aguas termales localizado aproximadamente a 3.5 km al sur de la población, cuyas aguas son aprovechadas para el abastecimiento del Parque Acuático La Cantera.

**Vías de comunicación:** para llegar al manantial La Cantera, se toma como punto de referencia la cabecera municipal de Tula; de esta población se recorren 3 km hacia el oriente sobre la carretera que va a la Refinería y Tepeji del Río, hasta el poblado de San Pedro Alpuyeca; de este lugar se continúa aproximadamente 600 m sobre un camino de terracería que conduce al parque acuático La Cantera.

**Geohidrología:** los manantiales termales de La Cantera quedan comprendidos dentro de un antiguo banco de calizas, cuyos afloramientos consisten de estratos masivos muy fracturados y cavernosos.

El agua emana de la base de los cortes geológicos sobre las zonas de fracturas y cavernas de disolución cárstica, que son las estructuras permeables para la circulación de agua caliente hacia la superficie.

**Usos:** el agua de este manantial es utilizada para el abastecimiento del balneario La Cantera; las descargas residuales y las excedencias drenan directamente al río Tula.

## *Manantial La Cantera*



**Localización:** se encuentra en la Colonia El Llano, segunda sección, a una altitud de 2,180 msnm, sus coordenadas geográficas son 20° 03' 00" latitud norte y 99° 18' 00" longitud oeste.

## Análisis químico de agua

### Clasificación química: sódica-cálcica-sulfatada- bicarbonatada

Nota: los resultados están expresados en mg/l, excepto los parámetros de temperatura, pH y C.E.

Parámetros	Resultados	Valor normal	Clasificación
Temperatura ° C	41° C	20° C	Mesotermal
Conductividad E.	2398.00	-	-
pH	7.8	7.00 (neutro)	Ligeramente alcalino
Alcalinidad	435.00	400.00	Ligeramente alta
Carbonatos	1.71	-	--
Bicarbonatos	523.00	-	--
Nitratos	0.51	0.08	Ligeramente alto
Cloruros	156.70	250.00	Bajo
Sulfatos	1009.62	500.00	Alto
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	609..25	500.00	Ligeramente alto
Sílice como SiO <sub>2</sub>	62.00	-	--
Sodio	346.00	200.00	Alto
Potasio	53.00	12.00	Alto
Calcio	182.00	-	--
Magnesio	37.00	50.00	Bajo
Fierro	<0.05	0.30	Bajo
Manganeso	<0.02	0.10	Bajo
Cobre	<0.05	1.00	Bajo
Níquel	<0.055	0.01	Ligeramente alto
Zinc	<0.02	5.00	Bajo
Cobalto	<0.05	-	--
Aluminio	<0.0162	0.02	Bajo
Cadmio	<0.0025	0.01	Bajo
Plomo	<0.00213	0.05	Bajo
Mercurio	<0.0005	0.001	Bajo
Bario	<0.20	1.00	Bajo
Arsénico	0.028	0.025	Ligeramente alto

## Bibliografía

---

- Amelung, W., Hildebrandt G. (1985). *Balneologie un medizinische, klimatologie*, Springer, Berlín, Heidelberg.
- Arango San José C. *Hidrología médica y terapias complementarias*, Secretariado de Publicaciones, Universidad de Sevilla.
- Armijo, M. San Martín J. (1994). *Curas balnearias y climáticas., Talasoterapia y helioterapia*, Complutense, Madrid, España.
- Ayala Hernández C. (1997). *Restauración ecológica de la zona geotérmica del bosque La Primavera*, Jalisco, Revista Mexicana de Geoenergía, Vol. 13, Núm. 2 y 3, CFE., México D.F.
- Bautista Cocaletzi, C. (1990). *Balnearios de aguas termales en Parciandero, Mich.*, Tesis de Licenciatura, E.S.I.A, Tecamachalco, I.P.N.
- Becerra Vivar, J. (1994). *La Geotermia y su relación con las áreas naturales protegidas*, en Revista Mexicana de Geoenergía, vol. 10, No. 3, C.F.E. México.
- Carrillo Martínez, M. (1998). *Fallamiento normal en el área geotérmico de Pethé, centro de México*. Inst. Geol., U.N.A.M., México.
- Catalán Lafuente, J. (1990). *Química del agua*, Bellisco, Madrid, España.
- \_\_\_\_\_ (1970). *Carta geológica. Hoja Huichapan*, F-14-C-78, Esc. 1: 50,000.
- CETENAL. (1970). *Carta geológica. Hoja Tecozautla*, F-14-C-68, Esc. 1: 50,000.
- Consejo de Recurso Minerales (1995). *Carta geológica minera, Hoja Actopan*, F14, D71, Esc. 1:50,000.
- \_\_\_\_\_ (1995). *Carta geológica minera, Hoja Ixmiquilpan*, F14-C79, Esc. 1: 50,000.
- Consejo de Recursos Minerales (1997). *Carta geológica minera. Hoja Pachuca*, F12-11, Esc.

1: 250,000.

Davis, S. N. y de Viest, R. (1971) *Hidrogeología* (63 p). Ariel, Barcelona, España.

De la O Carreño, A. (1951.) *Las provincias geohidrológicas de México*, vol. No. 56, Universidad Nacional Autónoma de México, Inst. Geol.

Gómez de Bedoya P. (1764). *Historia Universal de las Fuentes Minerales de España*, Santiago.

Hinojosa Tello, E. (1996). *Geoquímica de los manantiales termales de San Antonio El Bravo, Chihuahua*, Revista Mexicana de Geoenergía, vol. 12, No. 2, C.F.E, México.

\_\_\_\_\_ (1996). *Geoquímica de los manantiales termales de la zona de Piedras de Lumbre, Chihuahua*, Revista Mexicana de Geoenergía, vol. 12, No. 1, CFE, México.

I.N.E.G.I (1993). *Carta geológica. Hoja Pachuca*, Esc. 1: 25,000.

Leibold, G. (1982). *Hidroterapia práctica*, Edaf., Madrid, España.

Maderey Rascón, L. E.(1967). *Aguas subterráneas en México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Orvañanos, D. (1889). Ensayo.

## Glosario

---

**ALUVIÓN.-** Sedimentos clásticos depositados en la superficie por corrientes fluviales.

**ARCILLAS.-** Sedimentos clásticos finos no consolidados o poco endurecidos, cuyo tamaño es menor de 0.0039 mm.

**ARENAS.-** Sedimentos clásticos no consolidados o poco endurecidos cuyo tamaño varía de 0.0625 a 2 mm.

**ARENISCA.-** Roca sedimentaria clástica formada predominantemente de arenas consolidadas.

**ANDESITA.-** Roca ígnea volcánica formada por enfriamiento de lavas intermedias, su nombre lo toma de las lavas de la cordillera de los Andes y esta constituida por minerales de andesina, oligoclasa, hornblenda y augita.

**BASALTO.-** Roca ígnea volcánica formada por enfriamiento de lavas básicas, constituida por minerales de plagioclasa cálcica, piroxeno, augita y olivino.

**CALIZA.-** Roca sedimentaria constituida de carbonatos de calcio.

**CONGLOMERADO.-** Roca sedimentaria clástica formada de cantos rodados redondeados y subredondeados ya consolidados.

**GÉISER.-** Manantial termal dotado de un sistema de calentamiento subterráneo y desfogue, que da lugar a erupciones intermitentes de agua y gas.

**GRUTA.-** Cavidad cárstica subterránea formada por la disolución de las rocas calcáreas.

**LIMOS.-** Sedimentos clásticos finos no consolidados o poco endurecidos, cuyo tamaño oscila entre 0.0039 mm. A 0.625 mm.

**LUTITA.-** Roca sedimentaria clástica formada predominantemente de arcillas consolidadas.

**MANANTIAL.-** Manifestación de agua subterránea sobre la superficie.

**POZO.-** Orificio construido en el subsuelo con fines de exploración, extracción de agua u otros recursos.

**PIROCLÁSTICOS.-** (Del griego pyros-fuego y klastos-quebrado), fragmentos de material volcánico producto de erupciones explosivas.

**RIOLITA.-** Roca ígnea volcánica formada por enfriamiento de lavas ácidas, constituida por minerales de cuarzo, albita, ortoclasa, biotita.

**TEMAZCAL.-** (Del náhuatl, *temaz*-vapor y *calli*- casa: *casa de vapor*). Es un baño indígena con vapor de agua y hierbas aromáticas.

**TOBA.-** Roca piroclástica formada de arenas y cenizas volcánicas consolidadas.

**TRAVERTINO.-** Roca sedimentaria formada por la precipitación de carbonatos de calcio como resultado de la evaporación en manantiales termales.

***Aguas termales del Estado de Hidalgo***

se diseñó en formato electrónico en la Dirección de Ediciones y Publicaciones con el apoyo de la Imprenta Universitaria y la Dirección de Tecnologías Web y Webometría de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el mes de agosto de 2022.

