

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE GEOGRAFÍA

**“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS TERMALES EN EL  
ESTADO DE MÉXICO: IMPLICACIONES PARA SUS USOS”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RECURSOS HÍDRICOS

P R E S E N T A

**ALEJANDRO CRUZ GONZÁLEZ**

ASESORA DE TESIS:

**Dra. María Vicenta Esteller Alberich**

REVISORES DE TESIS:

**Dr. José Luis Expósito Castillo**

**Dr. Miguel Ángel Gómez Albores**

Toluca, Estado de México, Junio de 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma del Estado de México, a la Facultad de Geografía y al Centro Interamericano de Recursos del Agua, por brindarme las herramientas técnicas y científicas, así como el recurso humano necesario, para poder realizar los estudios de licenciatura.

A la Secretaria de Investigación y Estudios Avanzados de la UAEMex por la Beca destinada para Ayudantía de Investigación en el proyecto 3716/2014/CID “Aguas termales en el Estado de México: Origen, Caracterización y Protección”.

A todos los colaboradores del proyecto de aguas termales del CIRA y a los compañeros que participaron en las brigadas para la campaña de muestreo.

A las autoridades administrativas y responsables de los balnearios termales, así como al personal que labora en estos, que permitieron y dieron las facilidades para realizar el trabajo de campo de esta tesis.

## **RESUMEN**

El objetivo principal de esta tesis fue clasificar las aguas termales presentes en diversas localidades del Estado de México, a partir de sus características fisicoquímicas, para poder identificar sus propiedades medicinales, con la finalidad de contribuir al desarrollo del turismo de salud termal y como una forma de medicina alternativa en la entidad mexiquense.

El primer proceso metodológico consistió en ubicar los manantiales termales más representativos a estudiar, considerando los de mayor importancia económica y cultural, con base en lo cual se definió realizar esta actividad en los municipios de Ixtapan de la Sal, Tonicato, Ixtapan de Oro, Sultepec, Tejupilco, Apaxco y Temascalcingo.

Se programó un itinerario de muestreo, realizado por una brigada de estudiantes y profesores, durante el cual se tomaron muestras de agua en cada manantial para su análisis químico en laboratorio y medición In Situ de los parámetros fisicoquímicos con un equipo multiparamétrico Thermo Orion Star A329.

Seguido de esta actividad, se evaluaron los resultados analíticos emitidos por el Laboratorio de Calidad de Agua del CIRA, UAEM, y el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Geociencias de la UNAM, con los cuales se generó una base de datos en donde se presentaron de manera ordenada los resultados de las mediciones in situ y de las concentraciones de los aniones, cationes y elementos minoritarios así como traza para cada manantial termal. Una vez elaborada la base de datos, se llevó a cabo la clasificación hidroquímica mediante los softwares DIAGRAMMES y AquaChem,

Los resultados permitieron definir tres grupos generales de agua; Clorurada Sódica, Sulfatada Cálcica y Bicarbonatada Sódica. Con base en esta clasificación y considerando los elementos químicos de interés terapéutico, finalmente, se definieron los usos terapéuticos para las aguas en estudio, así como las indicaciones, efectos secundarios y las contradicciones de su uso con base en la literatura referente a los usos y propiedades medicinales de las aguas termales.

# CONTENIDO

**RESUMEN**

**INTRODUCCIÓN**

**JUSTIFICACIÓN**

**HIPÓTESIS**

**OBJETIVO GENERAL**

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Manantiales .....	1
1.2 Manantiales termales.....	2
1.3 Características fisico-químicas de las aguas termales .....	3
1.4 Clasificaciones de las aguas .....	5
1.4.1 Clasificación general.....	6
1.4.2 Clasificación hidroquímica .....	7
1.4.3 Clasificación de las aguas mineromedicinales .....	9
1.5 Usos de las aguas termales.....	9
1.5.1 Mecanismos de acción del agua mineromedicinal .....	12
1.5.2 Vías y técnicas de administración .....	14
1.6 Historia del uso de las aguas mineromedicinales.....	15
<b>CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>18</b>
2.1 Ubicación geográfica .....	18
2.2 Clima.....	20
2.3 Orografía .....	22
2.4 Geología.....	24
2.5 Hidrología .....	27
2.5.1 Hidrología superficial.....	27
2.5.2 Hidrología subterránea .....	30
<b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 Investigación bibliográfica y cartográfica.....	34
3.2 Delimitación geográfica de los manantiales termales .....	34
3.3 Trabajo en campo.....	34
3.3.1 Selección de material para trabajo en campo .....	36

3.3.2 Obtención de parámetros in situ.....	37
3.3.3 Recogida de muestras.....	38
3.3.4 Aplicación de cuestionario.....	38
3.4 Trabajo de laboratorio.....	40
3.4.1 Determinación de aniones.....	40
3.4.2 Determinación de cationes.....	40
3.5 Tratamiento y análisis de datos.....	40
3.6 Clasificación hidroquímica de las aguas termales.....	41
3.7 Propuesta de usos medicinales y terapéuticos.....	41
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
4.1 Parámetros medidos In Situ.....	43
4.2 Aniones.....	44
4.3 Cationes.....	47
4.4 Clasificación hidroquímica.....	52
4.5 Otras clasificaciones.....	54
4.6 Resultados de las encuestas aplicadas.....	55
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
5.1 Grupo Ixtapan de la Sal-Tonatico.....	62
5.1.1 Caracterización.....	62
5.1.2 Posible uso terapéutico.....	67
5.2 Los Bañitos Apaxco (M5).....	68
5.2.1 Caracterización.....	68
5.2.2 Posible uso terapéutico.....	70
5.3. Grupo de manantiales de Ixtapan del Oro (M6 y M7).....	71
5.3.1 Caracterización.....	71
5.3.2 Posible uso terapéutico.....	72
5.4 San Miguel Ixtapan (M8).....	74
5.4.1 Caracterización.....	74
5.4.2 Posible uso terapéutico.....	75
5.5 Sultepec (M9).....	76
5.5.1 Caracterización.....	76
5.5.2 Posible uso terapéutico.....	77
5.6 Grupo de manantiales El Borbollón (M10 y M11).....	78
5.6.1 Caracterización.....	78

5.6.2 Posible uso terapéutico.....	80
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
6.1 Conclusiones .....	83
6.2 Recomendaciones.....	86
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>
Anexo 1. Ilustraciones de material y equipo, así como trabajo en campo .....	92
Anexo 2. Glosario de términos médicos .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig.</b>		<b>Pág.</b>
1.1	Cámara de magma: sección transversal del géiser y aguas termales	3
1.2	Clasificación hidroquímica con base en el diagrama triangular de Piper	7
1.3	Clasificación hidroquímica con base en el diagrama de Schöeller-Berkaloff	8
1.4	Acciones biológicas derivadas de la aplicación externa de agua caliente	14
1.5	El temazcal prehispánico	17
2.1	Localización de los manantiales termales en el Estado de México.	19
2.2	Climas del Estado de México	21
2.3	Modelo Digital de Elevación del Estado de México.	23
2.4	Tipos de roca que afloran en el Estado de México	26
2.5	Regiones hidrológicas principales y cuerpos de agua del Estado de México	29
2.6	Provincias hidrogeológicas de México	30
3.1	Diagrama de flujo para el desarrollo metodológico de la investigación	33
3.2	Ejemplo de una ficha de levantamiento de datos en campo	35
3.3	Formato de cuestionario para usuarios	39
4.1	Concentración de aniones (mg/L) en las aguas termales	46
4.2	Concentración de cationes (mg/L) en las aguas termales	48
4.3	Concentración de elementos traza (mg/L) en las aguas termales	51
4.4	Tipos de agua termal de acuerdo al diagrama de Piper	53
4.5	Tipos de agua termal de acuerdo al diagrama de Schöeller-Berkaloff	54
4.6	Resultados de la encuesta aplicada a los usuarios de las aguas termales	56
5.1	Instalaciones del Balneario Ixtapan Municipal	63
5.2	Instalaciones del Balneario Tonatico Municipal y placa hidroquímica	64
5.3	Instalaciones del Balneario Los Bañitos, Apaxco	69
5.4	Instalaciones del Balneario Ixtapan del Oro	71
5.5	Salinas de San Miguel Ixtapan y fosas de agua termal	74
5.6	Manantial termal de Sultepec y entorno natural.	77
5.7	Instalaciones del Balneario “El Borbollón”	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Pág.</b>
1.1	Clasificación según el residuo seco	6
1.2	Clasificación según dureza	6
1.3	Principales funciones terapéuticas de los tipos de agua	13
2.1	Ubicación geográfica de los manantiales termales en el Estado de México	18
2.2	Acuíferos del Estado de México	32
3.1	Material y Equipo para trabajo en campo	36
3.2	Normas oficiales para la obtención de elementos mayoritarios	40
3.3	Asignación de clave de identificación a cada manantial termal	41
4.1	Valores de los parámetros fisicoquímicos medidos In situ	43
4.2	Concentraciones de aniones analizados	44
4.3	Concentraciones de cationes mayoritarios analizados	47
4.4	Concentraciones (mg/L) de los cationes minoritarios y traza analizados	49
4.5	Tipos de agua en los manantiales termales del Edo. México	52
4.6	Clasificación con base a temperatura y aprovechamiento	55
4.7	Número de cuestionarios aplicados en las diferentes zonas de estudio	55
5.1	Propiedades mineromedicinales de la Región Ixtapan-Tonatico	67
5.2	Propiedades mineromedicinales de Los Bañitos, Apaxco	70
5.3	Propiedades mineromedicinales de Ixtapan del Oro	72
5.4	Propiedades mineromedicinales de San Miguel Ixtapan	75
5.5	Propiedades mineromedicinales de Sultepec	77
5.6	Propiedades mineromedicinales El Borbollón, Temascalcingo	80

## **INTRODUCCIÓN**

La propia naturaleza es depositaria de un patrimonio curativo inconmensurable que en gran parte se desconoce. Las aguas termales han sido consideradas como remedios naturales con eficacia y virtudes curativas acreditadas a lo largo de siglos.

Por su situación geográfica y pasado geológico, México es un país rico en aguas termales. Desde la antigüedad, su aplicación terapéutica ha sido limitada y se basa en el empirismo por parte de los usuarios. México no cuenta con leyes o normas que protejan este recurso, lo cual tiene como consecuencia deficiencias en la explotación o simplemente el abandono de este recurso natural.

Las aguas mineromedicinales son las que por su composición físico-química y características propias pueden ser utilizadas con fines terapéuticos, la hidrología médica es la ciencia que se encarga del estudio de la aplicación de estas aguas por medio de la balneología, la cual investiga su uso para la prevención y tratamiento de estados patológicos en el ser humano.

En esta investigación se pretende conocer las propiedades físicas y químicas de las aguas termales localizadas en el Estado de México, para posteriormente proceder a clasificarlas de acuerdo a las propiedades antes mencionadas, y finalmente proponer los usos medicinales de acuerdo a casos de estudio y trabajos reportados en el área de hidrología médica. Con estos resultados obtenidos se pretende coadyuvar al turismo, no solo recreativo sino también de salud.

## **JUSTIFICACIÓN**

El Estado de México cuenta con una gran cantidad y diversidad de localidades con aguas termales, las cuales se encuentran distribuidas en varios municipios, especialmente en la región Ixtapan de la Sal-Tonatico; siendo éste un recurso muy abundante y común para la población.

La importancia del estudio de las aguas termales en el Estado de México radica en que es un recurso natural con un alto potencial médico debido a las propiedades mineromedicinales que éstas presentan por su composición físico-química, lo cual permitiría su uso para el tratamiento de diferentes problemas de salud como un método medicinal alternativo.

Las aguas termales son parte de la cultura mexicana ya que desde tiempo prehispánico han sido empleadas con fines terapéuticos y de rehabilitación física, principalmente, lo cual ha generado un conocimiento empírico que se ha transmitido de generación en generación y que ha permitido que esta actividad sea considerada una tradición entre algunos usuarios.

Los municipios que cuentan con el recurso de las aguas termales han desarrollado una infraestructura turística para recibir a los diversos visitantes que llegan para disfrutar de sus balnearios, lo que ha beneficiado económicamente a la población local que ofrece sus diferentes servicios y productos.

Considerando que en México no existen criterios de clasificación para asignar usos a las aguas termales es importante tener normatividades que ayuden al aprovechamiento, optimización y potencialización de este recurso. Así mismo, debido a que en el Estado de México tampoco existen políticas públicas que garanticen el cuidado y la gestión de las aguas termales, esta investigación ofrecerá una justificación para que se dé una mayor importancia a la conservación de dicho recurso.

## **HIPÓTESIS**

La caracterización y clasificación de las aguas termales en el Estado de México permitirá identificar sus diferentes usos, entre ellos, como medicina alternativa.

## **OBJETIVO GENERAL**

Clasificar las aguas termales del Estado de México con base en sus propiedades físico-químicas para establecer su idoneidad en diferentes usos, tomado en cuenta casos de estudio internacionales.

### **Objetivos específicos**

- Recopilar información para conocer las características geográficas, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio.
- Identificar los manantiales termales más representativos a estudiar para llevar a cabo su caracterización.
- Realizar un muestreo de las aguas termales para tomar mediciones de parámetros in situ y recolectar muestras para su análisis químico en laboratorio.
- Generar una base de datos con la información fisicoquímica de cada manantial termal para identificar rasgos hidroquímicos y llevar a cabo su clasificación con base en casos de estudio internacionales; así como identificar sus posibles usos mineromedicinales.
- Aplicar una encuesta a la población para conocer la percepción de los usuarios sobre el uso e importancia médica y terapéutica de las aguas termales.
- Generar una propuesta sobre los usos a los cuales pueden ser destinadas las distintas aguas mineromedicinales del Estado de México.

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 MANANTIALES

La manera más sencilla y precisa de definir un manantial es como una surgencia natural de agua subterránea, pero la definición genérica de manantial que da la hidrogeología es más compleja: intersección de la superficie piezométrica con la superficie topográfica. Algunos manantiales no responden, sin embargo, a este esquema simplista sino a situaciones hidrogeológicas singulares, como puede ser la existencia de conductos ascendentes forzados, bien por razones tectónicas o por flujos ascensionales de aguas magmáticas (Castillo, 2008).

Como lo define Custodio y Llamas (1983), un manantial es un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. Los manantiales son, pues, a modo de aliviaderos o desagües por los que sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos.

El término manantial tiene numerosos sinónimos, como son nacimiento, surgencia, manadero, alfaguara, vertiente, venero, ojo de agua y otros muchos. Pero, sin duda, el homónimo más utilizado es fuente (Castillo, 2008).

Alrededor de manantiales se formaron a lo largo de la historia pequeños núcleos de población, que aún subsisten, y que encontraban en el agua del manantial su principal y a veces su única fuente de abastecimiento. El manantial era y es también lugar de recreo, ocio y esparcimiento, donde acudían y acuden las personas a recoger el agua para sus casas (Castillo, 2008).

Algunos manantiales tienen un valor económico considerable, bien por constituir un atractivo turístico o por la calidad de sus aguas. Son numerosas las aguas que se comercializan embotelladas y muchas más las que son empleadas con fines terapéuticos. Estas últimas tienen un valor especial, sobre todo si son termales porque, además de cumplir una importante función social, representan la esencia de la cultura tradicional del agua que fomentaron las antiguas civilizaciones (Castillo, 2008).

También, por modestos que sean, los manantiales constituyen microecosistemas singulares con gran variedad de fauna y flora. El tipo de agua y su temperatura determinan la presencia de organismos específicos, que sólo subsisten en esas condiciones concretas (Castillo, 2008).

Las propiedades del agua de manantial difieren dependiendo de la zona de recarga, las interacciones con el medio rocoso y la velocidad de circulación que presente. Un ejemplo muy claro es la mineralización del agua en zonas kársticas, la cual es mucho mayor que en otras áreas compuestas por rocas cristalinas (Szczinska et al., 2014).

## **1.2 MANANTIALES TERMALES**

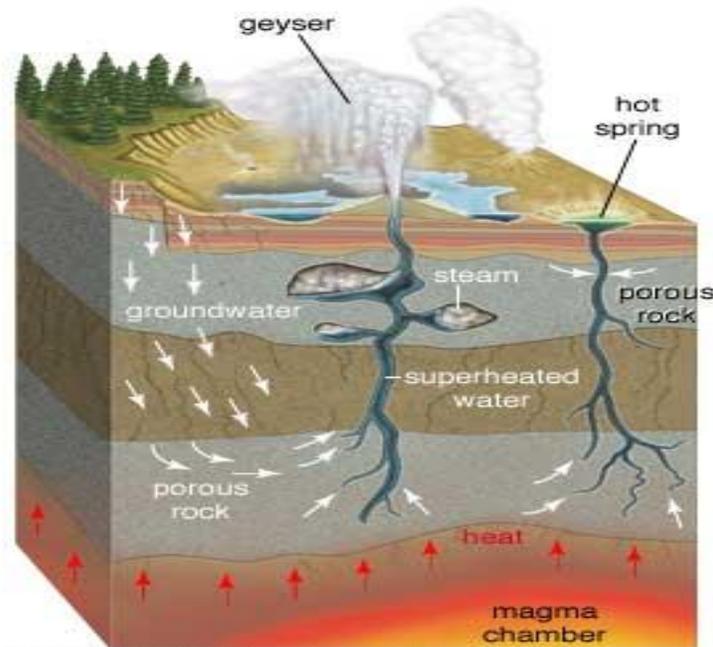
Un manantial es termal cuando la temperatura del agua que emana es elevada, al menos 4 °C superior a la temperatura media ambiente de la zona (Castillo, 2008).

La temperatura de un manantial puede estar asociada a una manifestación geotérmica que representa una expresión superficial formada por la acción de fluidos (agua líquida, vapor de agua o gases diversos) procedentes de algún reservorio caliente en profundidad. Los tipos más comunes son: las fuentes termales, las fumarolas, los géiseres, las zonas de alteración y las emisiones de gases o vapores (López, 2013).

Estos fenómenos se deben a que determinadas zonas de la litosfera están sometidas a tensiones que generan gran cantidad de calor y presión, produciéndose fracturas y fallas, por las cuales pueden ascender desde el manto, magmas y masas de rocas incandescentes, en estado de fusión total o parcial, con pequeñas cantidades de materias volátiles (agua, dióxido carbónico, ácidos sulfúrico y clorhídrico, entre otros) (López, 2013).

Igualmente, si las condiciones tectónicas son favorables, los magmas, por su movilidad, pueden ejercer un empuje hacia arriba y romper la costra superficial de la Tierra, formando volcanes por los que se desparraman lavas, cenizas y gases. Se estima que, para una determinada cantidad de magma arrojado por un volcán, un volumen diez veces mayor permanece debajo de la superficie formando cámaras magmáticas, las cuales calientan las rocas circundantes. Si esas rocas son permeables o están fracturadas y existe circulación de agua subterránea (Figura 1.1), ésta última capta el calor de las rocas, ascendiendo hasta la superficie a través de grietas o fallas, dando lugar a la formación de estas manifestaciones termales (López, 2013). Esta estructura geológica permite que el agua meteórica pueda

descender a profundidades suficientes para que pueda ser calentada por el gradiente geotérmico y volver a la superficie teniendo una pérdida en la temperatura (Gallois, 2007).



**Figura 1.1** Cámara de magma: sección transversal del géiser y aguas termales. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2014)

### 1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS TERMALES

La hidroquímica es una disciplina de la hidrología que tiene por objeto el estudio del agua y de los diversos elementos, compuestos y sustancias que se encuentran comúnmente en ella, así como las diferentes reacciones que se llevan a cabo en este líquido (Díaz et al., 2005)

Las propiedades del agua influyen en su interacción con el medio y controlan su composición química. Cuando se introducen impurezas en el agua, por procesos naturales o como resultado directo de las actividades del hombre, las propiedades varían de forma drástica (Díaz et al., 2005)

La composición química de las aguas termales se define a partir de los análisis de muestras de agua recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. La incorporación de los constituyentes al agua, en variedad y concentraciones diferentes, es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación (IGME, 1985).

La mayoría de las sustancias disueltas en el agua termal se encuentran en estado iónico (López-Geta et al., 2009). Algunos iones están presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos. Estos iones mayoritarios o fundamentales en la composición del agua son:

**Aniones:**  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$       **Cationes:**  $-\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que las de los iones mayoritarios. Se llaman iones menores a aquellos que habitualmente no superan el 1% del contenido iónico total (concentraciones entre 0.0001 y 10 mg/L), y elementos traza a aquellos que, estando presentes, lo están en cantidades difícilmente medibles por medios analíticos usuales (concentraciones inferiores a 0.0001 mg/L).

#### *Aguas minerales*

Son aquellas que poseen concentraciones de sales disueltas superiores a las aguas dulces, mientras que otras veces se consideran aguas minerales aquellas que llevan contenidos anormalmente altos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , S, Fe, etc., aunque su salinidad sea inferior al de muchas aguas dulces. Si la temperatura es elevada se les suele llamar termales o termominerales y si poseen propiedades curativas reconocidas se las suele denominar mineromedicinales (Custodio y Llamas, 1983). También se distinguen del resto de las aguas naturales en que poseen prácticamente invariables su caudal, temperatura y composición química (Sánchez, 2000).

#### *Agua mineromedicinal*

Se define como aquella que por su composición y características propias puede ser utilizada con fines terapéuticos, desde el área de surgencia hasta el lugar de utilización, dadas sus propiedades curativas demostradas por experiencia local, por estudios correspondientes o mediante ensayos clínicos y evolución de procesos específicos o de experiencia médica comprobada, y por conservar después de ser envasada sus efectos beneficiosos para la salud humana (Sánchez, 2000).

### *Agua termal*

Son aquellas cuya temperatura de surgencia sea superior al menos en cuatro grados centígrados a la media anual del lugar de la superficie donde emanen, que sean declaradas de utilidad pública, así como aptas para usos terapéuticos en instalaciones balnearias situadas en las áreas de emergencia (Melgosa 2000).

### *Parámetros físico-químicos de las aguas mineromedicinales*

Las propiedades físicas y químicas de las aguas mineromedicinales guardan relación directa con su valor terapéutico, ya que estas van a determinar sus acciones ligadas a factores mecánicos, térmicos y los efectos terapéuticos derivados de su composición química. Algunas de estas físicas y químicas son:

- *Temperatura*: La temperatura de surgencia de un agua termal no sólo va a determinar su termalidad sino que también va a influir en la solubilidad de los iones que contengan y en las reacciones al momento de su aplicación en el organismo (Mourelle, 2007).

- *pH*: Está influido por los gases y sales disueltas; la presencia de sustancias ionizables y la temperatura modifican el pH de las aguas termales. En general, el pH de las aguas varía entre 7.2 y 7.6. Las aguas calcáreas poseen valores más elevados y las que provienen de terrenos pobres en calizas o silicatos, del orden de 6 (Mourelle, 2007).

- *Conductividad eléctrica*: Se utiliza para determinar, de una manera rápida, la concentración de sustancias disueltas, siendo de interés para el estudio de la mineralización y en el estudio de la constancia de la composición de las aguas (Mourelle, 2007).

- *STD*: La medida de sólidos totales disueltos (STD) es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química. STD es definido analíticamente como residuo filtrable total (en mg/L).

## **1.4 CLASIFICACIONES DE LAS AGUAS**

La gran variedad de componentes y características fisicoquímicas del agua natural exige su clasificación en grupos para tener una información breve y sencilla sobre la composición química del agua y de los aspectos químicos de la misma (Porrás et al., 1985). Igualmente, Custodio y Llamas (1983), consideran que las diferentes aguas subterráneas se clasifican a

fin de informar de forma concisa sobre su composición química o sobre algunos aspectos de la misma.

#### 1.4.1 Clasificación general

a) De acuerdo a la temperatura: Armijo y San Martín (1994; en: Fagundo y González, 2001), clasifican a las aguas en cuatro grupos dependiendo de la temperatura del agua. Esta clasificación es una de las más empleadas y aceptadas internacionalmente.

- Frías: menos de 20 °C.
- Hipotermales: entre 20 y 35 °C.
- Mesotermales: entre 35 y 45 °C.
- Hipertermales: de más de 45 y hasta 50 °C.

b) De acuerdo al residuo seco: Custodio y Llamas (1983), clasifican al agua considerando las sales disueltas en el agua, tal y como se presenta en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Clasificación según el residuo seco (Custodio y Llamas, 1983).

TIPO DE AGUA	RESIDUO SECO (mg/L)
Agua dulce	0 - 2 000 (a veces hasta 3 000)
Agua salobre	Hasta 5 000 (a veces hasta 10000)
Agua salada	Hasta 40 000 (a veces hasta 1 00 000)
Salmuera	Hasta la saturación

c) De acuerdo a la dureza: Custodio y Llamas (1983) clasifican al agua con base en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Clasificación según dureza con base en Custodio y Llamas (1983).

TIPO DE AGUA	DUREZA (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Agua blanda	0 – 50
Agua moderadamente dura	51 - 100
Agua dura	101 - 200
Agua muy dura	> 200

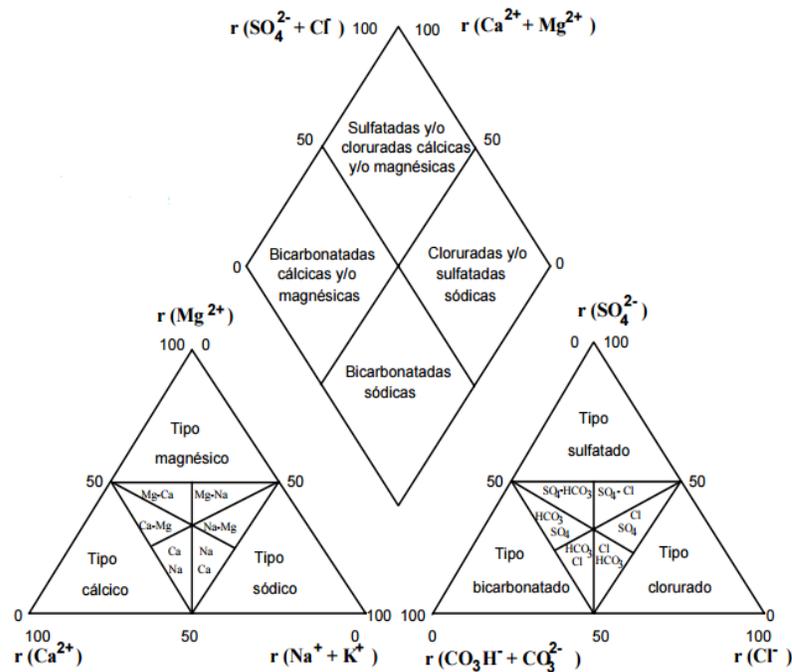
### 1.4.2 Clasificación hidroquímica

De acuerdo con Skopljak y Vlahovic (2012), los métodos hidroquímicos permiten realizar un análisis muy completo de las aguas termales pues a partir de ellos se podrá;

- Conocer la correlación entre los principales componentes.
- Establecer relaciones iónicas.
- Clasificar los tipos de agua.

El conocimiento de las concentraciones químicas es útil para interpretar los patrones de movimiento de las aguas subterráneas, así como el origen del agua y si ha habido un cambio en la concentración química del agua a través de los años. Los análisis químicos también pueden dar pistas sobre la longevidad de las aguas termales (Bedinger et al., 1979).

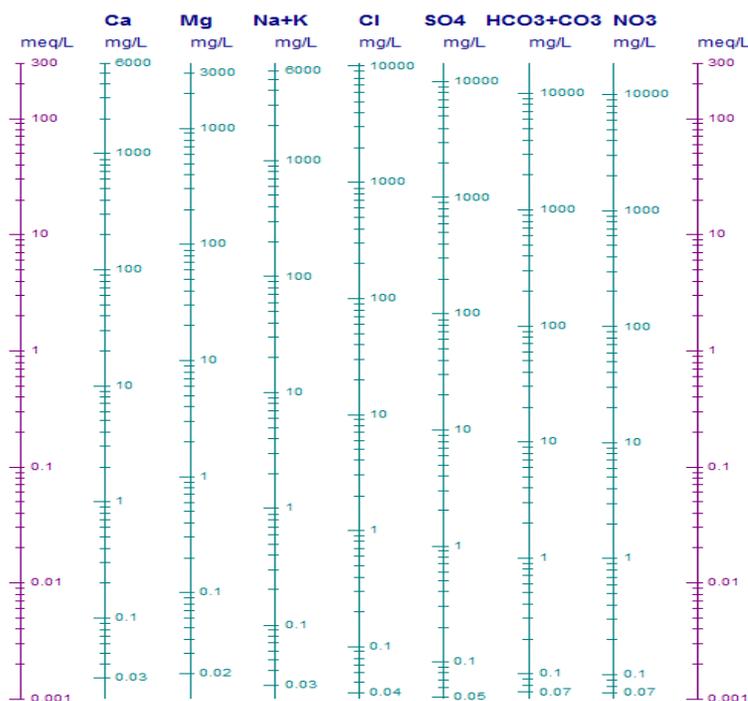
La clasificación hidroquímica está en función a los iones dominantes, se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas; si ninguno supera al 50% se nombran los dos más abundantes. Si conviene se puede añadir el nombre de algún ion menor de interés y que esté en concentración anormalmente alta (García et al., 1988, en: Fagundo y González, 2001). Esta clasificación hidroquímica (Figura 1.2) se puede representar, por ejemplo, con el diagrama de Piper (Han et al., 2010).



**Figura 1.2** Clasificación hidroquímica con base en el diagrama triangular de Piper.

Las aguas subterráneas no termales y termales químicamente son muy distintas, pues estas últimas presentan composiciones más elevadas en contenido mineral, debido principalmente en la interacción agua-roca bajo altas temperaturas en el embalse geotérmico (Skopljak y Vlahovic, 2012; Han et al., 2010). Es por ello que el agua subterránea termal contiene una gran variedad de especies químicas en solución (Bedinger et al., 1979).

Un método para poder representar lo anteriormente citado es mediante el empleo del diagrama de Schöeller-Berkaloff (Figura 1.3). En este diagrama se presenta mediante varias semirrectas o columnas verticales paralelas, igualmente espaciadas y divididas en escala logarítmica y con el mismo valor. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión, excepto la primera columna que no tiene asociado ningún ión y su unidad de medida es en meq/L, las demás tienen como unidad de medida mg/L. Gracias a este diagrama se pueden apreciar las diferentes concentraciones hidroquímicas correspondientes a cada muestra de agua en estudio (Agua y SIG, 2011).



**Figura 1.3** Clasificación hidroquímica con base en el diagrama de Schöeller-Berkaloff.

### *1.4.3 Clasificación de las aguas mineromedicinales*

Las aguas mineromedicinales se clasifican como (Armijo y San Martín, 1994, en: Fagundo y González, 2001):

*Sulfatadas:* con más de 1 g/L de minerales disueltos, donde predomina el anión sulfato y están influidas fuertemente en sus propiedades terapéuticas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro.

*Cloruradas:* con más de 1 g/L de minerales disueltos, donde el ion cloruro suele estar acompañado de sodio en proporción semejante. La composición de este tipo de agua suele reflejar un origen profundo y la presencia de mares pretéritos. La ocurrencia de fallas y grietas facilita su ascenso a la superficie.

*Bicarbonatadas:* con más de 1 g/L de minerales disueltos, donde el ion bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio y cloruro. Estas aguas cuando poseen gran cantidad de ácidos libres ( $\text{CO}_2$  mayor de 250 mg/L). También se denominan carbónicas o carbogaseosas.

*Ferruginosas:* con más de 1 g/L de minerales disueltos, donde los iones de hierro se encuentran en su forma reducida y poseen una concentración superior a 5 g/L. Estas aguas se destacan por la apreciable coloración de la superficie de la roca por donde discurren.

*Sulfuradas o sulfhídricas:* con más de 1 g/L de minerales disueltos y con más de 1 mg/L de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), acompañado de iones sodio, calcio y cloruro.

*Aguas oligominerales:* presenta muchos elementos con poca mineralización (en bajas concentraciones). Pueden poseer abundante cantidad de los microelementos: cobalto, vanadio, molibdeno, silicio, fósforo, germanio, etc.

*Aguas radiactivas:* poseen contenidos de radón (Rn) mayor de 182 nanocuries.

## **1.5 USOS DE LAS AGUAS TERMALES**

El uso por parte de la especie humana de fenómenos naturales debidos al calor interno de nuestro planeta, se conoce desde la antigüedad. Los manantiales de aguas calientes fueron lugares predilectos de concurrencia y en los escritos más antiguos de las culturas orientales, se menciona el uso de estas aguas para fines fundamentalmente medicinales. Hoy en día,

estos manantiales son explotados con frecuencia como balnearios, para la mejora social y bienestar económico (Virgilio y Zilda, 2006). El interés público en las aguas termales se ha centrado principalmente en el valor terapéutico de estas aguas (Bedinger et al., 1979).

Se entiende por agua medicinal la que, basándose fundamentalmente en su composición hidroquímica, tienen una aplicación terapéutica concreta. Estas aguas medicinales deben provenir de una fuente o manantial, tener sustancias minerales disueltas, emerger a temperatura mayor a 20°C, y así mismo deben estar libres de gérmenes nocivos, es decir bacteriológicamente no contaminadas. En cuanto a la composición química, esta debe ser concreta y estable (Aramburu et al., 1999).

Las aguas mineromedicinales se deben diferenciar de las aguas potables ya que estas últimas no presentan una acción terapéutica específica y poseen una mineralización muy inferior a las aguas termales; no obstante, lo que realmente caracteriza a un agua mineromedicinal es su potencial acción sobre diferentes afecciones, en base a su composición química y temperatura (Aramburu et al., 1999).

Dependiendo de su aplicación se denomina:

#### *Hidrología médica*

La Hidrología Médica, Crenoterapia de los franceses o Balneoterapia de los alemanes, se ocupa del estudio de las aguas mineromedicinales y de su posible utilización terapéutica y/o preventiva, entendiéndose por aguas mineromedicinales aquellas soluciones difícilmente reproducibles artificialmente, dotadas de peculiaridades propias sobre el organismo humano sano o enfermo que justifican sean declaradas de utilidad pública (Maraver, 2003).

También se considera a la hidrología médica como la rama de la terapéutica que estudia las características de las aguas mineromedicinales, minerales naturales, marinas y potables ordinarias y sus aplicaciones terapéuticas (San José, 2008).

#### *Balneoterapia*

Es el uso de las aguas mineromedicinales como agentes terapéuticos, con propiedades derivadas de su riqueza de minerales, que son absorbidos por la piel en las aplicaciones

externas o por ingestión (Saz et al., 2011). También considera la influencia medioambiental propia de la zona donde se aplica la cura (Aramburu et al., 1999).

### *Cura balnearia*

Constituye una parte de la terapéutica que utiliza como agente medicamentoso las aguas mineromedicinales, aplicadas en el lugar de emergencia, la cual es considerada una terapia poco agresiva, poco iatrogénica, suave, bien tolerada, que rara vez es determinante de efectos secundarios o anormales y cuya función es actuar en la prevención, tratamiento y recuperación funcional y/o rehabilitación de las personas (Hernández et al., 2006). También son conocidas como curas hidrotermales las cuales constituyen un importante proceder terapéutico respaldado por siglos de utilización. Si bien todas las aguas que emergen o nacen de la Tierra tienen parecidas sales minerales en disolución; las hay de distintos tipos, según la proporción de cada una de ellas y, por tanto, con distintas capacidades terapéuticas (Rodríguez, 2002).

### *Balneario*

Un balneario es un establecimiento sanitario con baños medicinales, mediante la aplicación de aguas de manantial cálidas e instalaciones que permiten su empleo (Hernández et al., 2006).

Otra definición es propuesta por Rodríguez (2008), en la cual se considera a los balnearios como establecimientos sanitarios que utilizan aguas mineromedicinales, declaradas de utilidad pública, servicio médico e instalaciones adecuadas para llevar a cabo los tratamientos que se prescriben y la prevención de enfermedades. Su localización sólo es posible donde existe un manantial de aguas mineromedicinales.

De igual manera Rodríguez (2008), considera que un auténtico balneario debe cumplir con:

- Una fuente termal de agua mineromedicinal declarada de utilidad pública.
- Instalaciones en las que se tratan enfermedades tanto con la ingesta del agua como a través de diversos tipos de tratamientos (baños, duchas, chorros, etc.).
- Añadiéndole un especial trato personal al cliente, con instalaciones hoteleras adecuadas, programas de ocio, actividades culturales y físicas, así como un entorno natural sano y agradable.

## *Termalismo*

Es el conjunto de técnicas en las que se utilizan aguas minerales (generalmente aguas calientes de manantial) y marinas con fin sanitario. Las aguas ofrecen efectos internos, al ser bebidas y externos al aplicarse en forma de: baños, duchas, vaporizaciones, masajes, inhalaciones, etc., (Rodríguez, 2008).

### *1.5.1 Mecanismos de acción del agua mineromedicinal*

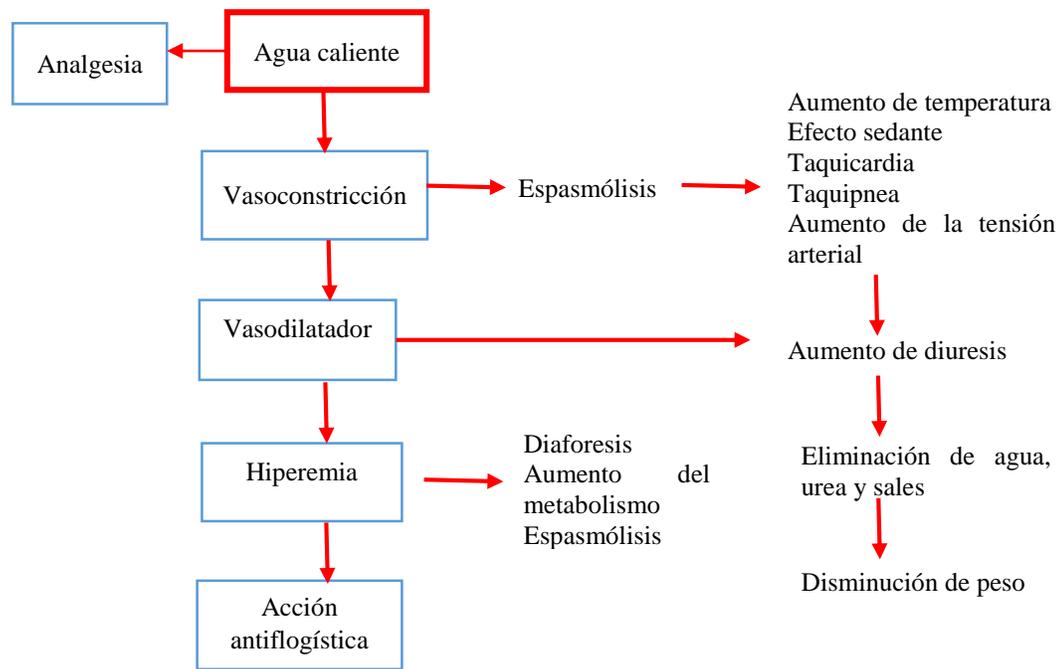
Los mecanismos de acción de las aguas mineromedicinales son múltiples, primeramente, atendiendo a su composición mineral, seguido de los factores actuantes ejercidos por las circunstancias ambientales, los cambios en las actividades diarias, las influencias psíquicas, etc. La administración de aguas mineromedicinales al organismo, por cualquier vía, implica el aporte o el contacto de dichas aguas con todas sus características o propiedades, puesto que las aguas naturales son, en último extremo, soluciones reales cuya concentración tiene una posible acción terapéutica (Armijo, 2015).

Con base en su mineralización, Rodríguez (2002), señala una serie de propiedades terapéuticas (Tabla 1.3 y Anexo 2) para los diferentes tipos de agua.

La temperatura de las aguas mineromedicinales es un factor muy importante durante la cura balneológica, ya que el agua caliente aporta diversas bondades terapéuticas y produce diferentes acciones biológicas en el cuerpo humano derivadas de su aplicación externa (Figura 1.4), si está agua es elevada provoca efectos vasodilatadores, analgésicos, sedantes y relajantes; mientras que si es baja produce vasoconstricción y sensación de estímulo, en ambos casos se ponen en marcha los mecanismos termorreguladores (Maraver, 2008).

**Tabla 1.3** Principales funciones terapéuticas de los tipos de agua (Rodríguez, 2002).

TIPO DE AGUA	FUNCIONES
CLORURADAS	<p>Contribuyen a aumentar las defensas de la piel y las mucosas.</p> <p>Lesiones osteomusculares.</p> <p>Alteraciones reumáticas.</p> <p>Estimulantes de la función gástrica hepática y biliar.</p>
SULFATADAS	<p>Ideales para combatir el estreñimiento.</p> <p>Favorecen la eliminación de ácido úrico.</p> <p>Son diuréticas y utilizadas en gastritis y alteraciones intestinales.</p>
BICARBONATADAS	<p>Eliminan la acidez gástrica y facilitan las digestiones.</p> <p>Aumentan la actividad pancreática.</p> <p>Favorecen el poder saponificador de las grasas por la bilis. Hepatoprotectoras.</p> <p>Favorecen la glucogénesis.</p> <p>Favorecen la movilización y eliminación del ácido úrico por la orina.</p>
CALCICAS	<p>Acciones sedantes y disminuidoras de la excitabilidad neuromuscular.</p>
SULFURADAS	<p>Afecciones del aparato respiratorio.</p> <p>Reumatismos.</p> <p>Alteraciones hepáticas.</p> <p>Alteraciones dérmicas</p> <p>Afecciones respiratorias.</p>
FERRUGINOSAS	<p>Favorecen la regeneración de la sangre, especialmente indicadas en casos de anemia.</p> <p>Activa la eritropoyesis, las funciones oxidativas tisulares, mejorando el trofismo tisular.</p>
RADIATIVAS:	<p>Analgésicas y calmantes.</p> <p>Indicadas en estados de estrés, ansiedad y depresión.</p>



**Figura 1.4** Acciones biológicas derivadas de la aplicación externa de agua caliente (Saz y Ortiz, 2005).

### 1.5.2 Vías y técnicas de administración

Es importante destacar que la cura balnearia debe realizarse en el lugar de emergencia de las aguas termales. Esto se debe a que las aguas mineromedicinales tienen un frágil equilibrio químico. Su almacenamiento, por lo general, hace precipitar diversos componentes, lo cual varía su composición y puede alterar las propiedades terapéuticas (San José, 2008).

Las aguas mineromedicinales pueden ser administradas en diversas formas. San José (2008) enumera las siguientes técnicas de aplicación como las mayormente empleadas:

-*Vía oral, cura de bebida o cura hidropínica:* Consiste en la ingestión de un volumen de agua que, como cualquier medicación, se administra una o varias veces al día durante un número de días.

-*Vía respiratoria o cura respiratoria:* Mediante diferentes aparatos se hace llegar el agua termal a las mucosas respiratorias para ejercer un efecto tópico.

-*Aplicaciones externas:* Son las más características de las curas termales. Todas las aplicaciones externas pueden ser generales, o locales:

- Baños: son la inmersión del paciente en una bañera llena de agua.
- Duchas: son proyecciones de agua sobre el organismo.

- Estufas húmedas: son habitaciones saturadas de vapor de agua termal.
- Peloides (Fango, lodos y barros): consisten en la unión de un sustrato sólido, con un sustrato líquido, habitualmente agua termal.

De acuerdo con Aramburu et al. (1999), las condiciones generales de la balneación suelen ser:

- Temperatura del agua termal, entre 37-40°C.
- Duración media de la inmersión, aproximadamente 15-30 minutos.
- Reposo tras la terapia, abrigado, durante unos 30-45 minutos.
- Circulación del agua, que el agua en el balneario esté en constante movimiento sobre el recipiente de inmersión.

## **1.6 HISTORIA DEL USO DE LAS AGUAS MINEROMEDICINALES**

El agua ha sido para el hombre un elemento fundamental de vida, tanto en su composición como en sus utilidades; desde el principio de los tiempos la inmersión del cuerpo en el agua y su permanencia en ella fue utilizada por el hombre como uso higiénico y como medida beneficiosa ante determinados males (Pérez y Novoa, 2002).

Las aplicaciones del agua con fines terapéuticos constituyen uno de los más viejos procedimientos curativos de los que ha dispuesto la humanidad desde sus orígenes. Para los antiguos, el agua ha sido un elemento sagrado, y en particular las aguas termales, han sido objeto de culto y respeto (Pérez y Novoa, 2002).

En la cultura Griega se tienen registros del uso de las aguas termales pues estas eran consideradas como una divinidad por el poder curativo que poseían. El tratamiento consistía entre la fe de la acción terapéutica del dios y la aplicación de diferentes técnicas hidroterápicas indicadas por los sacerdotes, que se consideraban descendientes de Asclepio, también llamado Esculapio, el dios de la Medicina (Pérez y Novoa, 2002).

Durante el Imperio Romano, prácticamente, la totalidad de sus ciudades fueron dotadas de termas públicas. Consistían en bastas construcciones que incluían un establecimiento de baños y un gimnasio edificado alrededor de un patio rodeado de pórticos y con piscina. Para curar sus males, los romanos frecuentaban las estaciones termales de aguas mineromedicinales (Pérez y Novoa, 2002).

La hidrología médica alcanza un enorme desarrollo en los siglos XVII y XVIII donde resurgen las técnicas hipocráticas, como las sangrías y los purgantes, pero también se recomendaba el uso de la balneoterapia y de la hidroterapia. Durante estos siglos aparecieron numerosos médicos que desarrollaron métodos terapéuticos basados en la hidroterapia, la balneoterapia y la hidrología (Pérez y Novoa, 2002).

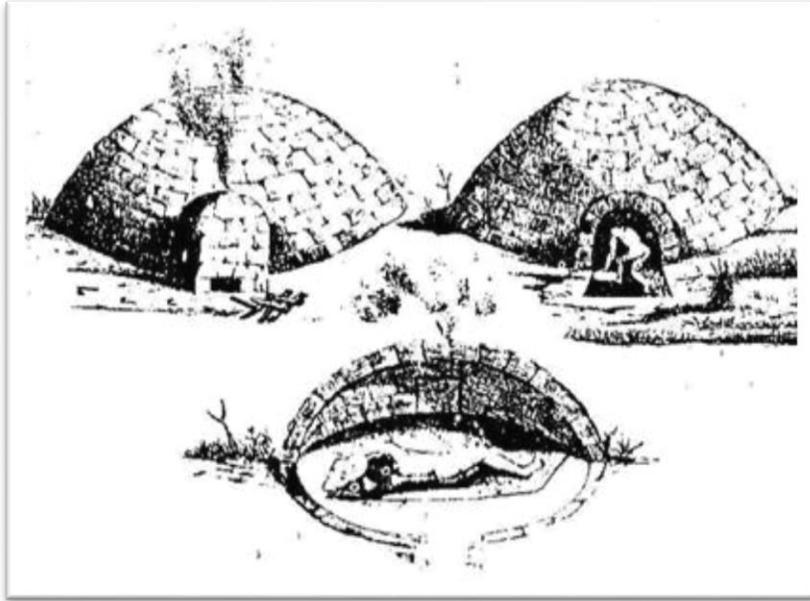
También fundamental fue el papel de la química para el mejor conocimiento de las aguas minerales, lo cual impulsó la balneoterapia, que alcanzó su auge científico en la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX. Quizá la manifestación más antigua de científicidad en el estudio de las aguas sea el intento de su clasificación, bien por las características físicas o químicas, bien por sus efectos salutíferos (Pérez y Novoa, 2002).

La evolución de la hidrología médica ha sido paralela a la medicina general. En la actualidad se estudia no solo el origen y composición de las aguas mineromedicinales, sino también sus acciones sobre órganos y funciones en tejidos aislados, en órganos sanos y enfermos, tratándose de determinar lo más exactamente posible sus indicaciones, contraindicaciones y mecanismos de acción (Yupanqui, 2006).

En el caso de México, es bien conocida la utilización del agua como agente medicinal, pues en la época prehispánica se desarrollaron varios conocimientos empíricos que fueron transmitidos a las generaciones siguientes. Así mismo, se consideraba al agua como un símbolo de adoración y respeto, pues era un elemento sagrado que permitía purificar el cuerpo, por ello se le conocía como un medio de relajación.

Desde la época prehispánica se han empleado las aguas mineromedicinales. Romero (1988) hace mención que principalmente sobresale el empleo del Temascalli y los Nealtiliztli.

El empleo del Temascal, del Nahuatl “Temascalli” que significa casa del baño de vapor, es considerado uno de los complejos culturales del Altiplano (Figura 1.5). Consiste en una cámara cerrada donde se produce vapor echando agua sobre piedras candentes. En la época prehispánica, este baño tenía carácter ritual y se dedicaba a la diosa de los temazcales; “Temazcalticili”, que significa curandera mediante los baños. Este medio se sigue usando en regiones de procedencia étnica Nahuatl con fines de curación de enfermedades.



**Figura 1.4** El temazcal prehispánico.

Por otro lado, los Nealtiliztli eran baños de los antiguos mexicanos, los cuales tenían tres fines; el aseo del cuerpo, la higiene y la curación de algunas enfermedades. Los antiguos mexicanos los usaban con frecuencia en muy diferentes formas: fríos o calientes. Los tomaban en estanques naturales, en ríos, en lagos, canales y albercas, y termales en manantiales.

Los colonizadores españoles no eran afectos al baño como hábito frecuente, y fue precisamente la influencia de la cultura indígena la que hizo que entre los mestizos se generara el baño, haciéndose uso principalmente de los manantiales debido a sus atributos, ya fuesen curativos o religiosos, lo cual ha prevalecido por lo largo de los años hasta nuestros días, estableciéndose como una tradición dentro de la cultura Mexicana, pues se han desarrollado complejos turísticos dedicados a las aguas termales, los cuales son muy importantes en todo el país debido a su impacto social, económico, ecológico y cultural (Romero, 1988).

## CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

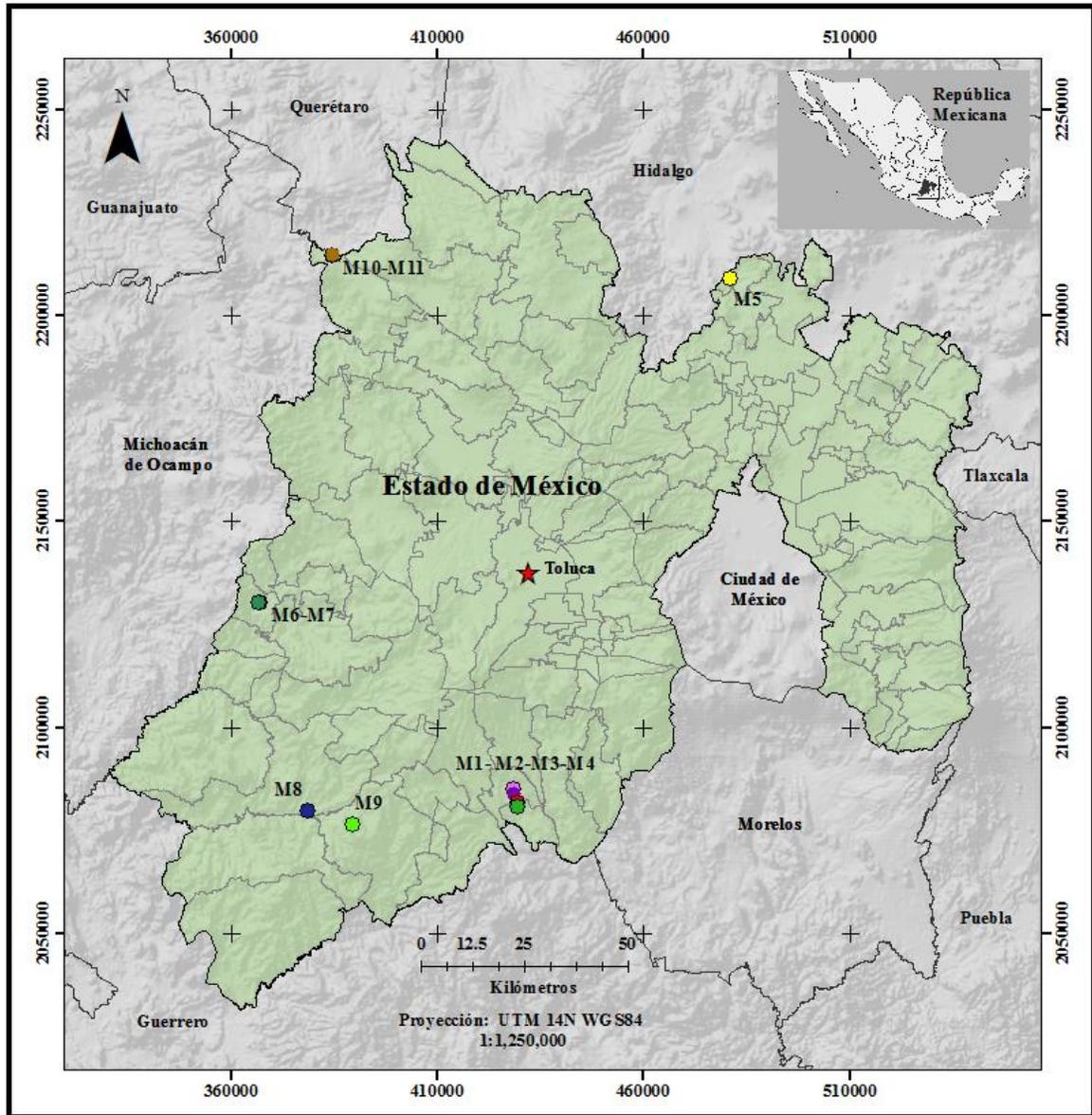
### 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los manantiales termales en estudio se encuentran ubicados en diferentes municipios del Estado de México (Tabla 2.1 y Figura 2.1), el cual se sitúa en la parte central de la República Mexicana, entre los paralelos 18°25' y 20°17' de latitud Norte y en los meridianos 98°33' y 100°35' de longitud Oeste. Comprende una superficie de 22,500 km<sup>2</sup>.

Limita con los estados de Querétaro e Hidalgo al norte, Tlaxcala y Puebla al oriente, Michoacán al poniente, Morelos y Guerrero al sur (Servicio Geológico Mexicano, 2014). Representa el 1.1% del territorio nacional, que lo ubica en el lugar 25 del país y se conforma por 125 municipios como lo indica el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013).

**Tabla 2.1** Ubicación geográfica de los manantiales termales en el Estado de México.

Nombre del Manantial Termal	Localidad-Municipio	UTM 14N		msnm
		X	Y	
M1.- Municipal de Ixtapan	Ixtapan de la Sal	428810	2083619	1873
M2.- Municipal Tonicato	Tonicato	429635	2080538	1720
M3.- Ixtamil	Ixtapan de la Sal	429407	2081795	1772
M4.- Laguna verde	San Gaspar, Ixtapan de la Sal	428706	2085096	1945
M5.- Los Bañitos Apaxco	Apaxco de Ocampo	481124	2208968	2171
M6.- Ixtapan del Oro Alberca	Ixtapan del Oro	366802	2130385	1672
M7.- Ixtapan del Oro Palapa	Ixtapan del Oro	366640	2130307	1677
M8.- Ixtapan San Miguel	San Miguel Ixtapan, Tejupilco	378413	2079623	983
M9.- Sultepec	Sultepequito, Sultepec	389605	2076283	1602
M10.- El Borbollón río	San Miguel Ixtapa, Temascalcingo	384668	2214819	2366
M11.- El Borbollón alberca	San Miguel Ixtapa, Temascalcingo	384728	2214726	2368



**LEYENDA**

- Limite Estatal
  - Municipios Edo. México
  - ★ Capital Estatal
- Mamantiales Termales**
- M1-Balneario M. Ixtapan de la Sal
  - M2-Balneario Municipal Tonicaco
  - M3-Ixtamil
  - M4-Laguna Verde
  - M5-Los Bañitos Apaxco
  - M6-Ixtapan del Oro alberca
  - M7-Ixtapan del Oro palapa
  - M8-San Miguel Ixtapan
  - M9-Sultepec
  - M10-E1 Borbollón río
  - M11-E1 Borbollón alberca

Elaboración propia con base a coordenadas obtenidas en campo mediante GPS.

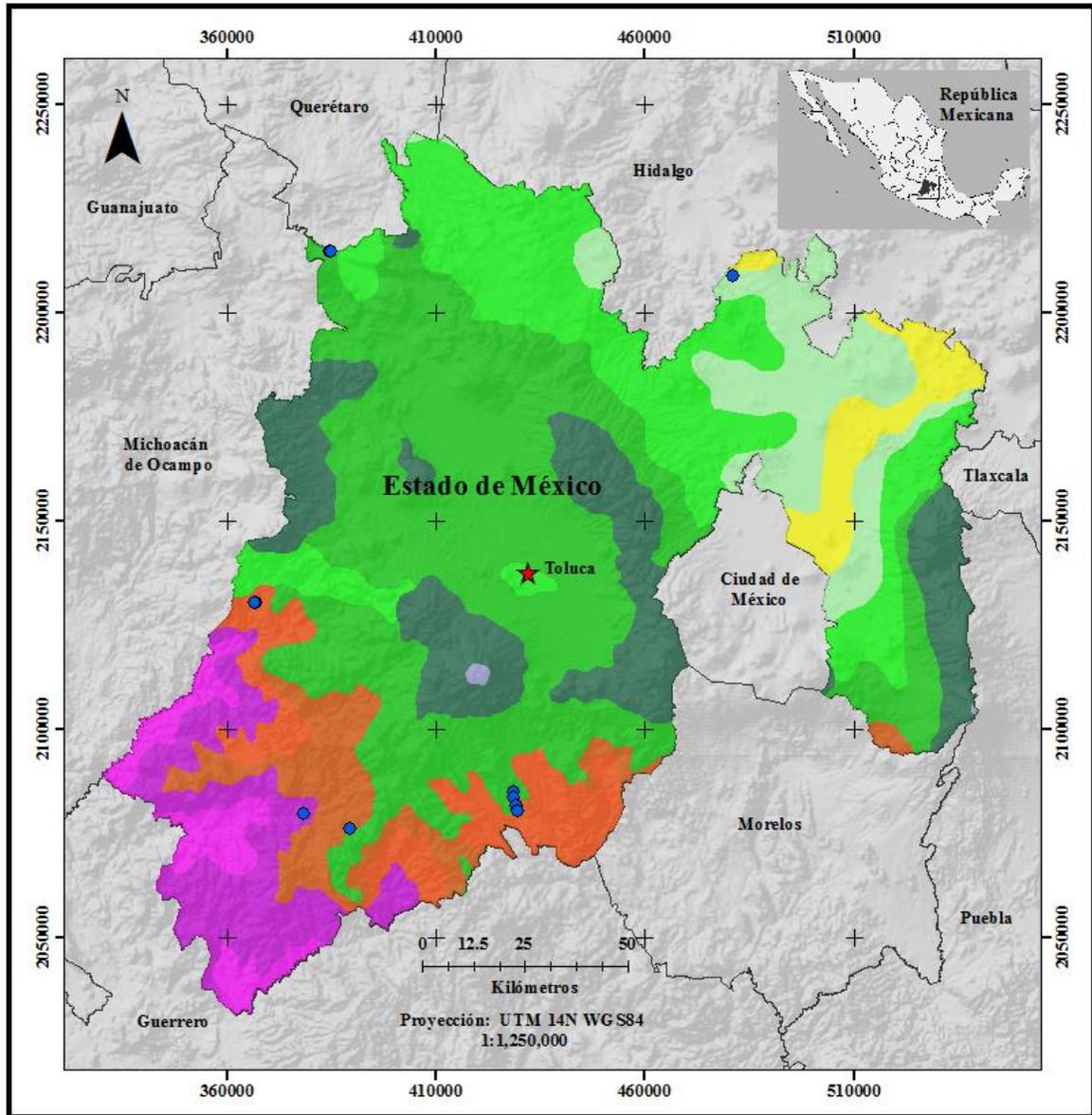
**Figura 2.1** Localización de los manantiales termales en el Estado de México.

## 2.2 CLIMA

Las condiciones climáticas en el Estado de México son muy variadas para cada región de la entidad (Figura 2.2). El clima predominante en la entidad es Templado o Mesotérmico, ya que el 73% del estado presenta clima templado subhúmedo; C(w1) y C(w2), localizado en los valles altos del norte, centro y este, el 21% es cálido subhúmedo; Aw0, Aw1, (A)C(w1) y (A)C(w2), abarcando el suroeste, el 6% seco y semiseco; BS1kw y C(wo), presente en el noreste, y 0.16% pertenece a clima frío; Cb'(w2) y E(T)CHw, localizado en las partes altas de los volcanes de la entidad Mexiquense (INEGI, 2013).

La temperatura media anual es de 14.7 °C. Las temperaturas más bajas se presentan en los meses de enero y febrero con valores en torno a los 3.0 °C y la temperatura máxima promedio se presenta en abril y mayo con un valor alrededor de 25 °C. Las lluvias acontecen durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media anual del estado es de 900 mm.

En la estación meteorológica “Albergue, estación Microondas” ubicada en el Nevado de Toluca se registra una temperatura media anual de 3.9 °C, que es la más baja de todo el país (INEGI, 2013).



**LEYENDA**



**Figura 2.2** Distribución geográfica de los climas en el Estado de México.

## **2.3 OROGRAFÍA**

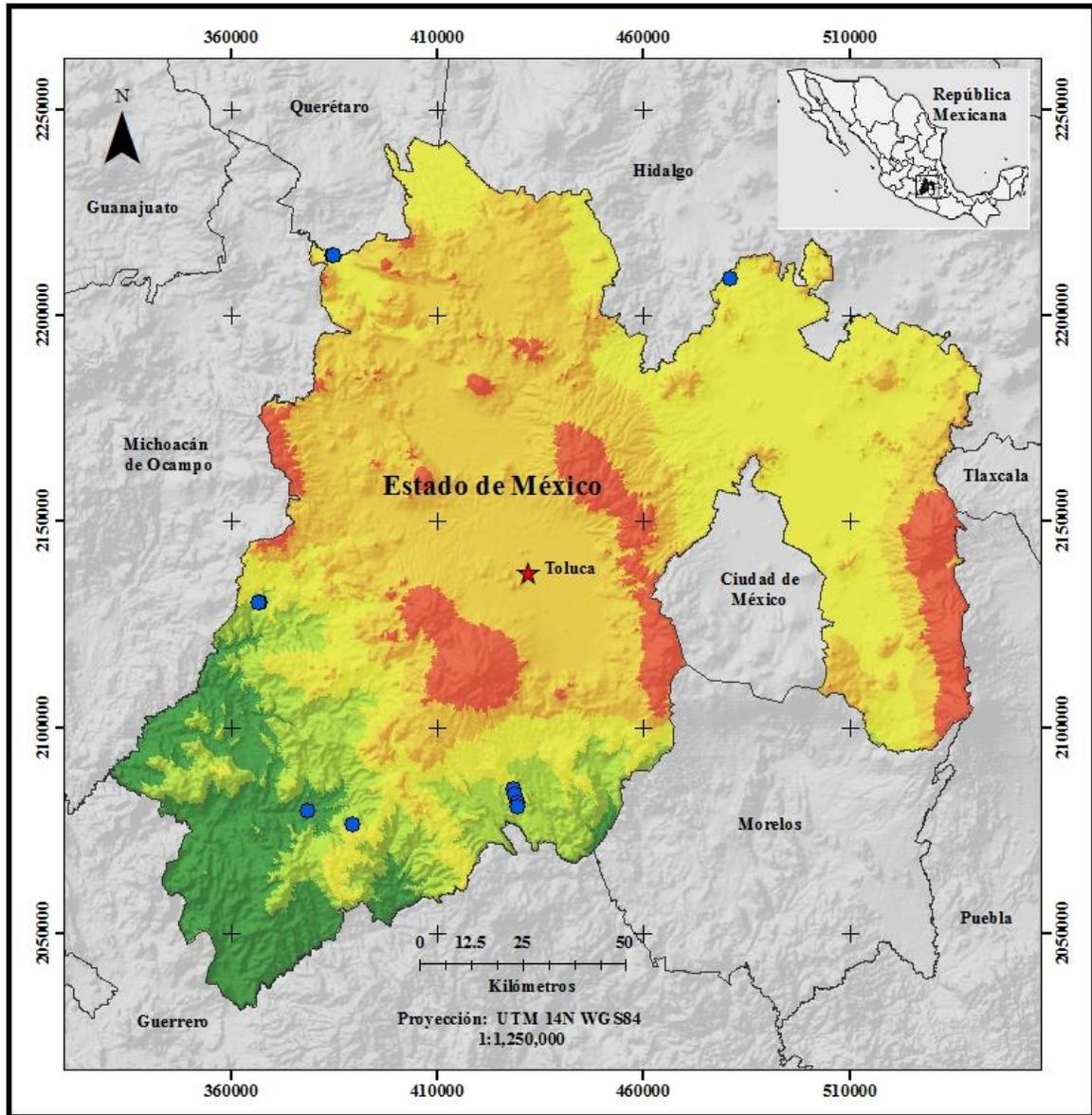
El Estado de México es un territorio eminentemente montañoso con un relieve que presenta una gran variación altimétrica (Figura 2.3), donde se conjugan serranías abruptas con planicies más o menos regulares, que corresponden a valles intraserranos (Miltre et al., 2013).

La orografía del Estado de México está conformada por cuatro macizos montañosos: La Sierra Nevada, representada por el Volcán Popocatepetl e Iztaccíhuatl, cuyas cumbres más altas, rebasan los 5,500 y 5220 metros de altura, respectivamente. En el segundo macizo montañoso destaca el Nevado de Toluca o Xinantécatl, con 4680 m.s.n.m., del cual derivan hacia el norte los cerros de Zinacantepec, la Gavia, San Agustín, y Santiago, al sur la Sierra del Hospital y al occidente la Sierra de Tequesquipan.

La tercera formación se localiza hacia el noreste del estado; está constituida por la Sierra de San Andrés Timilpan y los cerros de Jilotepec, Chapa de Mota, Jocotitlán, Morelos, Acambay y Madó, las Sierras de Monte Alto y Monte Bajo, que se extienden hacia el suroeste de la ciudad de Toluca dando origen a la Sierra de Las Cruces.

Como cuarta formación, en los límites con el Estado de Michoacán, se encuentra ubicada la Sierra Mazahua de El Oro y San Felipe del Progreso, así como una porción del eje transversal en el cual se ubican el Parque Nacional “Isla de las Aves” y el parque Estatal “Nahuatlaca-Matlanzinca”, de igual importancia se consideran las sierra de la Goleta y Nanchititla en donde prácticamente inicia la Sierra Madre del Sur (SPP, 1989).

Por lo que se refiere a las planicies o valles, los más importantes en el territorio mexiquense son; el Valle de México (2,240 msnm), entre la Sierra Nevada y la Sierra de las Cruces, y el Valle de Toluca-Ixtlahuaca (2,500 msnm), al sur-poniente de la Sierra de las Cruces. Hacia la parte norponiente del territorio, de menor superficie, aparece el Valle de Acambay-Temascalcingo (2,300 msnm) que se extiende de Este a Oeste entre Acambay y el Cerro Altamirano (Miltre et al., 2013).



### LEYENDA



Elaboración propia con base a datos raster de INEGI 2016.

Figura 2.3 Modelo Digital de Elevación del Estado de México.

## 2.4 GEOLOGÍA

El Estado de México se ubica dentro de tres grandes provincias geológicas de México; la Faja Volcánica Transmexicana, el Complejo Orogénico Guerrero-Colima y la Plataforma Morelos (Miltre et al., 2013).

Cada una de estas provincias posee características estratigráficas y estructurales propias, las cuales le han conferido relieves, paisajes e hidrografía diferentes (Velázquez et al., 1996) (Figura 2.4).

a) El *Sistema Volcánico Transversal Mexicano o Faja Volcánica Transmexicana (FVT)* se extiende desde el Volcán de Colima hasta el Cofre de Perote y Pico de Orizaba (Yarza, 2003). Este sistema constituye el elemento más característico de la tectónica en México. Esta cadena volcánica de edad Plio-cuaternaria, se extiende sobre más de 1,000 km desde el Océano Pacífico al Atlántico. En el marco de la tectónica global se puede explicar el vulcanismo del eje como resultado de la subducción, desde el Mioceno Tardío, del nuevo sistema de placas Rivera-Cocos debajo de una placa continental deformada y fracturada durante el desplazamiento diferencial entre América del Norte y la Placa Caribeña (Demant, 1982).

Algunos aparatos o edificios volcánicos de la FVT son de rocas de tipo ácido y están contruidos por andesitas y traquitas, principalmente, con escasas corrientes de lava; pero en los flancos norte y sur de la misma, existen numerosos volcanes que han arrojado grandes corrientes basálticas, de tipo básico (Yarza, 2003).

Dentro del Estado de México se localiza un campo de volcanes jóvenes, en la zona de Valle de Bravo, contigua al estratovolcán Xinantécatl o Nevado de Toluca, cuya última erupción ocurrió hace aproximadamente 10,000 años.

Las Sierras de las Cruces y Monte Alto delimitan las cuencas de Toluca y México. La estructura profunda de esta última es semejante a una depresión sinclinal con un relleno de 2000 m de rocas volcánicas terciarias que incluyen incluso el Eoceno, por debajo de las cuales están presentes anhidritas y conglomerados de la misma época y del Paleoceno (Oviedo de León, 1970, en: Lugo-Hupb, 1990). Así mismo estas cuencas están rellenas con material lacustre del Terciario y Cuaternario (Chávez et al., 2006).

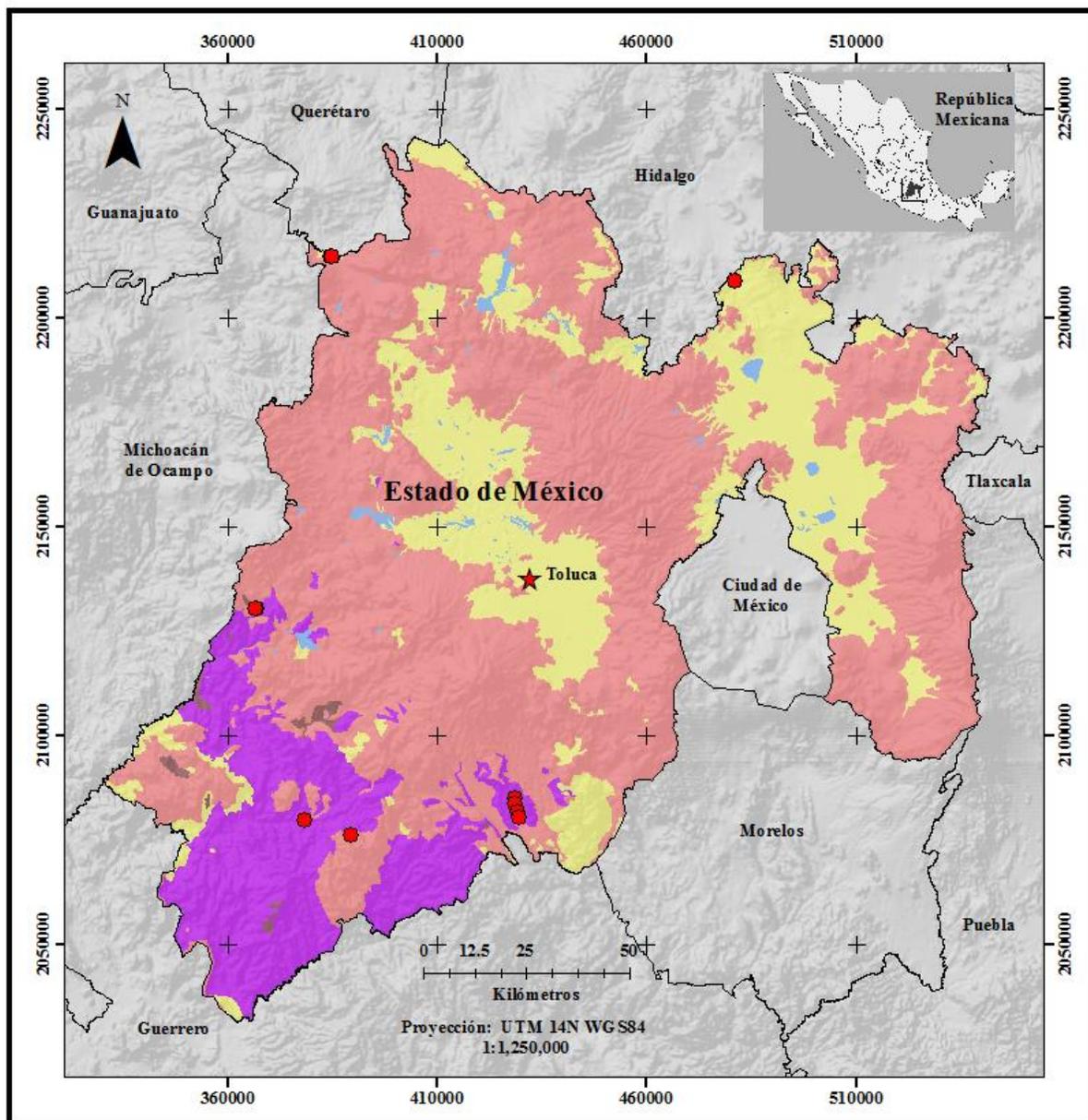
b) La *Plataforma Morelos* se encuentra localizada en la mayor parte del Estado de Morelos y en pequeñas porciones del noroeste del Estado de Guerrero y suroeste del Estado de México. Está formada por estructuras alargadas orientadas norte-sur constituidas por rocas sedimentarias marinas cretácicas, jurásicas y continentales terciarias. Las estructuras plegadas y falladas en esta provincia representan la continuación de la deformación laramídica en el sur de México (Aranda et al., 2010).

En esta plataforma se desarrollaron importantes depósitos marinos mesozoicos, los cuales cubren un rango cronoestratigráfico desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. Esta secuencia descansa sobre un basamento metamórfico precámbrico, representado aparentemente por el Esquisto Taxco (De Cserna et al., 1975, en: Morán, 1984); así mismo, en el área homónima subyace una unidad de andesitas ligeramente metamorfozadas que Fries, (1960) llamo Roca Verde-Taxco Viejo (Morán, 1984).

Las unidades sedimentarias marinas de esta región se encuentran cubiertas discordantemente por depósitos continentales y rocas volcánicas del Eje Neovolcánico así como por algunos remanentes de vulcanismo riolítico oligocénico (Morán, 1984).

c) El *Complejo orogénico Colima-Guerrero* se ubica en los estados de Colima, Guerrero, Michoacán y México. Está formada por una serie volcánica y sedimentaria del Mesozoico, generada en un ambiente tectónico de arco submarino, presentado estructuras falladas (Arandas et al., 2010).

Las provincias Complejo Orogénico Guerrero-Colima y la Plataforma de Morelos, están representadas por formaciones sedimentarias y vulcanosedimentarias mesozoicas marinas, formadas por calizas de plataforma, secuencias calcáreo terrígenas y areno-conglomeráticas (Formación Mezcala, Arcelia, Morelos, Xochipala, Amatepec, Xochicalco y Acuiltapan). Estas dos provincias constituyen la porción suroccidental del territorio mexiquense (Miltre et al., 2013).



**LEYENDA**

- |                        |                     |                   |
|------------------------|---------------------|-------------------|
| ● Manantiales termales | <b>Tipo de Roca</b> |                   |
| ★ Capital Estatal      | ■ Ignea Extrusiva   | ■ Sedimentaria    |
| — Limite Estatal       | ■ Ignea Intrusiva   | ■ Cuerpos de agua |
|                        | ■ Metamórfica       |                   |

Elaboración propia con base a datos vectoriales del IFOMEGEM 2013

**Figura 2.4** Tipos de roca que afloran en el Estado de México.

## **2.5 HIDROLOGÍA**

### *2.5.1 Hidrología superficial*

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ha agrupado a las cuencas hidrográficas del país en cuencas hidrológicas con fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales. El Estado de México se caracteriza por formar parte de las tres regiones hidrológicas más importantes del país (Figura 2.5), tanto por su extensión, como por la concentración de población y actividades económicas que presentan. Dichas regiones son: Lerma-Chapala-Santiago, Balsas y Pánuco (CONAGUA, 2012).

El sistema hidrográfico de la Cuenca Hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, comprende una superficie de 135 835.89 km<sup>2</sup>. Abarca parte de los Estados de México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato, Jalisco, Zacatecas, Durango, Nayarit y Aguascalientes. Como su nombre lo indica, comprende tres subcuencas: la del río Lerma, la del lago Chapala y la del río Santiago.

El nacimiento del río Lerma tiene gran interés para la Ciudad de México, ya que los manantiales que lo originaban fueron captados para complementar el abastecimiento de agua a esta ciudad. En el curso del río se han construido obras para la generación de energía eléctrica. Se dan también otros usos importantes como el industrial, agrícola y el doméstico (Maderey y Jiménez, 2012).

La subcuenca del río Lerma nace en el Estado de México, en el Sistema Volcánico Transversal. Cubre la porción centro-oeste del estado con una superficie de 5548.540 km<sup>2</sup>. Esta subcuenca cuenta con diferentes afluentes en la entidad como el río Almoloya-Otzolotepec, río Otzolotepec-Atlacumulco, río Atlacomulco-Paso de Ovejas, río Tlalpujahuá, río Jaltepec, río Gavia, río Tejalpa, río Verdigué, río Otzolotepec y río Sila.

Igualmente, dentro de esta subcuenca hidrológica del río Lerma existen numerosos embalses de agua, en las que sobresalen los siguientes por su capacidad de almacenamiento; la Presa Tepetitlán, la Presa José Antonio Alzate y la Presa Ignacio Ramírez (SPP, 1981).

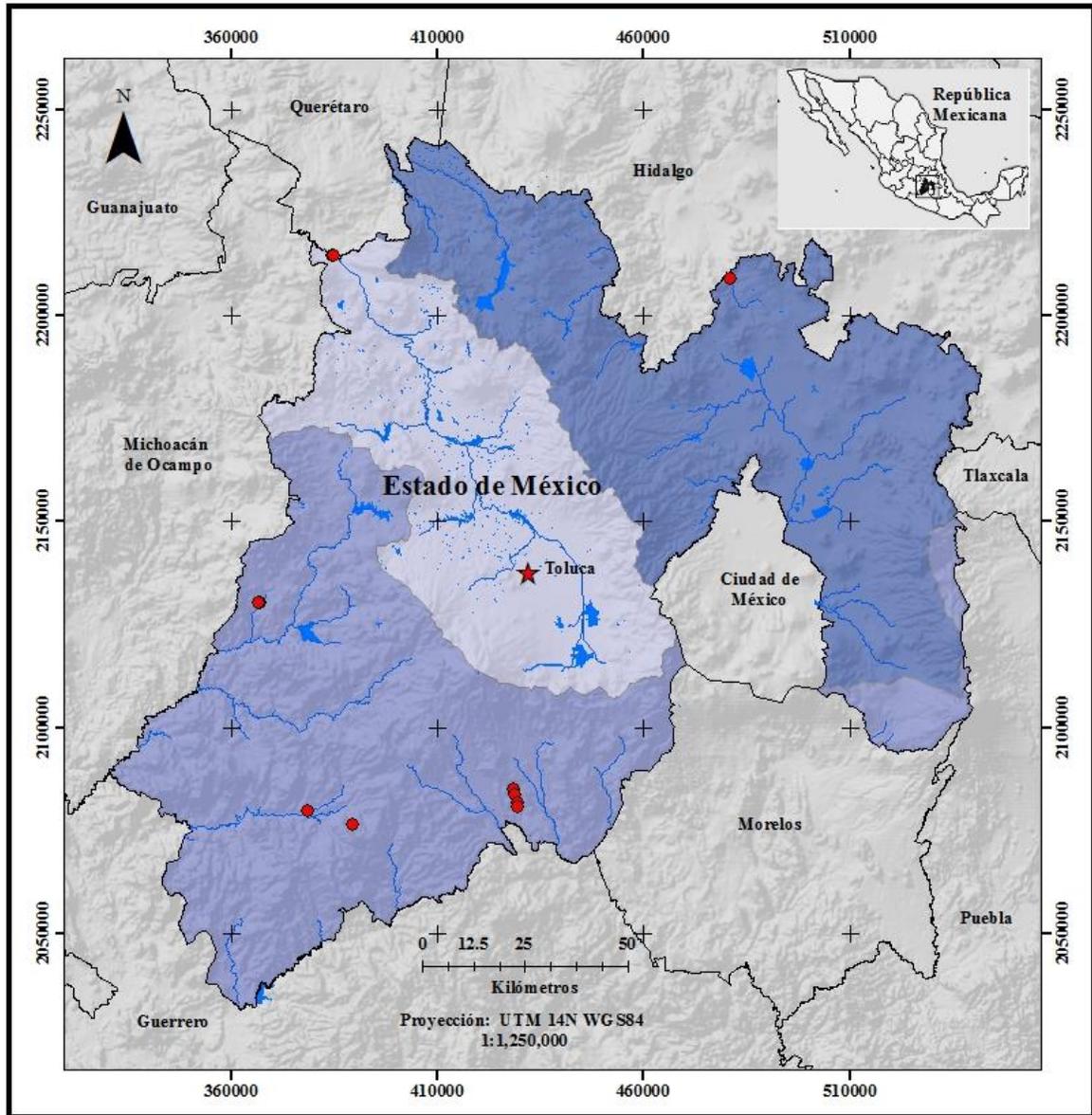
La cuenca del río Balsas tiene una extensión territorial de 117 637.78 km<sup>2</sup> y comprende importantes áreas de los estados de Oaxaca, Puebla, México, Morelos, Michoacán y Guerrero. Nace en el Estado de Puebla con el nombre de río Atoyac, posteriormente recibe el de río Mezcalapa, después el de Balsas y, finalmente, el de Zacatula. Destacan como

afluentes los ríos Mixteco y Tepalcatepec. Esta cuenca abarca grandes superficies de terrenos accidentados, con pronunciadas pendientes, lo cual facilita los aprovechamientos hidroeléctricos como la presa de El Infiernillo (Maderey et al., 2012).

En el Estado de México esta cuenca cuenta con un área de 9761.850 km<sup>2</sup>, en la parte sur de la entidad. Los principales afluentes que originan esta cuenca son el río Atoyac, el río Balsas-Zirandaro, río Amacuzac y el río Cutzamala. En cuanto a almacenamientos en esta cuenca, dentro de la entidad destacan por su importancia y magnitud la presa Valle de Bravo y la presa Villa Victoria (SPP, 1981).

Por otro lado, la cuenca del río Pánuco tiene una superficie de 96 302.28 km<sup>2</sup> y comprende varias entidades: Ciudad de México, Hidalgo, México, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz y Tamaulipas. Se considera que el río Pánuco nace en la cuenca del valle de México, en el Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, cuya salida de la cuenca se realiza a través de la obra artificial el túnel de Tequixquiac y descarga en el río Salado. El río Cuautitlán, que también nace en la cuenca del valle de México, es otro de los formadores del río Pánuco; sale de ella a través de otra obra artificial, el Tajo de Nochistongo, y se une al río Salado para dar origen al río Tula, que, posteriormente, recibe el nombre de río Moctezuma y finalmente el de río Pánuco (Maderey et al., 2012).

Hacia la porción norte, noreste y noroeste del Estado de México la cuenca del río Pánuco abarca un área de 7933.830 km<sup>2</sup> de superficie (SPP, 1981).



### LEYENDA

- |                        |                      |                              |
|------------------------|----------------------|------------------------------|
| ● Manantiales termales | — Limite Edo. México | <b>Regiones Hidrológicas</b> |
| ★ Capital Estatal      | — Rios               | □ No. 12, Lerma-Santiago     |
|                        | ■ Cuerpos de agua    | □ No. 18, Balsas             |
|                        |                      | □ No. 26, Pánuco             |

Elaboración propia con base a datos vectoriales del IFOMEGEM 2013

**Figura 2.5** Regiones hidrológicas principales y cuerpos de agua del Estado de México.

### 2.5.2 Hidrología subterránea

Uno de los factores primordiales que sustentan el desarrollo del Estado de México es el agua subterránea. En efecto, la mayor parte de las zonas urbanas e industriales de la entidad se abastecen mediante pozos profundos (SPP, 1981).

El territorio mexicano cuenta con diversidad de ambientes geológicos (ígneos, metamórficos, sedimentarios, y terrenos cársticos), y variedad de terrenos montañosos, cuyas características hidrogeológicas son fundamentales para el estudio de los acuíferos. Dentro de esta complejidad geológica se han clasificado 11 regiones hidrogeológicas (Figura 2.6) con la finalidad de agrupar regionalmente áreas que se caracterizan por su fisiografía y homogeneidad geológico-estructural (Chávez et al., 2006).

El Estado de México se localiza dentro de la región hidrogeológica conocida como Faja Volcánica Transmexicana, la cual coincide aproximadamente con la provincia fisiográfica del mismo nombre; esta se ubica en el centro del país cubriendo un área de casi 130,000 km<sup>2</sup> y se extiende parcial o totalmente sobre algunos estados de la República (Velázquez et al., 2002).



Figura 2.6 Provincias hidrogeológicas de México (tomada de Chávez et al., 2006).

Consiste en un área de montañas compuesta por una secuencia compleja de rocas volcánicas del Cenozoico, y con fosas profundas rellenas con material lacustre del Terciario y Cuaternario. Los derrames basálticos, y la mayoría de rocas, se caracterizan por una alta permeabilidad debido a su grado de fracturamiento. A profundidad, las rocas consolidadas forman barreras para el flujo subterráneo. Los derrames de rocas no fracturadas intercaladas con relleno aluvial forman acuíferos locales independientes de las rocas adyacentes. En las partes topográficas más bajas, los acuíferos en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales por lo que forman acuíferos de tipo semiconfinado. Estos depósitos lacustres muy porosos y de poca permeabilidad del Plioceno Tardío forman acuitardos de algunos metros de espesor. Los materiales aluviales no consolidados, gravas, arenas y sedimentos finos forman acuíferos someros. Su permeabilidad y transmisividad varía de acuerdo con el tamaño del grano y del espesor (Velázquez y Ordaz, 1989).

Los piroclastos tienen una alta porosidad, aunque su permeabilidad sea baja. En la zona de saturación funcionan como acuitardos, los cuales en escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes. Estos materiales abundan en la base de los volcanes aunque con espesor menor (Velázquez y Ordaz, 1989).

El agua circula preferentemente a través de los estratos más permeables, los cuales presentan menos resistencia al flujo del agua subterránea y tiende a cruzar los estratos menos permeables por la ruta más corta. Los flujos de lava basáltica y los gruesos paquetes de piroclastos que forman el mayor volumen de las rocas volcánicas jóvenes, producen excelentes áreas de recarga y rápidamente transmiten el agua a profundidad, alimentando al acuífero profundo (Velázquez y Ordaz, 1989).

Para fines de administración del agua subterránea, la República Mexicana se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001 (CONAGUA, 2012).

En el Estado de México se identifican 9 acuíferos (Tabla 2.2), los cuales abastecen de agua a la mayoría de los municipios de la Entidad y delegaciones de la Ciudad de México, por lo cual son considerados de importancia nacional (CONAGUA, 2012).

**Tabla 2.2** Acuíferos del Estado de México (CONAGUA, 2012).

Acuífero	Nombre
1501	Valle de Toluca
1502	Ixtlahuaca-Atlacomulco
1503	Polotitlán
1504	Tenancingo
1505	Villa Victoria-Valle de Bravo
1506	Chalco-Amecameca
1507	Texcoco
1508	Cuautitlán-Pachuca
1509	Temascaltepec

Los diferentes manantiales termales distribuidos en la entidad Mexiquense, se localizan en un mismo acuífero pero hay otros que pertenecen a acuíferos de algún estado vecino. Los manantiales de la región Ixtapan-Tonatico están ubicados en el acuífero 1504 “Tenancingo”, el cual se presenta como un acuífero de tipo libre. Igualmente, presenta el mismo comportamiento hidrogeológico el acuífero 1509 “Temascaltepec” donde se localiza el manantial termal de San Miguel Ixtapa ,en el municipio de Tejupilco. En el acuífero 1505 “Villa Victoria - Valle de Bravo” se ubican los manantiales termales de Ixtapan del Oro.

Entre los acuíferos compartidos con otros estados, se identifica el acuífero 1208 “Altamirano-Cutzamala” donde se encuentra el manantial de Sultepec, el acuífero 1601 “Maravatío-Contepec-Epitacio Huerta” donde se localizan varios manantiales termales en el poblado de San Miguel Ixtapan, municipio de Temascalcingo y el acuífero 1310 “Valle del Mezquital” en el cual se localiza el manantial termal de Apaxco.

## CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se elaboró un diagrama de flujo, el cual se detalla en la Figura 3.1, en donde se establecen los diferentes procesos que se requirieron aplicar para el desarrollo y aplicación de la metodología.

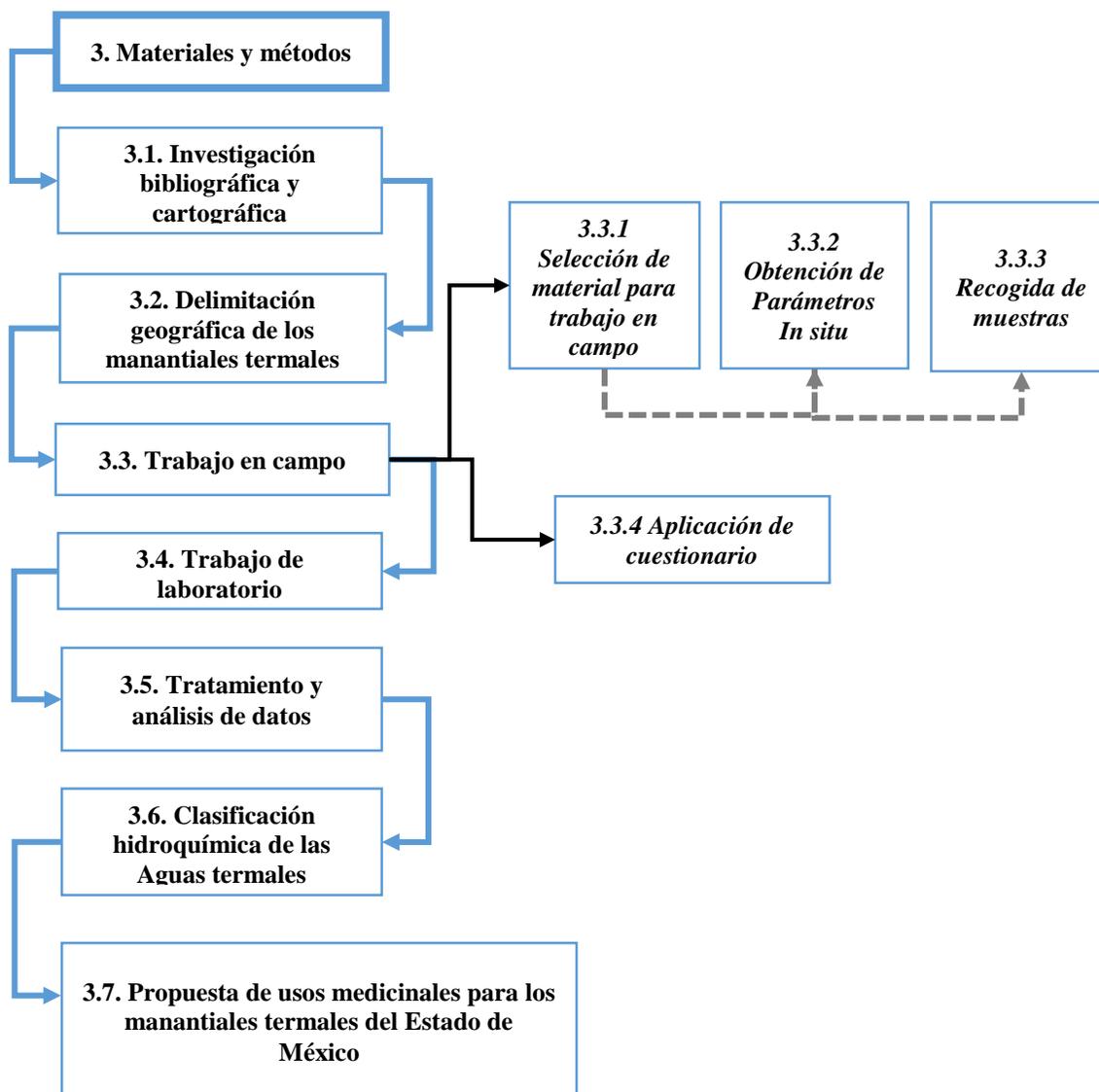


Figura 3.1 Diagrama de flujo para el desarrollo metodológico de la investigación.

### **3.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA**

Se localizó y reviso información de carácter general y específico en relación a la temática sobre el uso de las aguas termales a nivel nacional e internacional. Así mismo, se realizó la búsqueda de información temática de naturaleza cartográfica referente a la geografía, geología, hidrología y climatología de la zona de estudio en las distintas estancias gubernamentales como CONAGUA, INEGI, SGM e IFOMEGEM.

Se consultaron diferentes referencias bibliográficas en bibliotecas de la UAEM y páginas web de internet.

### **3.2 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS MANANTIALES TERMALES**

Posteriormente al estudio bibliográfico y cartográfico, se procedió a la localización de manantiales termales en el Estado de México con la intención de poder identificar las zonas con mayor riqueza de este recurso.

Los manantiales termales se delimitaron a partir de balnearios ya conocidos, muy famosos en la región cuya historia tiene precedentes muy antiguos, también se localizaron mediante el uso de directorios de parques acuáticos existentes en la localidad y con información proporcionada por la población.

Para este estudio se realizó un acercamiento con las autoridades administrativas y concesionarias de los manantiales termales para solicitar los permisos correspondientes para ingresar al lugar y obtener la información *in situ* del agua y la recolección de muestras.

Los manantiales termales estudiados fueron seleccionados con base en la importancia turística-económica que de ellos se desprende.

### **3.3 TRABAJO EN CAMPO**

El trabajo en campo se dividió en dos partes; la primera fue en relación con la obtención de parámetros *In situ*, así como la recogida de muestras de agua para ser analizadas en laboratorio. Para estas actividades se consideró seguir el procedimiento que recomienda la Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002 para el manejo de las muestras del agua.

La segunda etapa consistió en la aplicación de un cuestionario a los usuarios de las aguas termales para conocer su percepción sobre el uso que le da a ese recurso.

El muestreo se realizó en el mes de Julio del año 2015, asistiendo en brigadas a los diferentes municipios del Estado de México donde alumnos y profesores participaron para lograr las metas planeadas (Ver Anexo 1). Igualmente, durante el muestreo se realizaron diferentes actividades complementarias como pláticas y recorridos que permitieron tener un mayor conocimiento empírico y científico de los manantiales termales.

Para anotar los resultados obtenidos y observaciones realizadas durante el muestreo, se elaboró una ficha de campo específica para cada manantial (Figura 3.2), la cual incluía información importante como nombre, localización, fecha, etc., así como los campos correspondientes para anotar cada parámetro *in situ* obtenido.



**FICHA DE LEVANTAMIENTO PARA MANANTIALES.**

Nombre del Observador: \_\_\_\_\_

Localidad: \_\_\_\_\_ Municipio: Temascalcingo Estado: México

Coordenadas: X: 384.668 Y: 2,214.819 Altitud: 2350

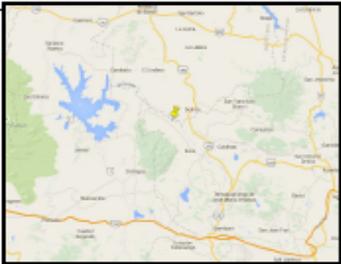
Nombre del manantial: El Borbollón Río

Método empleado: \_\_\_\_\_

Caudal: \_\_\_\_\_

Descripción General: \_\_\_\_\_

Mapa de Localización



---

Parámetros In Situ						Fecha : 30 / 01 /2015	
Tem. Muestra (°C)	Tem. Amb.(°C)	pH (in situ)	CE (mS/cm)	SDT (ppt)	Salinidad (ppt)	Eh	
54.4	21.2	6.5	25.7	12.29	15.17		

Análisis Iones Mayoritarios								Fecha : 30 / 01 /2015	
Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>		
4204.02		<0.23	<5.0	333	479	66.77	2410		

Parámetros In Situ						Fecha : / /	
Tem. Muestra (°C)	Tem. Amb.(°C)	pH (in situ)	CE (mS/cm)	SDT (ppt)	Salinidad (ppt)	Eh	

**Observaciones:**

Tipo de muestra para análisis químico:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**Figura 3.2** Ejemplo de una ficha de levantamiento de datos en campo.

Parte del trabajo en campo consistió en observar y documentar las cualidades y características del paisaje natural y urbano. Misma actividad se realizó para describir el entorno físico, identificando la litología adyacente al manantial.

Finalmente, se realizó la observación de las actividades económicas que se desarrollan en las comunidades donde se encuentran los manantiales, para identificar la importancia que tiene este recurso natural y las oportunidades que se pudieran proponer para un mejor aprovechamiento y valor de éste.

### 3.3.1 Selección de material para trabajo en campo

En la tabla 3.1 se enlista el material que se empleó para la realización de estas actividades.

**Tabla 3.1** Material y equipo para trabajo en campo.

MATERIAL Y EQUIPO	
- Equipo multiparamétrico ORIONSTAR A329	-Termómetro de mercurio
-Electrodo pHmetro (pH y temperatura)	-Vaso de precipitado 50 y 100 mL
-Electrodo Conductivimetro (Salinidad, SDT, Conductividad eléctrica)	-Matraz de aforo (100 y 250 mL)
-Electrodo ORP (Potencial de oxidación-reducción Eh)	-Jeringas (60 mL)
-Reactivos para calibración de los diferentes electrodos	-Filtros con membrana de celulosa (0.45 µm)
-Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) al 0.1%	-Agua destilada
-Fenolftaleína	-Papel para limpieza
-Naranja de Metilo	-Cinta parafina
-Botellas de polietileno (1 L y ½ L)	-Recipiente graduado
-Ácido Nítrico	-Pipetas
-Cubeta y jarra graduada	-Caja de Herramientas
-Cronometro	-GPS y libreta de campo

### 3.3.2 Obtención de parámetros *In situ*

Las mediciones de campo de parámetros *In situ* (Figura 3.3) se realizan debido a que algunos parámetros físicos y químicos pueden sufrir variación durante el intervalo de tiempo que discurre entre la recolección de la muestra y su manejo en el laboratorio. Por ello es necesario medir estas características cambiantes, por lo que en este caso se realizó la medición de temperatura de la muestra así como del ambiente, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), alcalinidad y potencial de oxidación-reducción (Eh).

En la medición de datos de campo (Ver Anexo 1) se utilizó el equipo multiparamétrico ORIONSTAR A329 que de acuerdo a los diferentes electrodos; pHmetro, Conductivímetro y Potencial Redox, proporciono las mediciones de los parámetros antes mencionados.

Para emplear este equipo es necesario realizar previamente las calibraciones correspondientes para cada electrodo, en cuanto al pHmetro se emplearon soluciones tampón de pH a 4, 7 y 10 a 20° C, para el conductivímetro las soluciones estándar de calibración (NaCl) que fueron de 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 12.9  $\text{mS}/\text{cm}$  y, por último, para la calibración del Potencial Redox se empleó una solución ORP calibrada a 25 °C con Eh 420 mV. Estas calibraciones se realizaron de acuerdo a los manuales técnicos de TERMO CIENTIFICO para un buen desarrollo y confiabilidad en las mediciones.

Posteriormente, ya calibrado el equipo multiparamétrico, se efectúa la medición. En los casos de poca accesibilidad al manantial se tomó el agua con un recipiente para realizar las mediciones y se introdujo el electrodo durante algunos segundos hasta que el equipo estabiliza la lectura. Posteriormente se retira el electrodo, y éste es enjuagado, secado y guardado correctamente para su próxima utilización.

La alcalinidad de las aguas se determinó en campo, empleando el método volumétrico conforme a NMX-AA-036-SCFI- 2001, tomando en un matraz 50 ml de agua termal, se le agregan 4 gotas de fenolftaleína a la muestra, hasta notar que se pone de color rosa. Si no cambia de color, posteriormente se agregan 4 gotas del indicador de naranja de metilo y se valora con una solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hasta su cambio de coloración de amarillo a naranja, y con ello poder calcular la alcalinidad en las muestras de agua termal.

### *3.3.3 Recogida de muestras*

La toma de muestras requiere seguir con algunos procedimientos que se encuentran dentro de los protocolos de muestreo de los laboratorios para garantizar la validez de la muestra y para asegurar la representatividad del agua que está siendo estudiada.

Las muestras para análisis químico fueron tomadas en dos frascos de polietileno (1 litro y 250 mL). La muestra del primer recipiente fue empleada para la medición de aniones y la del segundo recipiente para cationes.

Las muestras se colectan en envases previamente lavados, con tapa y contratapa hacia fuera para evitar la presencia de burbujas de aire. Las botellas se lavan en laboratorio con una solución débil de ácido clorhídrico y se enjuagan con agua destilada.

Para el llenado de la botella de 1 litro se enjuaga dos veces con el agua del manantial, posteriormente se llenó hasta su límite sin permitir la formación de burbujas para finalmente quedar sellada y etiquetada para su almacenamiento. Para la muestra de 250 mL se tomó un volumen de agua para someterla al proceso de filtración mediante un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  colocado en la punta de una jeringa de 60 ml. Una vez filtrada, se agregan de 4 a 6 gotas de ácido nítrico a la muestra para estabilizarla a un pH de 2, y finalmente se tapa sin dejar burbujas y se etiqueta. Ambas muestras fueron resguardadas en una hielera para mantenerlas en refrigeración hasta la entrega en laboratorio.

### *3.3.4 Aplicación de cuestionario*

Se realizó una segunda etapa de trabajo en campo que consistió en la aplicación de un cuestionario que sirvió para conocer de manera general la percepción de la población usuaria y del personal laboral del parque termal, sobre el uso y aplicación terapéutica o médica de las aguas termales.

Para esta actividad se decidió visitar los sitios más representativos de los manantiales estudiados, considerando la afluencia turística, así como el tipo de agua y también por cuestiones de accesibilidad, teniendo esto en cuenta se trazó una ruta crítica para aplicar dicho cuestionario en los diferentes balnearios de los municipios de Ixtapan de la Sal-Tonatico, Apaxco y Temascalcingo.

El cuestionario se aplicó los días 17, 18 y 19 de septiembre del 2016 en las inmediaciones de los diferentes balnearios, teniendo un acercamiento con los usuarios y personal técnico. Se contó con tres estructuras de preguntas diferentes (Figura 3.3), que fueron dirigidas a usuarios, personal técnico y administrador del parque termal.



**“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS TERMALES EN EL ESTADO DE MÉXICO: IMPLICACIONES PARA SUS USOS”**  
Alejandro Cruz González



**Cuestionario para visitantes al parque acuático y usuarios de las aguas termales.**

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Edad:** \_\_\_\_\_

**Localidad:** \_\_\_\_\_ **Municipio:** \_\_\_\_\_

1. ¿Cuál es el motivo por el cual usted visita este parque?

2. ¿Conoce usted los beneficios que estas aguas poseen para la salud?

Si: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

2.1 ¿Cuáles son los beneficios?

3 ¿Usted utiliza el agua termal con alguna finalidad médica o terapéutica?

Si: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

3.1 ¿Cuál finalidad medica?

4. ¿Cómo lleva a cabo su tratamiento médico y cuál es el tiempo de duración?

5. ¿Con que frecuencia visita este parque acuático y desde hace cuánto tiempo utiliza el agua termal?

6. ¿Conoce algún otro caso sobre el uso del agua termal con fines médicos o terapéuticos?

Si: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

6.1 ¿Cuáles casos y donde se han presentado?

7. ¿Usted sabe que enfermedades o malestares pueden aliviar estas aguas termales?

Si: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

7.1 ¿Cuáles enfermedades?

8. ¿Conoce los efectos adversos o secundarios que puede causar el uso de las aguas termales durante el tratamiento de alguna enfermedad?

Si: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

**Figura 3.3** Formato de cuestionario para usuarios.

### 3.4 TRABAJO DE LABORATORIO

Las muestras de agua termal se enviaron a dos laboratorios especializados en el análisis químico; en uno se realizó el análisis de aniones, mientras que en el otro se llevó a cabo el análisis de cationes, elementos minoritarios y traza.

#### 3.4.1 Determinación de aniones

Esta etapa del análisis se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), perteneciente a la UAEM. Se determinaron los elementos  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{F}^-$ . Los análisis se llevaron a cabo de acuerdo a los procedimientos establecidos por normas mexicanas (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2** Normas oficiales para la obtención de elementos mayoritarios.

NORMA OFICIAL MEXICANA	IÓN ANALIZADO
NMX-AA-079-SCFI-2001; Método de HACH. Se empleó un Espectrofotómetro	Nitratos
NMX-AA-073-SCFI-2001; Método Morh. Este se basa en una valoración con nitrato de plata.	Cloruros
NMX-AA-084-1982; Método por gravimetría	Sulfatos
Electrodo de ion selectivo	Flúor

#### 3.4.2 Determinación de cationes

Las muestras de 250 ml se enviaron al Laboratorio de Geoquímica del Centro de Geociencias de la UNAM, Campus Juriquilla, Qro. Se obtuvieron 28 elementos químicos mediante Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado por Inducción (ICP-OES), siendo estos los siguientes: Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, V y Zn.

### 3.5 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez que se dispuso de la información correspondiente a parámetros in situ y elementos químicos se generó una base de datos cuyo fin fue homologar y ordenar todos los datos correspondientes a cada manantial termal.

Esta base de datos se realizó mediante el Software Microsoft Office Excel, poniendo en primer orden el nombre y localización de cada manantial termal, seguido de los parámetros

in situ, posteriormente se presentó los aniones, cationes, elementos minoritarios y traza. Esta base de datos permitió una fácil visualización de la información. A cada manantial termal se le asignó una clave de identificación (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3** Asignación de clave de identificación a cada manantial termal.

<b>NOMBRE DEL MANANTIAL TERMAL</b>	<b>CLAVE ID</b>
Municipal de Ixtapan	M1
Municipal Tonicico	M2
Ixtamil	M3
Laguna verde	M4
Los Bañitos Apaxco	M5
Ixtapan del Oro Alberca	M6
Ixtapan del Oro Palapa	M7
Ixtapan San Miguel	M8
Sultepec	M9
El Borbollón río	M10
El Borbollón alberca	M11

### **3.6 CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS TERMALES**

Con la finalidad de saber qué tipo de agua es la que se tiene presente en cada manantial termal se realizó una clasificación hidroquímica, la cual fue posible con ayuda de diferentes diagramas de representación hidroquímica como son Piper y Schöeller-Berkalof, que se realizaron mediante el software libre DIAGRAMMES del Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, Francia, y el software AquaChem versión 3.70.

### **3.7 PROPUESTA DE USOS MEDICINALES Y TERAPÉUTICOS**

Con ayuda de la diferente literatura consultada sobre balneología e hidrología médica, se han identificado los usos mineromedicinales de acuerdo a los diferentes tipos de agua existentes en la zona de estudio, considerando como base su composición físico-química.

Mediante la clasificación hidroquímica de las aguas termales se pudo establecer diferentes usos terapéuticos de acuerdo a sus propiedades mineromedicinales, considerando fundamentalmente lo que propone Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008). De igual manera, se llevó a cabo la revisión de los trabajos de Rosborg (2015) y BANA (2014), para considerar las propiedades mineromedicinales de los elementos traza presentes en el agua.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante el trabajo y actividades realizadas en campo, así como el procesamiento de las muestras en los diferentes laboratorios químicos, son presentados en las siguientes tablas y gráficos para su mejor lectura y comprensión.

### 4.1 PARÁMETROS MEDIDOS *IN SITU*

En la Tabla 4.1 se muestran los valores obtenidos para los diferentes parámetros fisicoquímicos medidos al momento de coleccionar las muestras de agua en los distintos manantiales termales del Estado de México.

**Tabla 4.1** Valores de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ*.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
<b>T. agua</b> (°C)	37.2	37.1	36.1	29.2	35.0	31.4	31.7	29.9	34.0	56.0	35.0
<b>T. amb.</b> (°C)	24.7	25.5	20.6	23.0	20.0	24.5	22.5	30.0	24.0	21.0	19.0
<b>pH</b>	6.1	6.3	6.2	6.5	6.1	6.4	6.4	5.8	7.8	6.5	6.4
<b>C.E.</b> (mS/cm)	13.2	10.3	10.2	12.5	3.6	9.1	9.7	27.06	0.02	15.5	15.5
<b>SDT</b> (ppm)	6510	5080	5040	6200	1780	4480	4780	7000	92.4	7620	7590
<b>Salinidad</b> (ppm)	7723	5916	5875	7297	1958	5171	5545	8340	142	9690	9110
<b>Eh(mV)</b>	283.2	295.6	628.3	485.5	645.8	422.0	336.8	347.2	419.7	178.8	615.3

*T. agua (Temperatura muestra de agua):* El valor más alto se encontró en el manantial termal M10 (Borollón río) con 56°C y la más baja en el M4 (Laguna verde) con 29.2°C. En el resto de manantiales, este parámetro oscilo en un intervalo de 30-37 °C.

*T. amb (Temperatura ambiente):* Este parámetro presenta valores muy distintos ya que corresponden a diferentes lugares del área de estudio, el valor más bajo se localiza en Apaxco (M5) con 20°C, mientras que el más alto se presentó en Tejupilco (M8) con 30°C.

*pH (Potencial de Hidrógeno)*: el valor más alto de este parámetro se encontró en el M9 (Sultepec) con 7.8 mientras que el de menor valor se ubicó en el manantial M8 (Ixtapan San Miguel) con 5.8. En los demás manantiales se encontró un pH promedio de 6.

*C.E (Conductividad Eléctrica)*: este parámetro presento el valor más bajo en el manantial termal M9 (Sultepec) con 0.02 mS/cm y el más alto en el M8 (Ixtapan San Miguel) con 27.0 mS/cm. En el resto de los manantiales este parámetro se presenta en un rango de 9-15 mS/cm.

*STD (Solidos Totales Disueltos)*: El manantial termal con valores mayores de STD M10 (Borbollón río) con 7620 ppm, seguido del M11 (Borbollón alberca) con 7590 ppm, mientras que el valor más bajo se presenta en el M9 (Sultepec) con 92.4 ppm. En los demás manantiales se presenta un valor muy variable.

*Salinidad*: Los valores de salinidad más altos se encontraron en los manantiales termales de Temascalcingo (M10 y M11), con 9690 ppm y 9110 ppm, respectivamente, mientras que el manantial de Sultepec (M9) con 142 ppm se presenta con el valor más bajo en todo el muestreo. En los demás manantiales se mostró una diversa variación de este parámetro.

*Eh (Potencial de oxidación-reducción)*: El valor más alto se presentó en el manantial M5 (Apaxco) con 645.8 mV, seguido del manantial M3 (Ixtamil) con 628.3 mV y el manantial M11 (Borbollón alberca) con 615.3 mV, mientras que el valor más bajo se ubicó en el manantial M10 (Borbollón río) con 178.8 mV.

## 4.2 ANIONES

En la Tabla 4.2 se muestran las concentraciones de los aniones expresados en mg/L.

**Tabla 4.2** Concentraciones de aniones analizados.

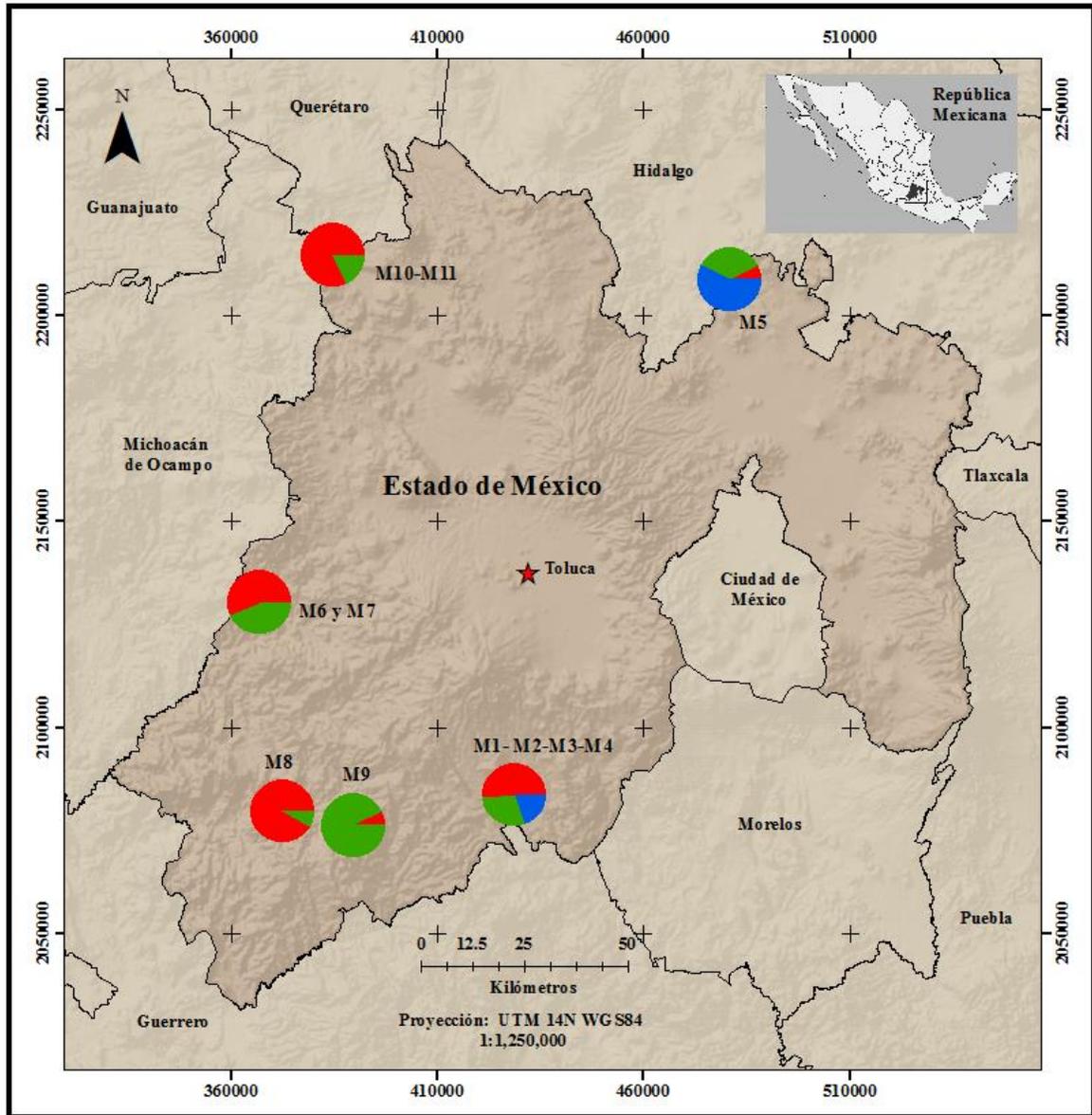
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	1613.8	1536.8	1525.9	1569.6	801.4	2250.3	2634.5	729.0	141.7	1119.5	1119.6
<b>Cl<sup>-</sup></b>	2424.7	2020.6	2586.4	2788.5	137.6	2424.7	2828.9	8210.5	8.64	4095.8	4227.4
<b>F<sup>-</sup></b>	1.6	1.6	1.6	1.6	2.9	0.7	0.8	1.0	0.7	2.7	2.6
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<0.2	2.51	<0.23	<0.23	1.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	952.7	871.0	852.6	897.0	1054.0	<5.0	<5.0	17.42	<5.0	<5.0	<5.0

*Cl* (*Cloruros*): Los valores obtenidos para este elemento son muy similares en la mayoría de los manantiales termales (Figura 4.1). La concentración más alta se encuentra en el manantial M7 (Ixtapan del Oro Palapa) con valores de 8210.57 mg/L y por el contrario en los manantiales de M9 (Sultepec) y M5 se presentan las concentraciones más bajas de 8.64 mg/L y 137.62 mg/L, respectivamente.

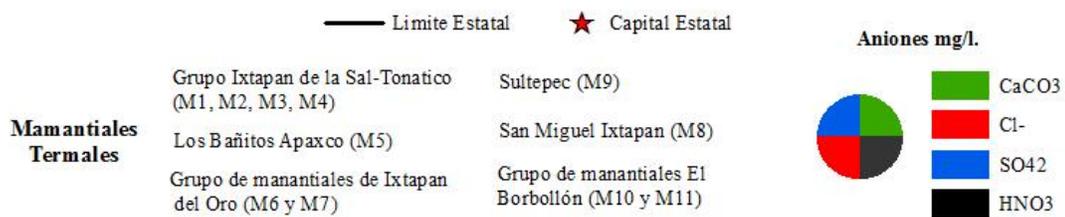
$HCO_3^-$  (*Bicarbonatos*): Los manantiales termales M7 (Ixtapan del Oro Palapa) y M6 (Ixtapan del Oro alberca), presentan los valores más altos con 2250.3 mg/L y 2634.5 mg/L, respectivamente; mientras que los valores más bajos se detectan en el manantial termal M9 (Sultepec), con un valor de 141.7 mg/L (Figura 4.1).

$SO_4^{2-}$  (*Sulfatos*): La mayor concentración de sulfatos se determinó en el manantial termal M5 (Los Bañitos Apaxco), con 1054.07 mg/L, encontrándose en cantidades menores a 5 mg/L en el resto de manantiales (Figura 4.1).

*F* (*Flúor*): Se identificó que la mayor concentración se detecta en el manantial M5 (Los Bañitos Apaxco), siendo ésta de 2.93 mg/L y encontrándose la menor concentración en M6 (Ixtapan del Oro alberca) con 0.76 mg/L (Figura 4.1).



### LEYENDA



Elaboración propia con base a resultados químicos de laboratorio.

**Figura 4.1** Concentración de aniones (mg/L) en las aguas termales.

### 4.3 CATIONES

En la Tabla 4.3 se muestran las concentraciones de los cationes mayoritarios en mg/L.

**Tabla 4.3** Concentraciones de cationes mayoritarios analizados.

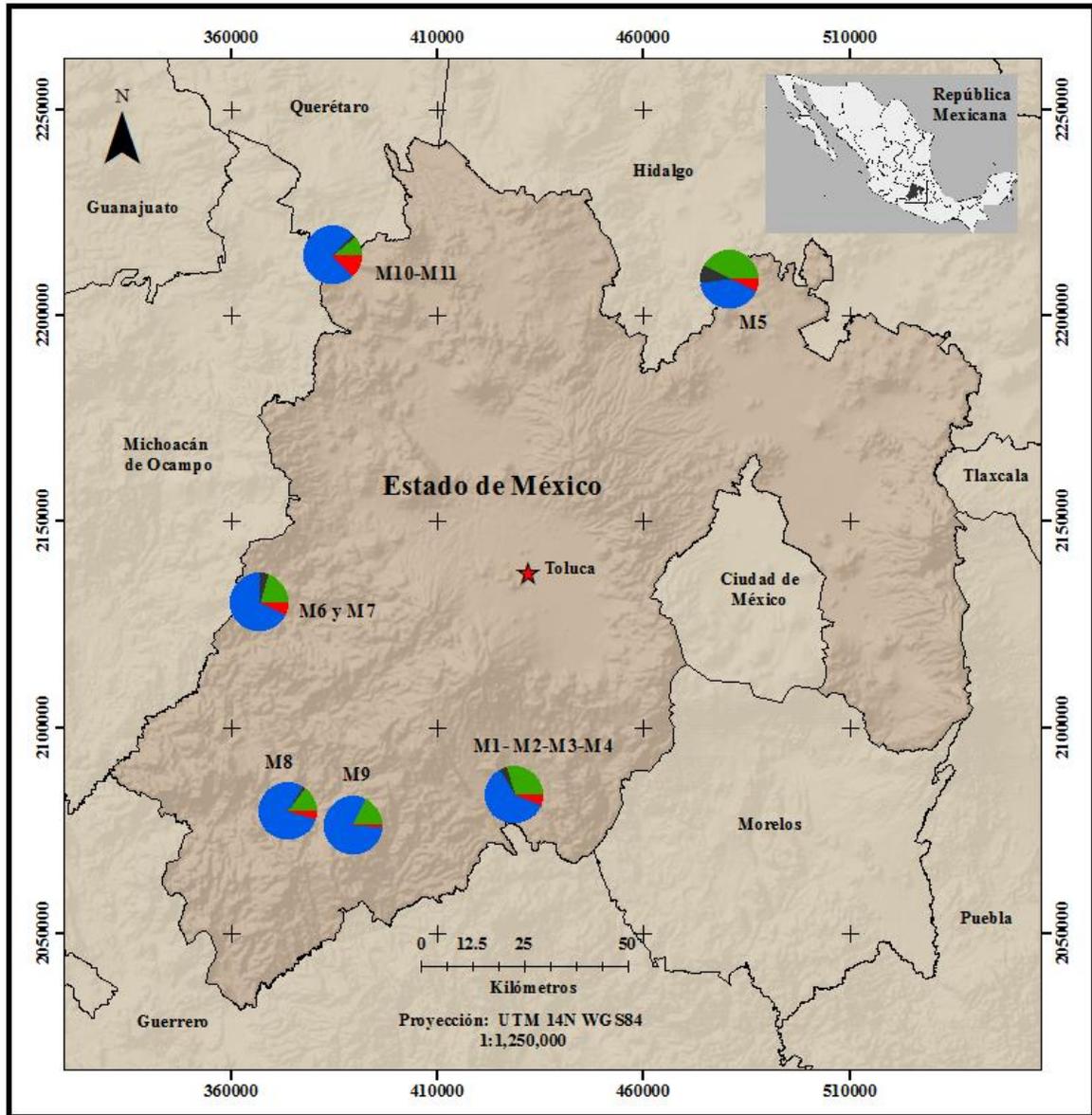
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	659.5	635.0	598.0	625.5	305.4	367.7	400.6	824.0	6.7	300.8	295.1
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	84.5	80.1	81.3	78.2	72.9	88.5	90.6	69.2	0.03	55.6	58.0
<b>Na<sup>+</sup></b>	1354.0	1286.5	1216.0	1287.5	297.1	1242.0	1301.5	4348.5	29.4	2087.0	2073.0
<b>K<sup>+</sup></b>	129.9	124.3	118.4	124.0	50.2	122.5	129.7	237.0	0.5	354.8	347.6

*Ca<sup>2+</sup> (Calcio):* El análisis de este elemento para las diferentes aguas termales (Figura 4.2), permitió identificar que la mayor concentración se detecta en el manantial M8 (Ixtapan San Miguel), siendo ésta de 824 mg/L y la menor concentración en M9 (Sultepec) con 6.7 mg/L.

*Mg<sup>2+</sup> (Magnesio):* Los valores obtenidos para este elemento en la mayoría de los manantiales termales oscilan entre 55 y 90 mg/L, El manantial termal M9 (Sultepec) presenta una mínima concentración de 0.033 mg/L mientras que el manantial M7 (Ixtapan del Oro Palapa) presenta la máxima concentración correspondiente a 90.59 mg/L (Figura 4.2).

*Na<sup>+</sup> (Sodio):* La mayor concentración se cuantifico en el manantial M8 (Ixtapan San Miguel), siendo ésta de 4348.5 mg/L y encontrándose la menor concentración en M9 (Sultepec) con 29.42 mg/L, teniendo una concentración muy semejante a los demás manantiales (Figura 4.2).

*K<sup>+</sup> (Potasio):* Para este catión, la mayor concentración se analizó en los manantiales termales M10 y M11 (El Borbollón río y el Borbollón alberca), con 354.75 mg/L y 347.55 mg/L, respectivamente y la menor concentración en M9 (Sultepec) con 0.49 mg/L (Figura 4.2).



### LEYENDA



Elaboración propia con base a resultados químicos de laboratorio.

**Figura 4.2** Concentración de cationes mayoritarios (mg/L) en las aguas termales.

En la Tabla 4.4 se muestran las concentraciones de los elementos minoritarios y elementos traza en mg/L.

**Tabla 4.4** Concentraciones (mg/L) de los cationes minoritarios y traza analizados (l.c. límite de cuantificación)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	l.c.
<b>Al</b>	0.01	0.02	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.1	0.01	0.01	0.3	0.006
<b>As</b>	1.6	1.7	0.5	0.4	0.3	<l.c.	0.02	0.02	<l.c.	<l.c.	0.02	0.0187
<b>B</b>	22.7	21.7	22.3	21.2	1.8	24.2	25.6	38.5	0.2	91.9	90.0	0.0107
<b>Ba</b>	0.0	0.03	0.03	0.03	0.02	1.2	1.2	1.9	<l.c.	0.7	0.7	0.0017
<b>Cd</b>	0.01	0.01	0.003	0.003	0.002	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0013
<b>Cr</b>	0.01	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.01	<l.c.	0.01	0.01	0.0027
<b>Fe</b>	2.2	2.4	0.1	0.04	0.01	0.1	0.1	5.0	<l.c.	3.0	1.8	0.005
<b>Li</b>	12.7	12.4	12.9	12.9	1.3	8.5	8.6	21.2	0.3	28.2	26.4	0.0143
<b>Mn</b>	0.2	0.2	0.2	0.1	0.02	0.7	0.3	1.1	<l.c.	0.5	0.5	0.0007
<b>S</b>	321.6	295.1	297.8	307.3	333.4	22.2	22.0	6.6	0.9	22.5	22.4	0.0533
<b>Si</b>	13.7	13.8	14.3	13.5	17.9	54.8	56.1	12.6	16.0	33.9	33.7	0.0093
<b>Sr</b>	3.2	3.0	3.1	3.2	4.4	2.5	2.5	0.2	0.05	2.8	2.8	0.0003
<b>V</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	<l.c.	0.2	0.2	0.0017
<b>Zn</b>	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.1	0.1	0.01	0.1	0.02	0.01	0.001

Entre estos elementos minoritarios y traza, hay que destacar los siguientes:

*Arsénico:* Los valores obtenidos para este elemento químico son muy elevados en los manantiales termales M1, M2, M3 y M4 (Ixtapan de la Sal-Tonatico), presentando valores de 1.6 y 1.7 mg/L. En menores cantidades se detecta en el resto de los manantiales (Figura 4.3).

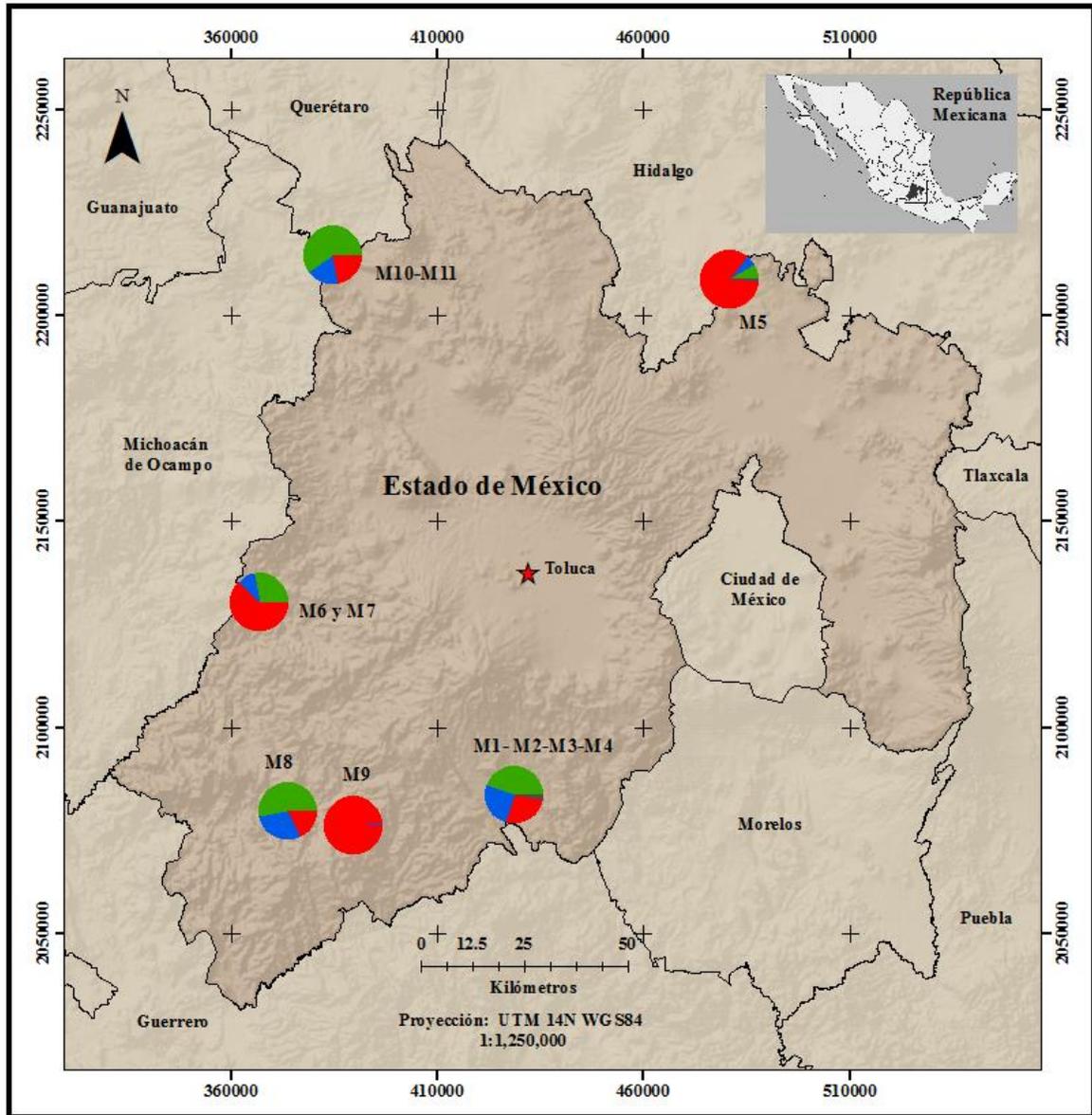
*Boro:* El boro se encuentra presente en la mayoría de los manantiales termales, teniendo este un valor muy alto en los manantiales M10 y M11 (Borbollón río y Borbollón alberca) con un promedio de 90 mg/L. Los demás manantiales presentan concentraciones en torno a 20 mg/L (Figura 4.3)

*Litio:* La mayor concentración se presentó en los manantiales termales M10 y M11 (Borbollón río y Borbollón alberca), con 28.2 mg/L y 26.4 mg/L, respectivamente; y encontrándose la menor concentración en M5 (Los Bañitos Apaxco) con 1.2 mg/L (Figura 4.3).

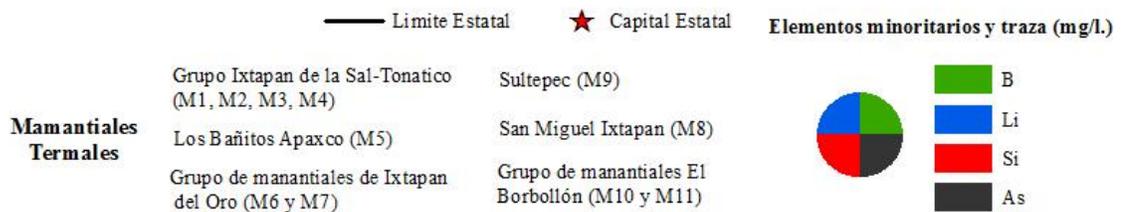
*Hierro:* En el manantial termal M8 (Ixtapan San Miguel) es donde se obtuvo una mayor concentración con 5 mg/L y en segundo lugar el manantial M10 (Borbollón río) con 2.9 mg/L (Figura 4.3).

*Silicio:* Los manantiales ubicados en el municipio de Ixtapan del Oro M7 y M8 son los que presentan mayores concentraciones, con valores de 54 y 56 mg/L. En segundo lugar están los manantiales de Temascalcingo M10 y M11 con 33 mg/L. Para el resto de manantiales, se estimó un promedio de 13 mg/L (Figura 4.3).

*Estroncio:* La mayor concentración se detectó en el manantial M5 (Los Bañitos Apaxco) con 4.3 mg/L y la menor en M9 (Sultepec) con 0.4 mg/L.



### LEYENDA



Elaboración propia con base a resultados químicos de laboratorio.

**Figura 4.3** Concentración de elementos traza (mg/L) en las aguas termales.

#### 4.4 CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA

Una vez obtenidas las concentraciones de aniones y cationes se procedió a realizar la respectiva clasificación hidroquímica de acuerdo a la presencia de iones en las aguas termales.

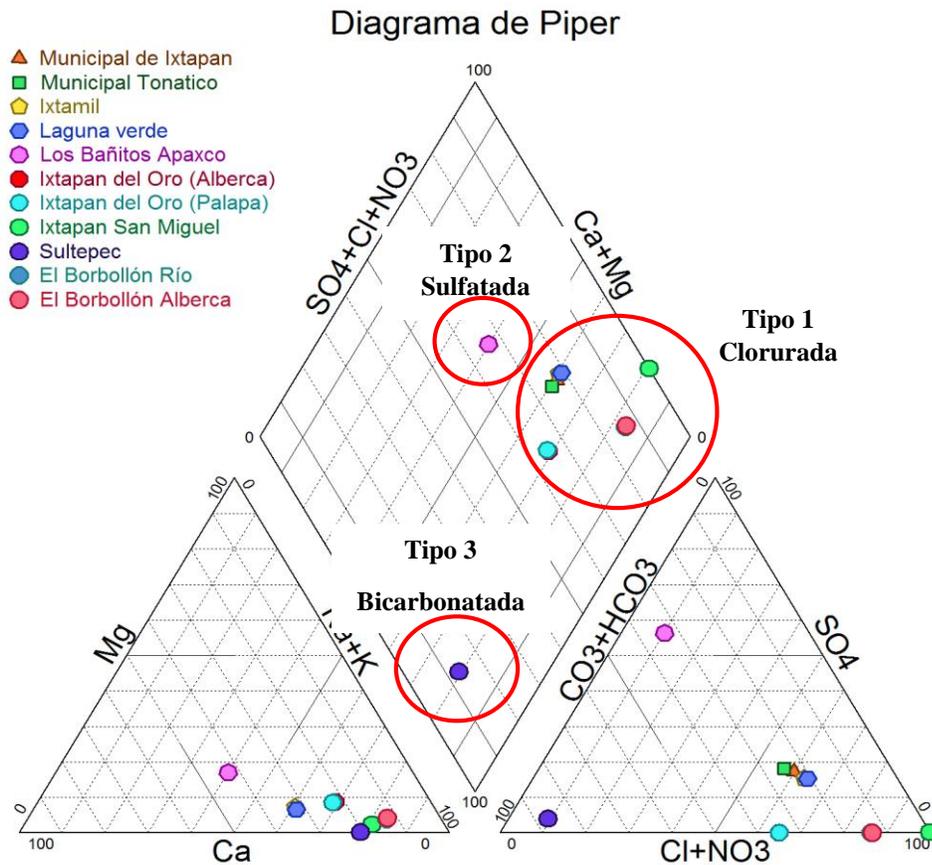
Esta clasificación se realizó con ayuda del software AquaChem y DIAGRAMMES, en el cual se introducen los valores de todos los manantiales correspondientes a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  expresados en mg/L, y a partir de ello se pueden generar gráficos de representación hidroquímica como es el de Piper y Schöeller-Berkaloff.

Con ayuda del diagrama de Piper se puede identificar la presencia de tres tipos diferentes de aguas termales, las cuales son: Clorurada Sódica, Sulfatada Cálctica y Bicarbonatada Sódica (Figura 4.4 y Tabla 4.5):

- El primer tipo de agua con mayor presencia, es Clorurada Sódica (Cl-Na), la cual corresponde a los manantiales termales de los municipios de Ixtapan de la Sal, Tonicato, Ixtapan del Oro, Tejupilco y Temascalcingo.
- El segundo tipo de agua termal que se identificó es la de tipo Sulfatada Cálctica ( $\text{SO}_4$ -Ca), la cual se localiza únicamente en el manantial termal del municipio de Apaxco.
- Y finalmente el tercer tipo de agua termal fue Bicarbonatada Sódica ( $\text{HCO}_3$ -Na), la cual se encuentra en el municipio de Sultepec.

**Tabla 4.5** Tipos de agua en los manantiales termales del Edo. México.

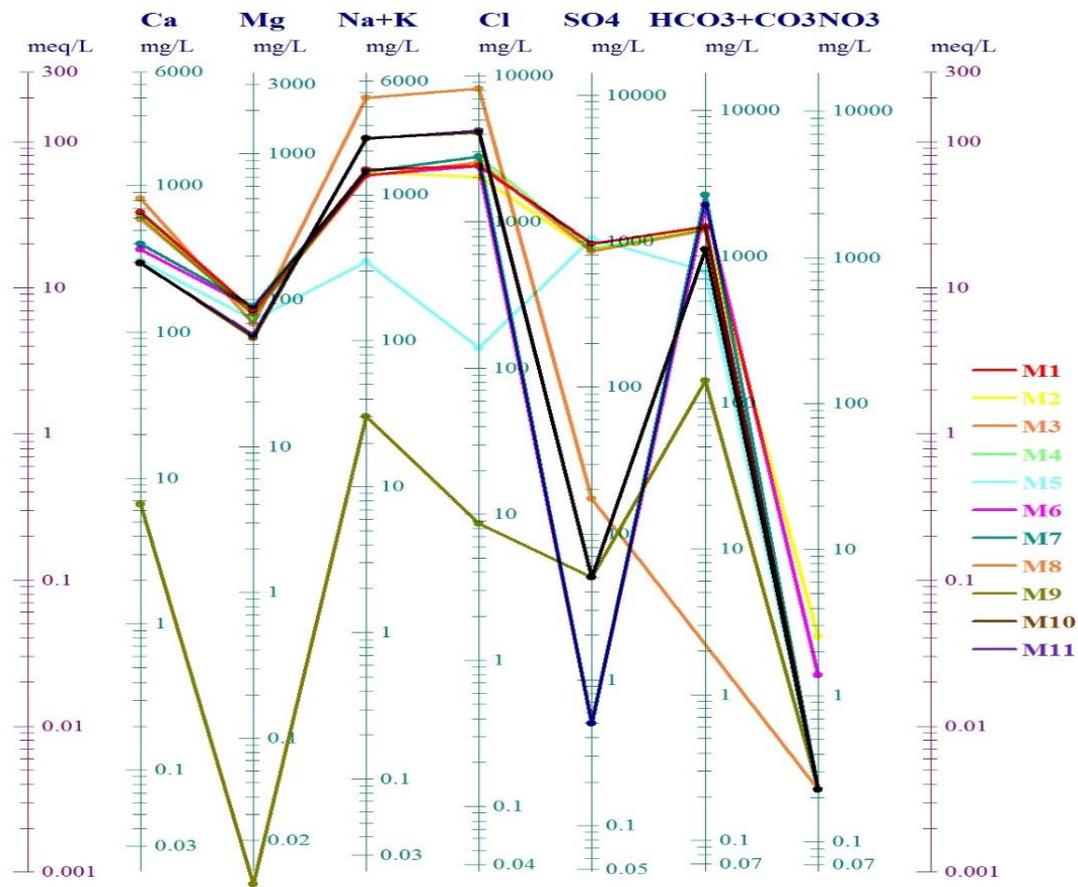
Balneario	Tipo de agua
M1 Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M2-Balneario Municipal de Tonicato	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M3-Ixtamil	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M4-Laguna Verde	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M5-Los Bañitos Apaxco	Sulfatada Cálctica ( $\text{SO}_4$ -Ca)
M6-Ixtapan del Oro alberca	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M7-Ixtapan del Oro palapa	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M8-San Miguel Ixtapan	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M9 Sultepec	Bicarbonatada Sódica ( $\text{HCO}_3$ -Na).
M10-El Borbollón Río	Clorurada Sódica (Cl-Na)
M11-El Borbollón alberca	Clorurada Sódica (Cl-Na)



**Figura 4.4** Tipos de agua termal de acuerdo al diagrama de Piper.

También se realizó un diagrama de Schöeller-Berkaloff para poder observar la distribución y contenido de los aniones y cationes de las diferentes aguas termales. Con este diagrama se observa el comportamiento de cada elemento y se pueden realizar diferencias hidroquímicas entre los diferentes tipos de aguas. Este diagrama se presenta como unidad de medida en meq/L.

Se puede identificar que el grupo M1, M2, M3 y M4 (Ixtapan de la Sal-Tónico) de manantiales termales siguen un patrón similar de distribución, mientras que los demás manantiales generan patrones distintos debido a su diferente composición química, entre ellos resalta el M5 (Los Bañitos Apaxco) y el M9 (Sultepec), como se puede apreciar en la figura 4.5.



**Figura 4.5** Tipos de agua termal de acuerdo al diagrama de Schöeller-Berkaloff.

#### 4.5 OTRAS CLASIFICACIONES

Se consideró clasificar a las aguas termales tomando en consideración; temperatura y aprovechamiento para tener más elementos para proponer su uso mineromedicinal.

En cuanto a la temperatura se obtuvieron 3 tipos de agua, Hipotermiales, Mesotermiales e Hipertermiales como se muestra en la Tabla 4.5, encontrando con mayor presencia la de tipo Mesotermal (35 a 45 °C), por lo que se consideran propias para el uso balneológico ya que por sus características físicas presentan efectos vasodilatadores, analgésicos, sedantes y relajantes.

También se consideró realizar una clasificación de acuerdo al uso y aprovechamiento de las aguas termales en el Estado de México (Tabla 4.6), está se estableció de acuerdo a lo observado y documentado durante el trabajo en campo y a través de las encuestas, está basada

en el uso balneológico, recreativo, ambiental y cultural. Los resultados obtenidos determinan que el mayor uso que se le asigna a las aguas termales es el Balneológico-Recreativo, teniendo así un recurso económico y estratégico para el desarrollo social de las comunidades aledañas a estos, y por otro lado existe un uso ambiental que permite alimentar a diferentes cauces y cuerpos de agua.

**Tabla 4.6** Clasificación con base a temperatura y aprovechamiento.

Nombre	Clasificación	
	Temperatura	Aprovechamiento
<b>M1</b>	Mesotermal (37.2 °C)	Balneológico-Recreativo
<b>M2</b>	Mesotermal (37.1 °C)	Balneológico-Recreativo
<b>M3</b>	Mesotermal (36.1°C)	Balneológico-Recreativo
<b>M4</b>	Hipotermes (29.2°C)	Ambiental
<b>M5</b>	Mesotermal (35 °C)	Balneológico-Recreativo
<b>M6</b>	Mesotermal (31.4 °C)	Balneológico-Recreativo
<b>M7</b>	Mesotermal (31.7 °C)	Balneológico-Recreativo
<b>M8</b>	Hipotermes (29.9 °C)	Cultural-Ambiental-Económico
<b>M9</b>	Mesotermal (34 °C)	Ambiental-Recreativo
<b>M10</b>	Hipertermes 56°C	Balneológico-Recreativo
<b>M11</b>	Mesotermal 35°C	Balneológico-Recreativo

#### 4.6 RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS APLICADAS

Se realizó una encuesta a las tres zonas de estudio seleccionadas; Región Ixtapan-Tonatico, Apaxco y Temascalcingo, con el fin de conocer la percepción entre los usuarios sobre los distintos usos y aplicaciones médicas de las aguas termales (Tabla 4.7).

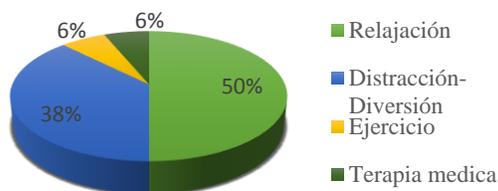
**Tabla 4.7** Número de cuestionarios aplicados en las diferentes zonas de estudio.

Establecimiento termal	Cuestionarios a visitantes	Cuestionarios a trabajadores	Cuestionarios a encargados
<b>Ixtapan de la Sal-Tonatico- (M1,M2,M3 y M4)</b>	16	9	2
<b>Los Bañitos, Apaxco (M5)</b>	17	2	1
<b>El Borbollón, Temascalcingo (M10 y M11)</b>	5	1	1

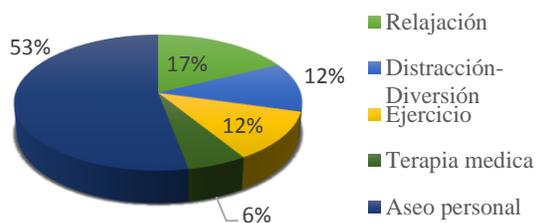
A continuación se presentan las preguntas más importantes del cuestionario aplicado a los usuarios de los establecimientos termales y las respuestas obtenidas (Figura 4.6).

**¿Cuál es el motivo por el cual usted visita este parque termal?**

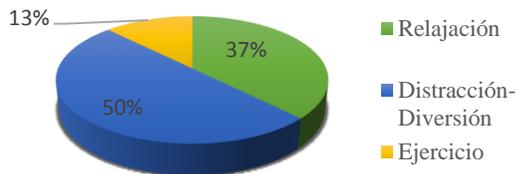
En “**Ixtapan de la Sal-Tonatico**”, los encuestados contestaron que el principal motivo es la relajación (50%), mientras que la distracción-diversión (38%) queda en segundo lugar, así mismo también asisten para realizar actividades como ejercicio y terapia médica (6%).



En “**Los Bañitos**”, Apaxco el principal motivo de visita a este lugar es con fines de aseo personal (53%), seguido de la relajación (17%), también para realizar ejercicio y distracción (12%) y por último es visitado con fines de terapia médica (6%).



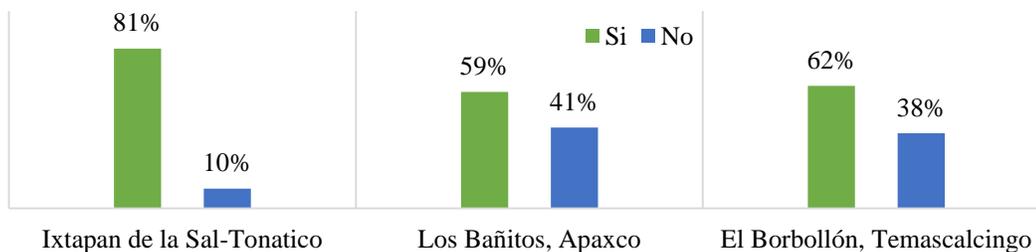
En “**El Borbollón**”, Temascalcingo el principal motivo por el cual visitan este lugar es con la finalidad de distracción-diversión (50%), seguido de la relajación (37%) y finalmente para realizar ejercicio (13%).



**¿Conoce usted los beneficios que estas aguas termales poseen para la salud?**

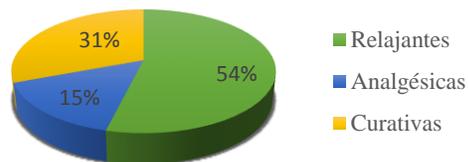
Con diferente porcentaje en cada lugar visitado, la mayoría de las personas tienen conocimiento sobre los beneficios de las aguas termales para la salud.

Los usuarios en su mayoría están de acuerdo en que estas aguas termales son poseedoras de propiedades medicinales, pues por experiencia propia o casos vistos ha comprobado las bondades de este recurso.

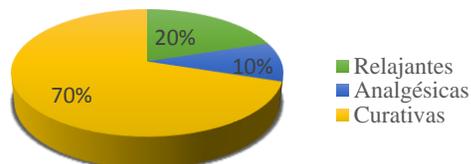


**¿Cuáles son los beneficios para la salud?**

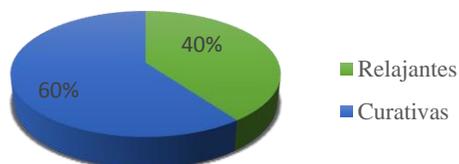
Los encuestados en la región “Ixtapan de la Sal-Tonatico” respondieron que estas aguas son principalmente relajantes (54%), curativas (31%) y analgésicas (15%).



En “Los Bañitos”, la población considera a las aguas termales del balneario pueden ser curativas (70%), relajantes (20%) y analgésicas (10%).

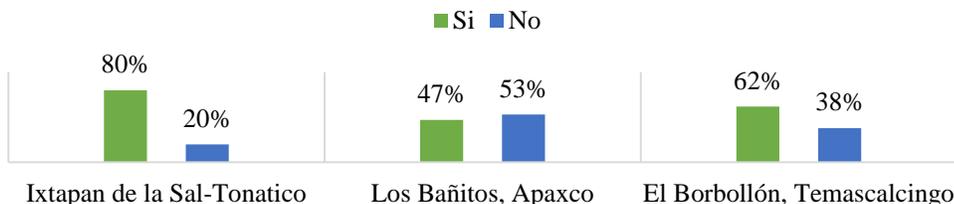


En “El Borbollón” las personas encuestadas señalan que los beneficios para la salud pueden considerarse como aguas curativas (69%) y relajantes (40%).



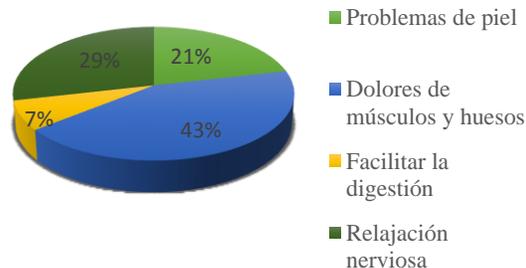
**¿Usted utiliza el agua termal con alguna finalidad médica o terapéutica?**

Los usuarios de los diferentes balnearios acuáticos tienen diferentes puntos de vista sobre el uso médico o terapéutico de las aguas termales, ya que en la región Ixtapan de la Sal-Tonatico y Temascalcingo, la mayoría de la población señala que si utiliza el recurso con ese fin, sin embargo en Apaxco la mayoría de las personas dicen que no emplean el recurso para esta actividad.

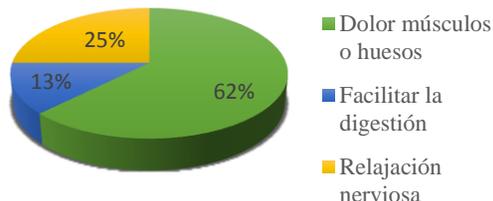


**¿Cuál finalidad médica?**

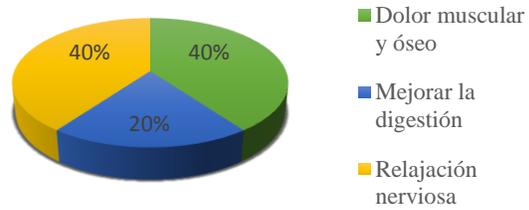
En “Ixtapan de la Sal-Tonatico” se emplea para dolores de músculos y huesos, relajación nerviosa, problemas de la piel y con la finalidad de facilitar la digestión.



Los usuarios de “Los Bañitos” respondieron que la emplean cuando padecen de dolores musculares o de huesos, así como para relajación nerviosa y facilitar o mejorar la digestión.

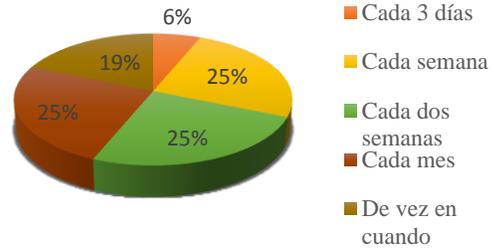


En “**El Borbollón**” los usuarios consideran su uso para la relajación nerviosa y el dolor muscular. También para mejorar el proceso de digestión de alimentos.

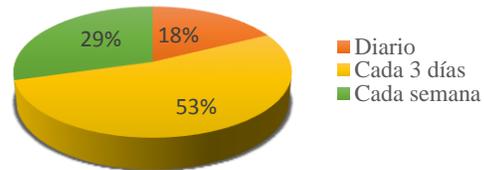


**¿Con que frecuencia visita este parque termal?**

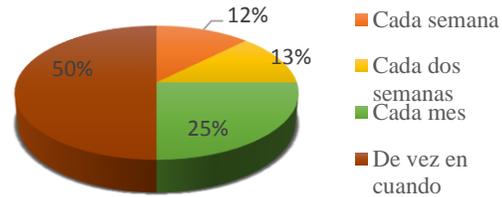
En “**Ixtapan de la Sal-Tonatico**”, la mayoría de los encuestados señalan no ser usuarios muy frecuentes, pues es más común que visiten el lugar una vez al mes o cada dos semanas.



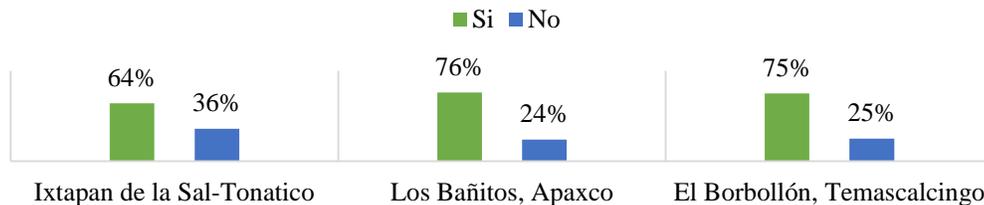
En el balneario de “**Los Bañitos**” la mayoría de los usuarios visitan este parque cada semana y una minoría acude diariamente.



En “**El Borbollón**” la mayoría de los usuarios asisten de manera ocasional, mientras que otros usuarios indican que prefieren ir cada mes, la minoría asiste cada dos semanas y cada semana.

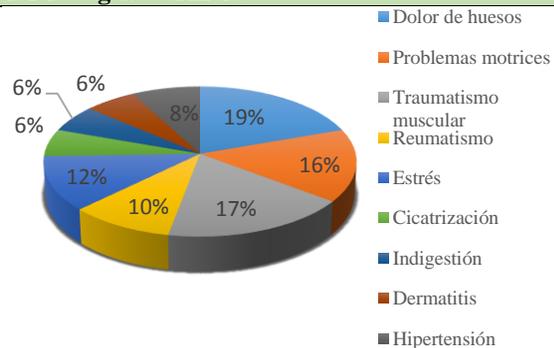


**¿Usted sabe que enfermedades o malestares pueden aliviar estas aguas termales?**

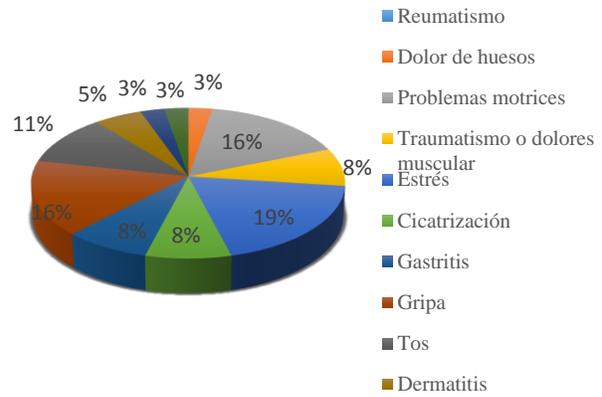


**¿Cuáles enfermedades o malestares pueden aliviar las aguas termales?**

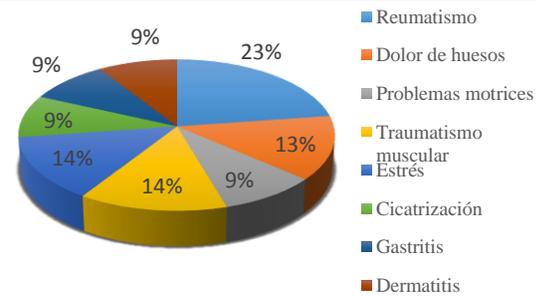
En la Región “**Ixtapan de la Sal-Tonatico**” se identifica que las aguas pueden aliviar los síntomas de: dolor de huesos, traumatismo muscular, problemas motrices, estrés, reumatismo, hipertensión, dermatitis, indigestión, y facilitar la cicatrización.



En el balneario “Los Bañitos” de Apaxco las principales enfermedades o síntomas que estas aguas pueden aliviar o mejorar son: estrés, gripa, problemas motrices, traumatismo, cicatrización, gastritis, dermatitis, problemas renales, dolor de huesos y reumatismo, ya sea como aplicación tópica o en bebida.

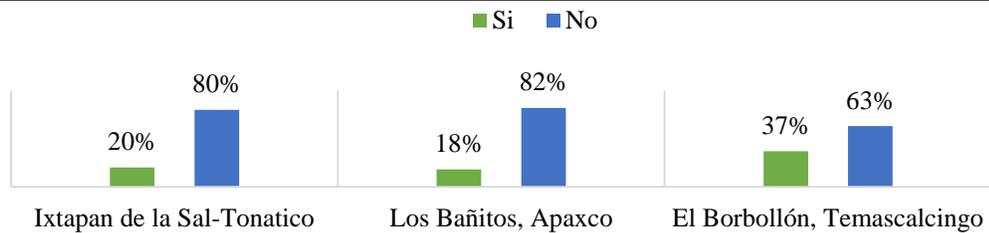


En el balneario “El Borbollón”, los usuarios tienen la experiencia empírica de que las aguas termales pueden ayudar en el tratamiento del reumatismo, traumatismo muscular, estrés, dolor de huesos, cicatrización, gastritis, dermatitis y problemas motrices.



**¿Conoce los efectos adversos o secundarios que puede causar el uso de las aguas termales durante el tratamiento de alguna enfermedad?**

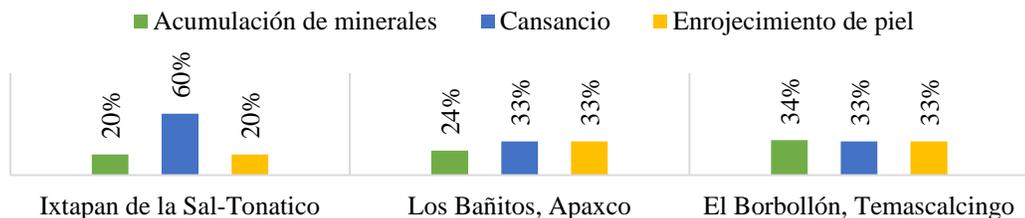
En los tres sitios de estudio, la percepción de la mayoría de la población encuestada no tiene conocimiento sobre los efectos secundarios del uso de las aguas termales.



**¿Cuáles efectos adversos causa el uso de las aguas termales?**

Los usuarios encuestados identificaron tres efectos; la acumulación de minerales en organismo, cansancio y enrojecimiento de la piel.

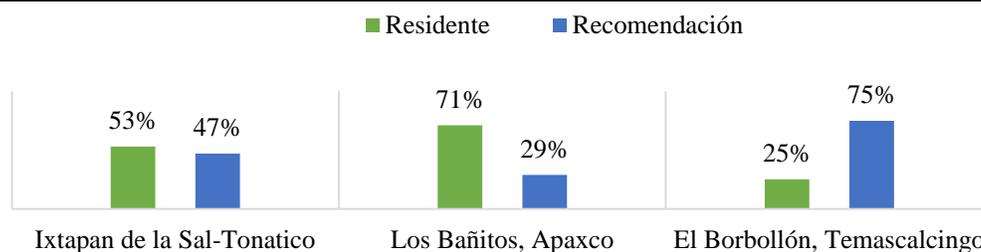
En la región “Ixtapan-Tonatico” el efecto más notable es el cansancio después de estar un tiempo largo en la alberca. En “Los Bañitos y El Borbollón” se presentan los tres efectos con similar magnitud.



### ¿Cómo conoció este lugar?

Ante esta pregunta la población encuestada respondió que conocen el balneario termal porque son residentes del lugar o recomendación de otra persona (turistas).

En “Ixtapan-Tonatico” se puede observar que existe una equidad entre visitantes residentes y turistas, pero en cambio en “Los Bañitos” se puede apreciar que la mayoría de personas que asisten a este lugar son residentes; en cambio en “El Borbollón” la mayoría de visitantes son turistas.



**Figura 4.6** Resultados de la encuesta aplicada a los usuarios de las aguas termales.

Los resultados obtenidos mediante la encuesta anterior permiten conocer que el uso de estas aguas termales con fines terapéuticos está en un creciente desarrollo, como una nueva modalidad de medicina alternativa, esto debido al conocimiento que se ha adquirido de manera empírica por parte de los usuarios, ya que la mayoría de estos conocen los beneficios que estas aguas termales pueden aportar para la salud y bienestar del organismo.

La mayoría de las personas visita los balnearios en estudio por las razones de divertirse, relajarse, ejercicio o terapia médica y como aseo personal. De igual manera, consideran saber los beneficios que las aguas termales tienen para la salud, ya sea por experiencia propia o casos presentados por testimonios. En la encuesta se menciona que las aguas termales son consideradas como aguas relajantes, analgésicas y curativas.

También se pudo percibir que existen limitantes en el empleo de las aguas termales como tratamiento medicinal, primeramente porque hay una restricción de este recurso a la población en general, ya que económicamente tienen que pagar para disfrutarlo, también se considera que existe poca información sobre las propiedades medicinales de dichas aguas, por ello las personas desconfían y se ve limitado el potencial mineromedicinal de este recurso.

Entre las enfermedades que las aguas termales son capaces de aliviar y que la población usuaria ha percibido, escuchado o comprobado por experiencia propia, están los síntomas provocados por dolor de huesos y músculos, traumatismo muscular, reumatismo, calma el

estrés y la ansiedad, mejora procesos de cicatrización, producen mayor digestión, alivia procesos de dermatitis, y elimina la tos, entre otras.

En la parte sobre los efectos secundario que causa el uso de las aguas termales, los usuarios en su mayoría aseguran que no existen o los desconocen, pero algunos usuarios mencionan que se puede presentar una acumulación de minerales en el organismo, cansancio o agotamiento físico y enrojecimiento de la piel.

Por último, se observó que en los balnearios de Ixtapan de la Sal y Tonalico se presentan una mayor concurrencia de visitantes cada semana y cada quince días. Estos usuarios están representados en los gráficos por residentes y turistas equitativamente. En el balneario termal “Los Bañitos” de Apaxco se tiene una mayor concurrencia de visita, pues hay usuarios que asisten cada tercer día y de manera diaria, ya que la mayoría son residentes de la comunidad y el acceso al balneario es gratuito. Finalmente, en el balneario termal de Temascalcingo “El Borbollón” debido a su situación geográfica, se cuenta con una visita ocasional, pues mayormente recibe a usuarios turistas del Estado de México. Estos factores influyen en gran medida en el desarrollo del aprovechamiento y aplicación de las aguas termales con fines de terapia medica alternativa.

## **CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos durante los muestreos y análisis químicos llevados a cabo para establecer las diferencias entre los distintos tipos de aguas termales, y con ello realizar su clasificación con base en parámetros físicos y químicos como son fundamentalmente; temperatura y composición química.

Una vez evaluados estos resultados, se proponen los usos medicinales más idóneos para cada tipo de agua, de acuerdo a documentos y casos de estudio reportados en el área de hidrología médica como son los de Maraver (2003), Aguirre et al. (2005), Rodríguez (2002), Hernández et al. (2006), Gibert (2017), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000) y San José (2008). De igual manera, se llevó a cabo una revisión de los trabajos de Rosborg (2015) y BANA (2014) para considerar las propiedades médicas de los elementos traza.

A continuación, se presenta una descripción detallada de esta clasificación y el posible uso terapéutico de sus aguas (Ver Anexo 2); considerando también la percepción de los usuarios en cuanto al uso medicinal de las aguas termales.

### **5.1 GRUPO IXTAPAN DE LA SAL-TONATICO**

Los tres manantiales termales ubicados en el municipio de Ixtapan de la Sal y el correspondiente a Tonatico se describen conjuntamente con la finalidad de poder establecer una sola caracterización, ya que todos comparten la cualidad de presentar el mismo tipo de agua, con una composición similar en el porcentaje de mineralización, además de que se encuentran escasamente distantes y comparten el mismo entorno geográfico-geológico.

#### *5.1.1 Caracterización*

##### **A) BALNEARIO MUNICIPAL DE IXTAPAN DE LA SAL (M1)**

*Localización:* Este manantial termal se sitúa en el centro urbano de la cabecera municipal de Ixtapan de la Sal.

*Manantial:* Su temperatura de surgencia corresponde a 37.2 °C, y es un agua del tipo Clorurada Sódica (Cl-Na).

*Infraestructura:* Es un complejo termal denominado Parque Recreativo Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal (Figura 5.1). Dispone de instalaciones balneoterapias para la relajación y tratamientos de fangos, también cuenta con un área de tinas hidrotermales, así mismo hay un área recreativa con piscinas de agua fría y una zona de descanso.

El manantial se encuentra ubicado rodeado de un perímetro de protección en forma de túnel subterráneo, que permite su captación y distribución hacia todo el parque.

*Antecedentes históricos:* Históricamente estas aguas son conocidas por sus efectos medicinales y de relajación, por lo cual han sido empleadas para diversos tratamientos terapéuticos, con base en el conocimiento empírico y tradicional. Antiguamente, también fueron empleadas para la obtención de sal.

*Situación actual:* El balneario está a cargo de la administración del gobierno municipal de Ixtapan de la Sal, el cual se encarga de la operación y mantenimiento de éste.

Los usuarios visitan este lugar principalmente con fines de relajación y distracción-diversión, la mayoría de los visitantes son residentes de este municipio y lo hacen con una frecuencia mensual y quincenal, presentado una mayor afluencia en Semana Santa.



**Figura 5.1** Instalaciones del Balneario Municipal de Ixtapan.

## B) BALNEARIO MUNICIPAL DE TONATICO (M2)

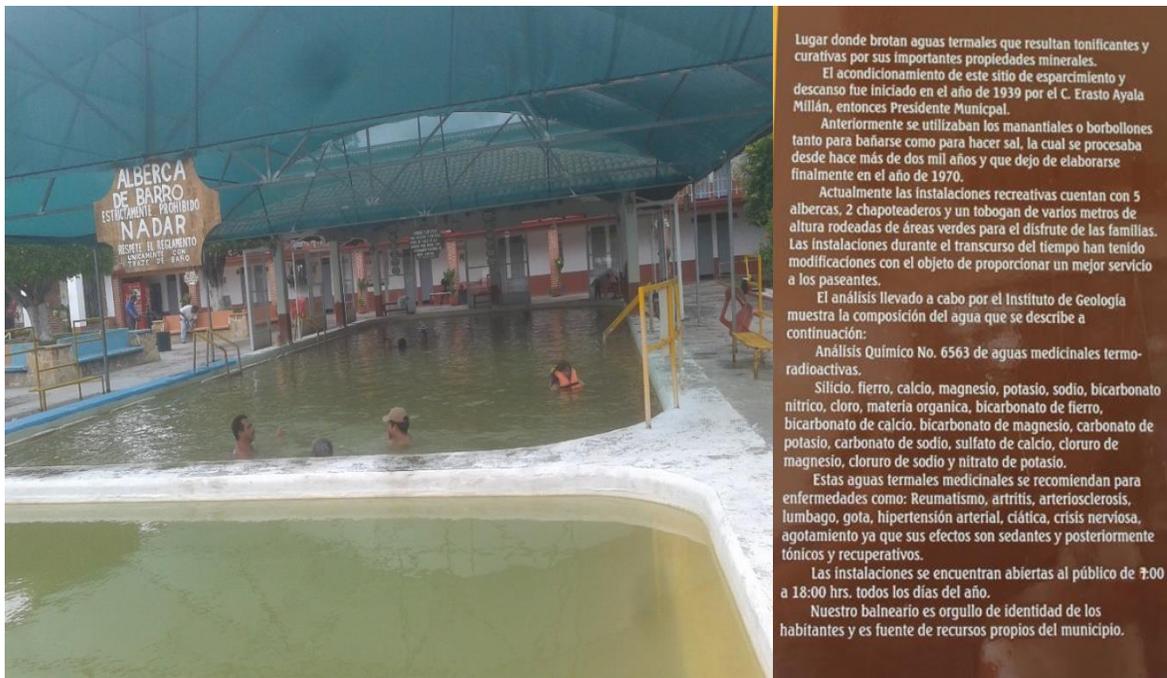
*Localización:* Se localiza en el límite municipal entre Ixtapan de la Sal y Tonatico.

*Manantial:* La temperatura del agua es en promedio de 37.1 °C. Es un agua del tipo Clorurada Sódica (Cl-Na).

El manantial termal abastece todos los servicios. Esta surgencia se encuentra en el centro del parque, y es captada en la piscina principal, para su posterior distribución a otras piscinas de menor dimensión.

*Infraestructura:* Es un complejo termal ubicado en el parque recreativo de Hotel Balneario Municipal de Tonatico. Dispone de diferentes instalaciones balneoterapias principalmente piscinas de agua caliente y un cuarto especial para masajes, así como instalaciones recreativas con piscinas de agua fría y ofrece servicio de hotelería.

*Antecedentes históricos:* Son aguas conocidas por sus efectos medicinales y de relajación. Cabe destacar que es el único Balneario de todos los estudiados que cuenta con recomendaciones terapéuticas en el empleo de su recurso termal (Figura 5.2).



**Figura 5.2** Instalaciones del Balneario Municipal de Tonatico y placa de estudio hidroquímico.

*Situación actual:* Pertenece y es administrado por el gobierno municipal de Tonalico, quien se encarga de mantener en condiciones óptimas las instalaciones.

La actividad balneológica que se presenta en este municipio es muy importante, ya que mucha población obtiene ingresos del turismo y de los servicios prestados a los visitantes.

Los usuarios visitan este lugar principalmente con fines de relajación y distracción-diversión, y la mayoría de estos usuarios residentes y lo hacen con una frecuencia mayor de cada mes y cada quince días, presentado una mayor afluencia en Semana Santa.

### C) IXTAMIL (M3)

*Localización:* Ubicado en la parte sur del municipio de Ixtapan de la Sal, sobre la carretera con dirección a Tonalico.

*Manantial:* El agua alcanza los 36 °C en el punto de surgencia. De acuerdo a los estudios hidroquímicos esta agua es de tipo Clorurada Sódica (Cl-Na).

El manantial se encuentra en el fondo de una piscina de amplias dimensiones, la cual se ubica en un edificio cubierto.

*Infraestructura:* Es un complejo termal ubicado en el Centro Vacacional Ixtamil, el cual pertenece al Sindicato de Trabajadores de la Educación.

Este complejo turístico cuenta con un hotel, una piscina de agua termal, así como diversas piscinas de agua fría, áreas verdes, zonas para practicar deportes, un restaurante, así como sala de spa y masajes para la relajación.

*Antecedentes históricos:* Las aguas de este lugar no han sido explotadas con fines terapéuticos, sino solamente como actividades recreativas.

*Situación actual:* Este parque vacacional es un lugar muy visitado por turistas al ofrecer una amplia gama de servicios. Es administrado por el Sindicato de Trabajadores, el cual se encarga de la difusión y promoción del lugar organizando eventos de capacitación profesional y difusión cultural.

Los usuarios visitan este lugar principalmente con fines de relajación y distracción-diversión. Los usuarios suele ser turistas con una frecuencia mayor a cada mes y cada quince días, presentado una mayor afluencia en Semana Santa y vacaciones de verano.

#### D) LAGUNA VERDE (M4)

*Localización:* Situado en la entrada del municipio de Ixtapan de la Sal, a un costado del Parque Acuático “Ixtapan”.

*Manantial:* Es un área a cielo abierto, formado por una pequeña fosa en la cual brotan diversas surgencias de agua termal. Esta agua tiene una peculiaridad de tener una coloración verde de ahí el nombre que se le ha asignado. Con una temperatura de 29.2 °C, el agua es de tipo Clorurada Sódica (Cl-Na).

*Infraestructura:* Este manantial se encuentra al aire libre (Figura 5.4), no cuenta con ningún tipo de edificación más que un simple cerco de protección para que las personas y animales no puedan acceder a él debido a los accidentes presentados en este lugar.

*Situación actual:* Tiene un cerco de protección para alejar y restringir el acceso a la población. Es propiedad del Parque Acuático “Ixtapan”.

*Uso terapéutico empírico:* En esta región la población utiliza el agua termal con diferentes usos medicinales, los principales son; aliviar dolor de huesos, traumatismo muscular, problemas motrices, relajación nerviosa y estrés, reumatismo, problemas de hipertensión, dermatitis, indigestión, y para facilitar la cicatrización de heridas cutáneas.

Cabe mencionar que en el balneario municipal de Ixtapan de la Sal se imparten sesiones terapéuticas a niños con problemas motrices provenientes del CAM (Centro de Atención Múltiple), así como a personas de la tercera edad, mediante la asesoría técnica y práctica de personal capacitado en estudios de terapia física que labora dentro del balneario.

Las aguas termales de esta región han desarrollado una gran estructura de hidrología médica empírica, la cual a lo largo del tiempo ha adquirido una gran popularidad entre los usuarios locales y visitantes, debido a los excelentes resultados terapéuticos comprobados a lo largo del tiempo, volviéndose una tradición y cultura del aprovechamiento médico de este recurso.

### 5.1.2 Posible uso terapéutico

Las principales propiedades medicinales de las aguas cloruradas sódicas con base en Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López, (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008) se detallan en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1** Propiedades mineromedicinales de la Región Ixtapan-Tonatico.

Tipo de Agua	Clorurada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso externo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Empleadas en la recuperación de intervenciones post-quirúrgicas sobre el aparato locomotor y muscular.</li> <li>▪ Contribuyen en la terapia de recuperación por lesiones traumáticas.</li> <li>▪ Utilizada en el tratamiento por afecciones reumáticas crónicas.</li> <li>▪ Empleada en el tratamiento de enfermedades dermatológicas y otorrinolaringológicas.</li> <li>▪ Estimulantes de la cicatrización y reparación de tejidos, así como el alivio de heridas infectadas.</li> <li>▪ Previene y alivia el proceso de inflamación.</li> <li>▪ Alivia procesos causados por afecciones ginecológicas leves.</li> <li>▪ Aumenta las defensas de la piel y mucosas.</li> <li>▪ Posee propiedad antiséptica, ya que elimina hongos y virus en la piel.</li> <li>▪ Efectos relajantes y sedantes.</li> </ul> <p><b>Uso interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejora los estados de debilidad y agotamiento físico.</li> <li>▪ Efecto Broncodilatador, empleada para el resfriado común, ya que contribuye a la eliminación de secreciones bronquiales y relajación de la musculatura asociada.</li> <li>▪ Ayuda en el alivio de síntomas causados en procesos crónicos de las vías respiratorias.</li> <li>▪ Funciona como estimulante de la función gástrica, hepática y biliar.</li> <li>▪ Facilita la digestión de los alimentos y la absorción de nutrientes del cuerpo.</li> </ul>
De acuerdo con Rosborg (2015) y BANA (2014), estas aguas pueden presentar propiedades medicinales adicionales considerando el contenido de elementos traza.	
<b>Boro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la masa y fuerza muscular, así como la disminución de la grasa corporal.</li> <li>• Ayuda al alivio o prevención de artritis reumatoide y osteoporosis, contribuye al crecimiento y mantenimiento óseo.</li> <li>• Mejora la función cerebral y el rendimiento cognitivo.</li> </ul>
<b>Litio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivia durante el tratamiento por trastorno bipolar, y para la prevención de trastornos del estado de ánimo y de sueño.</li> <li>• También tiene implicaciones clínicas potenciales en la prevención de la enfermedad de Alzheimer.</li> </ul>
<b>Azufre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivia la irritación de la piel y favorece al proceso de inflamación.</li> </ul>

Indicaciones: Es administrada por vía tópica y en bebida. Se recomienda en:

- Patologías quirúrgicas como úlceras, fístulas y heridas.
- Patologías reumatológicas como artritis reumatoidea, espondilitis anquilosante, etc.
- Procesos secundarios a fiebre reumática, artrosis, osteoartritis, prevención del envejecimiento osteoarticular, condrocalcinosis, osteoporosis, osteomielitis crónica, procesos que requieren rehabilitación, afecciones en fase de convalecencia.
- Afecciones dermatológicas (psoriasis, acné juvenil, etc.), así como en procesos varicosos.
- Enfermedades psicosomáticas como el estrés y ansiedad.

Efectos secundarios: Estas aguas presentan buena tolerancia, pero en tratamientos intensos se puede presentar: abatimiento, cansancio, malestar, cefalea, estado febril, incremento de dolencias, irritación de mucosas. Estos efectos suelen desaparecer con la reducción o suspensión del tratamiento.

Contraindicaciones: Estas aguas mineromedicinales no son recomendables usarlas si el usuario presenta patología digestiva aguda y cuadros con diarrea. También si ha sido sometido a algún proceso quirúrgico reciente, en procesos con estenosis digestiva, patología renal grave, así como por la presencia de un eccema generalizado y fibromas hemorrágicos.

## **5.2 LOS BAÑITOS APAXCO (M5)**

### *5.2.1 Caracterización*

*Localización:* Localizando en las afueras de Apaxco a 50 metros del cauce principal del río “El Salado” y a un lado de la planta cementera “Holcim”.

*Manantial:* Es una surgencia termal con una temperatura In situ de 35 °C, cuya clasificación hidroquímica es Sulfatada Cálcida ( $\text{SO}_4\text{-Ca}$ ). El agua de este manantial es distribuida a las piscinas mediante un sistema de bombeo.

*Infraestructura:* Es un balneario termal llamado “Los Bañitos Apaxco” al cual asiste frecuentemente la población local con fines de aseo personal y relajación (Figura 5.3). Cuenta con diferentes piscinas, una exclusiva para hombres y otra solo para mujeres ambas a cielo abierto para tomar baños calientes, y una última piscina con techo para hacer actividades recreativas como clases de natación, yoga y aeróbics.

*Antecedentes históricos:* No cuenta con estudios previos para el uso de las aguas termales con fines medicinales, simplemente se sabe por conocimiento tradicional que es un recurso muy bondadoso para tratar afecciones terapéuticas. Las personas de la tercera edad acuden frecuentemente a este lugar para relajarse y ejercitarse.

*Situación Actual:* Está a cargo del gobierno municipal de Apaxco, el cual se encarga de recaudar los fondos necesarios para su administración y conservación. El balneario está abierto las 24 horas del día de manera gratuita.

En este lugar se ofertan talleres de relajación y activación física utilizando el agua termal.

Los usuarios visitan este lugar principalmente con fines de aseo personal, muchos de ellos lo hacen con una frecuencia de cada tercer día, pues en esta región se tiene un fuerte desabasto del agua potable y también se le da un uso con fines de distracción-diversión presentado una mayor afluencia en Semana Santa.

*Uso terapéutico empírico:* Las principales enfermedades o malestares físicos que pueden aliviar estas aguas mineromedicinales de acuerdo a lo comentado por los usuarios de este balneario son principalmente; problemas de estrés, problemas motrices, traumatismo muscular, cicatrización de heridas cutáneas, gastritis, dermatitis, problemas renales, dolor de huesos y reumatismo así como síntomas de gripa.



**Figura 5.3** Instalaciones del Balneario Los Bañitos, Apaxco.

En este balneario se imparten clases de natación y yoga a niños con signos de hiperactividad, así como talleres de relajación a mujeres embarazadas y activación física como aerobics en aguas termales a la población en general, las cuales son impartidas por personal capacitado en terapia y activación física.

### 5.2.2 Posible uso terapéutico

Las principales indicaciones terapéuticas de un agua sulfatada cálcica de acuerdo a; Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López, (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008), se detallan en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Propiedades mineromedicinales de Los Bañitos, Apaxco.

Tipo de Agua	Sulfatada Cálcica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso Externo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acción sedante, relajante y antiespasmódica.</li> <li>▪ Mantiene la masa ósea adecuada y ayuda a prevenir la osteoporosis.</li> </ul> <p><b>Uso interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acción purgante, colerética, colagoga y estimulantes del peristaltismo intestinal.</li> <li>▪ Protectoras del sistema digestivo y renal.</li> <li>▪ Reduce el estreñimiento y ayuda a la digestión.</li> <li>▪ Posee propiedad diurética y favorece a la eliminación de ácido úrico.</li> <li>▪ Disminuye el colesterol.</li> <li>▪ Ayuda a la contracción muscular, así como la expansión de los vasos sanguíneos, la secreción de hormonas y enzimas, y la comunicación a través del sistema nervioso.</li> <li>▪ Utilizadas en tratamiento de gastritis, colitis, dispepsias gastrointestinales, colecistitis, colelitiasis y hepatopatías leves.</li> </ul>
De acuerdo con <i>Rosborg (2015)</i> y <i>BANA, (2014)</i> , y considerando el contenido de elementos traza otras propiedades médicas son:	
<b>Azufre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alivia la irritación de enfermedades de la piel y favorece al proceso de inflamación.</li> </ul>
<b>Sílice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuye al mantenimiento y crecimiento de colágeno (tendones, piel, uñas, pelo), y favorece en el proceso de cicatrización de una herida.</li> </ul>
<b>Estroncio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se utiliza para aumentar la formación y mantenimiento de los huesos.</li> <li>▪ Previene y mejora los procesos causados por osteoporosis, osteoartritis y caries dental.</li> </ul>

**Indicaciones:** Su principal administración es por vía oral pudiendo alcanzar un efecto como laxante, diurético, en alteraciones intestinales y gastritis.

También se pueden emplear en baños de sumersión para tratar problemas relacionados con el estrés y cansancio.

Efectos secundarios: Los efectos suelen aparecer durante la primera semana de tratamiento. Presentándose como crisis termal, fiebre termal, hidorrea termal, manifestaciones cutáneas, congestión rinofaríngea, dolores articulares, crisis digestivas y reactivación del cuadro patológico pero todo ello se podrá eliminar con la suspensión de la cura termal.

Contraindicaciones: Debe evitarse su empleo en insuficiencia hepática, lesiones intestinales y osteomalacia.

### **5.3. GRUPO DE MANANTIALES DE IXTAPAN DEL ORO (M6 Y M7)**

#### *5.3.1 Caracterización*

*Localización:* Estos manantiales se localizan en la cabecera municipal de Ixtapan del Oro.

*Manantial:* Son dos manantiales termales, los cuales están muy cercanos entre sí y cuya temperatura de surgencia es de 31 °C. Ambos comparten una composición hidroquímica muy similar, siendo del tipo Clorurada Sódica (Cl-Na). Los manantiales son captados por piscinas, para aprovechar el recurso inmediatamente a su surgencia.



**Figura 5.4** Instalaciones del Balneario Ixtapan del Oro.

*Infraestructura:* Se trata de un Balneario llamado “Las Salinas” el cual cuenta con vestidores, sanitarios, un par de piscinas de agua caliente y otra piscina de grandes dimensiones de agua fría. También hay áreas verdes y cabañas para acampar.

*Antecedentes históricos:* Cabe mencionar que los visitantes y autoridades del parque desconocen las propiedades y usos terapéuticos del recurso hídrico termal. La población local utiliza esta agua con fines medicinales simplemente por aprendizaje empírico.

*Situación actual:* Es administrado por el gobierno municipal, el cual se encarga de recaudar los fondos económicos para su mantenimiento.

La temporada de mayor influencia es en Semana Santa y en las vacaciones de verano. Es considerado un lugar de relajación y diversión para la población local. Es un lugar de difícil acceso por ello no presenta un turismo muy desarrollado.

No cuenta con ningún estudio hidroquímico de las aguas termales, tampoco se ha dado un aprovechamiento de este recurso con fines médicos o terapéuticos.

### 5.3.2 Posible uso terapéutico

Las principales indicaciones terapéuticas de un agua clorurada sódica de acuerdo a Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López, (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008), son las expuestas en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3** Propiedades mineromedicinales de Ixtapan del Oro.

Tipo de Agua	Clorurada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso externo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Empleadas en la recuperación de intervenciones post-quirúrgicas sobre el aparato locomotor y muscular.</li> <li>▪ Contribuyen en la terapia de recuperación por lesiones traumáticas.</li> <li>▪ Utilizada en el tratamiento por afecciones reumáticas crónicas.</li> <li>▪ Empleada en el tratamiento de enfermedades dermatológicas y otorrinolaringológicas.</li> <li>▪ Estimulantes de la cicatrización y reparación de tejidos, así como el alivio de heridas infectadas.</li> <li>▪ Previene y alivia el proceso de inflamación.</li> <li>▪ Alivia procesos causados por afecciones ginecológicas leves.</li> <li>▪ Aumenta las defensas de la piel y mucosas.</li> <li>▪ Posee propiedad antiséptica, ya que elimina hongos y virus en la piel.</li> <li>▪ Efectos relajantes y sedantes.</li> </ul>

**Tabla 5.3** Continuación propiedades mineromedicinales de Ixtapan del Oro (Continuación).

Tipo de Agua	Clorurada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejora los estados de debilidad y agotamiento físico.</li> <li>▪ Empleada para el resfriado común, ya que contribuye a la eliminación de secreciones bronquiales y relajación de la musculatura asociada.</li> <li>▪ Ayuda en el alivio de síntomas causados en procesos crónicos de las vías respiratorias.</li> <li>▪ Funciona como estimulante de la función gástrica, hepática y biliar.</li> <li>▪ Facilita la digestión de los alimentos y la absorción de nutrientes del cuerpo.</li> </ul>
<p>De acuerdo con <i>Rosborg (2015)</i> y <i>BANA (2014)</i>, estas aguas también pueden tener otras propiedades medicinales, considerando el contenido de elementos traza.</p>	
<b>Boro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la masa y fuerza muscular, así como la disminución de la grasa corporal.</li> <li>• Ayuda al alivio o prevención de artritis reumatoide y osteoporosis, contribuye al crecimiento y mantenimiento óseo.</li> <li>• Mejora la función cerebral y el rendimiento cognitivo.</li> </ul>
<b>Sílice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuye al mantenimiento y crecimiento de colágeno (tendones, piel, uñas, pelo), y favorece en el proceso de cicatrización de una herida.</li> </ul>

**Indicaciones:** Es suministrada al usuario por vía tópica y en bebida. Se recomienda ampliamente en:

- Patologías quirúrgicas como úlceras, fístulas y heridas.
- Patologías reumatológicas como artritis reumatoidea, espondilitis anquilosante, etc.
- Procesos secundarios a fiebre reumática, artrosis, osteoartritis, prevención del envejecimiento osteoarticular, condrocalcinosis, osteoporosis, osteomielitis crónica, procesos que requieren rehabilitación, afecciones en fase de convalecencia.
- Afecciones dermatológicas (psoriasis, acné juvenil, etc.), así como en procesos varicosos.
- Enfermedades psicosomáticas como el estrés y ansiedad.

**Efectos secundarios:** Estas aguas tienen buena tolerancia, pero en tratamientos intensos se puede presentar: abatimiento, cansancio, malestar, cefalea, estado febril, incremento de dolencias, e irritación de mucosas. Estos efectos suelen desaparecer con la reducción o suspensión del tratamiento.

Contraindicaciones: Estas aguas mineromedicinales no son recomendables usarlas si el usuario presenta patología digestiva aguda, y cuadros con diarrea. También si ha sido sometido a algún proceso quirúrgico reciente, en procesos con estenosis digestiva, patología renal grave, así como por la presencia de un eccema generalizado y fibromas hemorrágicos.

## **5.4 SAN MIGUEL IXTAPAN (M8)**

### *5.4.1 Caracterización*

*Localización:* Este manantial termal se localiza en la comunidad de San Miguel Ixtapan en las cercanías al museo arqueológico en el municipio de Tejupilco.

*Manantial:* Consiste en un manantial termal cuya agua tiene una temperatura de 29.9 °C, y es un agua de tipo Clorurada Sódica (Cl-Na).

*Infraestructura:* Este manantial cuenta con varias pozas o piletas de pequeñas dimensiones las cuales se llenan de manera natural por el flujo de agua que emerge y son vaciadas manualmente cuando se llenan (Figura 5.5). Estas pozas son empleadas para almacenar agua y favorece la evaporación para obtener sal de grano.

*Antecedentes históricos:* Estas aguas son muy salinas y han sido empleadas desde tiempos prehispánicos para la obtención de sal de mesa mediante un proceso artesanal.

*Situación Actual:* Este recurso hídrico solamente es usado con fines culturales para la obtención de sal. Su caudal alimenta al río que se encuentra próximo al manantial. La población no usa de estas aguas para otro fin.



**Figura 5.5** Salinas de San Miguel Ixtapan y fosas de agua termal.

#### 5.4.2 Posible uso terapéutico

Las principales indicaciones terapéuticas del agua clorurada sódica de acuerdo a Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López, (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008), están descritas en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4** Propiedades mineromedicinales de San Miguel Ixtapan.

Tipo de Agua	Clorurada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso externo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Empleadas en la recuperación de intervenciones post-quirúrgicas sobre el aparato locomotor y muscular.</li> <li>▪ Contribuyen en la terapia de recuperación por lesiones traumáticas.</li> <li>▪ Utilizada en el tratamiento por afecciones reumáticas crónicas.</li> <li>▪ Empleada en el tratamiento de enfermedades dermatológicas y otorrinolaringológicas.</li> <li>▪ Estimulantes de la cicatrización y reparación de tejidos, así como el alivio de heridas infectadas.</li> <li>▪ Previene y alivia el proceso de inflamación.</li> <li>▪ Alivia procesos causados por afecciones ginecológicas leves.</li> <li>▪ Aumenta las defensas de la piel y mucosas.</li> <li>▪ Posee propiedad antiséptica, ya que elimina hongos y virus en la piel.</li> <li>▪ Efectos relajantes y sedantes.</li> </ul> <p><b>Uso interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejora los estados de debilidad y agotamiento físico.</li> <li>▪ Empleada para el resfriado común, ya que contribuye a la eliminación de secreciones bronquiales y relajación de la musculatura asociada.</li> <li>▪ Ayuda en el alivio de síntomas causados en procesos crónicos de las vías respiratorias.</li> <li>▪ Funciona como estimulante de la función gástrica, hepática y biliar.</li> <li>▪ Facilita la digestión de los alimentos y la absorción de nutrientes del cuerpo.</li> </ul>
<p>Con base en Rosborg (2015) y BANA (2014), y según su contenido de elementos traza estas aguas tienen otras indicaciones médicas como son:</p>	
<b>Boro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la masa y fuerza muscular, así como la disminución de la grasa corporal.</li> <li>• Ayuda al alivio o prevención de artritis reumatoide y osteoporosis, contribuye al crecimiento y mantenimiento óseo.</li> <li>• Mejora la función cerebral y el rendimiento cognitivo.</li> </ul>
<b>Litio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivia durante el tratamiento por trastorno bipolar, y para la prevención de trastornos del estado de ánimo y de sueño.</li> <li>• También tiene implicaciones clínicas potenciales en la prevención de la enfermedad de Alzheimer.</li> </ul>

Indicaciones: Este tipo de agua se administra por vía tópica y en bebida, y se recomienda ampliamente en:

- Patologías quirúrgicas como úlceras, fístulas y heridas.
- Patologías reumatológicas como artritis reumatoidea, espondilitis anquilosante, etc.
- Procesos secundarios a fiebre reumática, artrosis, osteoartrosis, prevención del envejecimiento osteoarticular, condrocalcinosis, osteoporosis, osteomielitis crónica, procesos que requieren rehabilitación, afecciones en fase de convalecencia.
- Afecciones dermatológicas (psoriasis, acné juvenil, etc.), así como en procesos varicosos.
- Enfermedades psicosomáticas como el estrés y ansiedad.

Efectos secundarios: Tienen buena tolerancia, pero en tratamientos intensos se puede presentar: abatimiento, cansancio, malestar, cefalea, estado febril, incremento de dolencias, irritación de mucosas. Estos efectos suelen desaparecer con la reducción o suspensión del tratamiento.

Contraindicaciones: Estas aguas mineromedicinales no son recomendables usarlas si el usuario presenta patología digestiva aguda, y cuadros con melenas y diarreas. También si ha sido sometido a algún proceso quirúrgico reciente, en procesos con estenosis digestiva, patología renal grave, así como por la presencia de un eccema generalizado y fibromas hemorrágicos.

## **5.5 SULTEPEC (M9)**

### *5.5.1 Caracterización*

*Localización:* Manantial termal localizado en la comunidad de Sultepequito, municipio de Sultepec.

*Manantial:* Surgencia termal cuya temperatura medida In situ es de 34 °C, siendo un agua del tipo Bicarbonatada Sódica (HCO<sub>3</sub>-Na).

*Infraestructura:* Cuenta con una pequeña alberca en la cual emana el agua termal y a su alrededor se puede apreciar un magnifico entorno natural (Figura 5.6).

*Antecedentes históricos:* Es un lugar en medio del bosque el cual es cuidado por la población local.

*Situación Actual:* Las personas acuden a relajarse y divertirse. Es un lugar en donde también se aprovecha el agua para bañarse, lavar ropa y trastes.



**Figura 5.6** Manantial termal de Sultepec y entorno natural.

### 5.5.2 Posible uso terapéutico

En la tabla 5.5 se describen las principales indicaciones terapéuticas de un agua bicarbonatada sódica de acuerdo a Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López, (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008).

**Tabla 5.5** Propiedades mineromedicinales de Sultepec.

Tipo de Agua	Bicarbonatada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso externo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contiene propiedades antiinflamatorias y antiflogísticas.</li> <li>▪ Empleada en la recuperación de heridas infectadas.</li> <li>▪ Propiedad relajante y sedantes por lo cual se recomienda para el tratamiento de estrés y enfermedades nerviosas.</li> </ul>

**Tabla 5.5** Propiedades mineromedicinales de Sultepec (Continuación).

Tipo de Agua	Bicarbonatada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propiedades antiácidas, ya que neutralizan la acidez a nivel gástrico.</li> <li>▪ Aumenta la actividad pancreática.</li> <li>▪ Favorecen la glicogénesis.</li> <li>▪ Favorecen la movilización y eliminación de ácido úrico por la orina.</li> <li>▪ Eliminación de sedimentos y cálculos uréticos.</li> <li>▪ También presenta una acción hepatoprotectora y alcalinizante de la orina.</li> <li>▪ Empleada en procesos de tos, ya que ayuda a eliminar las secreciones bronquiales y relaja la musculatura asociada.</li> <li>▪ Empleada por sus acciones beneficiosas en las alteraciones intestinales, tales como; procesos dispépticos, alteraciones del tono y motilidad gástrica.</li> <li>▪</li> </ul>
<p>Estas aguas también poseen otras propiedades medicinales considerando el contenido de elementos traza según Rosborg (2015) y BANA (2014).</p>	
<b>Sílice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuye al mantenimiento y crecimiento de colágeno (tendones, piel, uñas, pelo) y favorece en el proceso de cicatrización de una herida.</li> </ul>

**Indicaciones:** Este tipo de agua mineromedicinal se encuentra indicada para el tratamiento de trastornos hepatopancreáticos, principalmente durante los procesos dispépticos hipersecretorios, enfermedades hepáticas, procesos metabólicos que cursen con hiperglucemia o con hiperuricemia, etc.

También es ampliamente usada para aliviar enfermedades del aparato digestivo. Ya que estas aguas son antidisépicas y antiácidas. Su principal forma de administración es en bebida.

**Efectos secundarios:** De modo general, presenta una gran tolerancia, pero puede aparecer una reactivación de los síntomas que se eliminan con una reducción del tratamiento.

**Contraindicaciones:** Son los comunes al emplear aguas termales como; abatimiento, cansancio o malestar, dado al alto contenido en sodio se evitará su utilización en enfermos cardíacos, renales e hipertensos.

## **5.6 GRUPO DE MANANTIALES EL BORBOLLÓN (M10 Y M11)**

### *5.6.1 Caracterización*

**Localización:** Estos manantiales termales se sitúan el poblado de San Miguel Ixtapa en el Municipio de Temascalcingo.

*Manantial:* Consiste en dos manantiales termales cuyas temperaturas varían mucho a pesar de estar a menos de 100 metros de distancia entre sí. La composición hidroquímica que estas aguas es del tipo Clorurada Sódica (Cl-Na).

Uno de estos manantiales emana en la mitad de lo que era el cauce natural del río Lerma, con una temperatura de 56 °C, cuenta con un perímetro de protección que se construyó para su captación y distribución al área de duchas por medio de bombeo.

El otro manantial presenta una temperatura de surgencia correspondiente a 35 °C medida In situ. Este manantial emerge en el centro de una piscina de grandes dimensiones.

*Infraestructura:* Complejo termal conocido como parque ecoturístico El Borbollón (Figura 5.7), el cual cuenta con una piscina, un área de bañeras individuales, una sala de Temascal, sanitarios, vestidores, zona de asadores y cabañas de diferentes tamaños para acampar, así como una extensa área verde.

*Antecedentes históricos:* Es un parque de reciente creación. Sus aguas eran desaprovechadas económicamente por los pobladores hasta la fundación de este lugar.

*Situación actual:* Este parque ecoturístico es propiedad del ejido de San Miguel Ixtapa, por lo cual su administración consiste en una cooperativa equitativa donde todos los integrantes tienen derecho y obligación de trabajar en bien del parque. Su temporada de mayor afluencia de visitas es en Semana Santa.

No cuenta con algún estudio hidroquímico, y sus propiedades medicinales y terapéuticas aún son desconocidas para los administradores, pero tienen un gran interés y expectativas de poder desarrollar un parque cuyas aguas sean aprovechadas con fines médicos.

Los usuarios visitan este lugar principalmente con fines de relajación y distracción-diversión. La frecuencia de visita es esporádica, pues en su mayoría los usuarios resultan ser turistas. Debido a que es una zona de bajos ingresos la población local no puede acceder a este lugar.

*Uso terapéutico empírico:* Este balneario es de reciente creación por ello sus aguas termales no ha desarrollado un gran potencial medicinal entre la población local y foránea, pues no se ha difundido con suficiente publicidad. Hay testimonios por parte de los usuarios que comentan las bondades medicinales y terapéuticas de estas aguas, ya que resultan ser ideales

para aliviar algunos problemas médicos como los son; reumatismo, traumatismo muscular, problemas de estrés, dolor de huesos, cicatrización de heridas cutáneas, gastritis, dermatitis y diversos problemas motrices.



**Figura 5.7** Instalaciones del Balneario “El Borbollón”.

### 5.6.2 Posible uso terapéutico

Tomando en cuenta lo señalado por Aguirre et al. (2005), Armijo (2016), Fagundo et al. (2000), Gibert (2017), Hernández et al. (2006), López, (2003), Maraver (2003), Rodríguez (2002) y San José (2008) las principales indicaciones terapéuticas se resumen en la tabla 5.6.

**Tabla 5.6** Propiedades mineromedicinales de El Borbollón, Temascalcingo.

Tipo de Agua	Clorurada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso externo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Empleadas en la recuperación de intervenciones post-quirúrgicas sobre el aparato locomotor y muscular.</li> <li>▪ Contribuyen en la terapia de recuperación por lesiones traumáticas.</li> <li>▪ Utilizada en el tratamiento por afecciones reumáticas crónicas.</li> <li>▪ Empleada en el tratamiento de enfermedades dermatológicas y otorrinolaringológicas.</li> <li>▪ Estimulantes de la cicatrización y reparación de tejidos, así como el alivio de heridas infectadas.</li> <li>▪ Previene y alivia el proceso de inflamación.</li> <li>▪ Alivia procesos causados por afecciones ginecológicas leves.</li> <li>▪ Aumenta las defensas de la piel y mucosas.</li> <li>▪ Posee propiedad antiséptica, ya que elimina hongos y virus en la piel.</li> <li>▪ Efectos relajantes y sedantes.</li> </ul>

**Tabla 5.6** Propiedades mineromedicinales de El Borbollón, Temascalcingo (Continuación).

Tipo de Agua	Clorurada Sódica
<b>Propiedades medicinales</b>	<p><b>Uso interno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejora los estados de debilidad y agotamiento físico.</li> <li>▪ Empleada para el resfriado común, ya que contribuye a la eliminación de secreciones bronquiales y relajación de la musculatura asociada.</li> <li>▪ Ayuda en el alivio de síntomas causados en procesos crónicos de las vías respiratorias.</li> <li>▪ Funciona como estimulante de la función gástrica, hepática y biliar.</li> <li>▪ Facilita la digestión de los alimentos y la absorción de nutrientes del cuerpo.</li> </ul>
<p>De acuerdo con <i>Rosborg, (2015)</i> y <i>BANA, (2014)</i>, estas aguas también tienen otras propiedades medicinales, considerando el contenido de elementos traza con mayor presencia.</p>	
<b>Boro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la masa y fuerza muscular, así como la disminución de la grasa corporal.</li> <li>• Ayuda al alivio o prevención de artritis reumatoide y osteoporosis, contribuye al crecimiento y mantenimiento óseo.</li> <li>• Mejora la función cerebral y el rendimiento cognitivo.</li> </ul>
<b>Litio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivia durante el tratamiento por trastorno bipolar, y para la prevención de trastornos del estado de ánimo y de sueño.</li> <li>• También tiene implicaciones clínicas potenciales en la prevención de la enfermedad de Alzheimer.</li> </ul>
<b>Sílice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuye al mantenimiento y crecimiento de colágeno (tendones, piel, uñas, pelo), y favorece en el proceso de cicatrización de una herida.</li> </ul>

**Indicaciones:** El agua se puede emplear por vía tópica y en bebida, y se recomienda ampliamente en:

- Patologías quirúrgicas como úlceras, fístulas y heridas.
- Patologías reumatológicas como artritis reumatoidea, espondilitis anquilosante, etc.
- Procesos secundarios a fiebre reumática, artrosis, osteoartritis, prevención del envejecimiento osteoarticular, condrocalcinosis, osteoporosis, osteomielitis crónica, procesos que requieren rehabilitación, afecciones en fase de convalecencia.
- Afecciones dermatológicas (psoriasis, acné juvenil, etc.), así como en procesos varicosos.
- Enfermedades psicosomáticas como el estrés y ansiedad.

**Efectos secundarios:** Estas aguas son de gran tolerancia, pero en tratamientos intensos se puede presentar: abatimiento, cansancio, malestar, cefalea, estado febril, incremento de

dolencias, e irritación de mucosas. Estos efectos suelen desaparecer con la reducción o suspensión del tratamiento.

Contraindicaciones: No son recomendables usarlas si el usuario presenta patología digestiva aguda y cuadros con diarrea. También si ha sido sometido a algún proceso quirúrgico reciente, en procesos con estenosis digestiva, patología renal grave, así como por la presencia de un eccema generalizado y fibromas hemorrágicos.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación realizada durante el desarrollo de esta tesis sobre las implicaciones del uso de las aguas termales del Estado de México, se concluye que:

Existe muy poca información y conocimiento sobre el uso de las aguas termales con fines de aplicación como medicina alternativa, pues su empleo en el área medicinal-terapéutica es limitada por parte de la población usuaria y por los responsables de los centros balnearios, aunque por conocimiento empírico y tradicional se conciben como aguas curativas.

La identificación y caracterización de los manantiales termales en la región permitió realizar una campaña de muestreo y trabajo en campo en aquellas fuentes termales más representativas y cuyo recurso hídrico presenta un impacto social, cultural y económico sobresaliente en la zona de estudio. Los manantiales termales identificados se localizaron en los municipios de Ixtapan de la Sal, Tonatico, Ixtapan del Oro, Apaxco, Sultepec, Temascalcingo y Tejupilco.

Con ayuda del equipo multiparamétrico y pruebas químicas se pudieron obtener los parámetros *In Situ* que caracterizan las aguas termales tales como temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y alcalinidad. De igual manera la recolección, traslado y conservación oportuna de las muestras de agua termal fue un factor esencial para la estabilidad de los elementos químicos para su posterior análisis en laboratorio.

Los aniones que se determinaron en laboratorio fueron:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{F}^-$  y los cationes mayoritarios y elementos minoritarios y traza analizados fueron; Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, V y Zn. Los resultados de estos análisis, además de los resultados de los parámetros *In Situ*, permitieron generar una base de datos con la información físico-química de cada manantial termal.

Con base en los diagramas de representación hidroquímica como Piper y Schöeller-Berkalof, se pudieron identificar tres tipos de agua, el primer tipo, y con mayor presencia en este estudio, consiste en un agua Clorurada Sódica, identificada en los manantiales termales de la zona de Ixtapan de la Sal-Tonatico, Ixtapan del Oro, Tejupilco y Temascaltepec, el segundo tipo de agua fue Sulfatada Cálcica, la cual se determinó en el manantial termal de Apaxco, y finalmente el tercer tipo de agua fue Bicarbonatada Sódica que se reconoció en Sultepec. Cabe mencionar que estas aguas mineromedicinales presentan composiciones químicas estables en el tiempo, ya que se han comparado con los resultados de campañas anteriores comprobándose que no existen variaciones significantes.

Los resultados de la encuesta aplicada a la población usuaria y administradores concesionarios de las aguas termales de los municipios de Apaxco, Ixtapan de la Sal, Tonicato y Temascalcingo, permitió conocer la percepción sobre el uso y aplicación de las aguas mineromedicinales. La mayoría de los encuestados aseguran que las aguas termales poseen propiedades únicas a las cuales se les atribuye la cura y remedio de distintas enfermedades, entre las que destacan; el dolor de huesos y músculos, problemas cutáneos, problemas digestivos, problemas renales y problemas nerviosos. También es una realidad que muchas de las personas encuestadas desconocen las propiedades mineromedicinales de este recurso. Los administradores de los balnearios, por su parte, comienzan a fomentar el uso de las aguas termales con fines terapéuticos y medicinales, con un enfoque de terapia física en la rehabilitación motriz y relajación nerviosa.

De acuerdo a la literatura revisada, y tomando en cuenta que cada tipo de agua según su hidroquímica tiene propiedades mineromedicinales específicas, se pudo identificar y proponer los usos médico-terapéuticos mayormente aceptados.

Las aguas termales de tipo Clorurada Sódica, correspondientes a la zona de Ixtapan de la Sal, Tonicato, Tejupilco, Ixtapan del Oro y Temascalcingo, presentan posibles usos mineromedicinales para el tratamiento de lesiones del aparato locomotor, como el reumatismo, artritis, sinovitis, artrosis, secuelas postraumáticas y posquirúrgicas. También son ampliamente recomendadas para afecciones del aparato respiratorio como otitis, rinitis, laringitis, etc., afecciones psicósomáticas como el estrés y la neurosis, afecciones

Dermatológicas como el acné y, finalmente, en afecciones ginecológicas como la amenorrea y secuelas de afecciones ginecológicas.

Por otro lado, las aguas mineromedicinales de tipo Sulfatada Cálcica de Apaxco, se consideran ideales para el tratamiento de afecciones específicas del aparato digestivo y urinario ya que estas aguas ayudan al buen funcionamiento de estos sistemas. Entre las enfermedades a aliviar se mencionan; gastritis, colitis, colecistopatías, litiasis biliar y hepatopatías.

Las aguas termales Bicarbonatada Sódica de Sultepec, presentan propiedades mineromedicinales específicas para el sistema digestivo aliviando afecciones como gastritis crónica, alteraciones del peristaltismo intestinal, dispepsias y ulcera gástrica, entre otras, así como afecciones renales y urinarias como litiasis, nefritis y nefrosis, y finalmente se pueden emplear para afecciones psicosomáticas como el estrés y la ansiedad.

Los elementos minoritarios como el Boro, Litio, Azufre y Sílice presentes en la mayoría de las aguas termales, también aportan propiedades medicinales y contribuyen al complemento del posible uso medicinal de las aguas termales en estudio sumando más beneficios a la salud.

Finalmente, se concluye que la temperatura juega un papel muy importante ya que aporta también beneficios, ya que aumenta la temperatura del cuerpo, y elimina gérmenes, además aumenta la presión hidrostática del cuerpo, por lo que aumenta la circulación sanguínea y la oxigenación. Este aumento en la temperatura ayuda a disolver y eliminar las toxinas del cuerpo.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Las clasificaciones hidroquímica de las aguas termales del Estado de México y las propuestas de posibles usos mineromedicinal proporcionadas en esta tesis se pueden utilizar como base en el aprovechamiento terapéutico de este recurso.

El conocimiento científico de las propiedades mineromedicinales de las diferentes aguas termales en estudio permite que los distintos balnearios impulsen y promocionen su producto, al cual se le puede asignar un valor agregado por los diferentes beneficios que proporciona a la salud pública.

Debido a que las propuestas medicinales establecidas en este trabajo son obtenidas a través de la literatura consultada, se recomienda realizar experimentación controlada para comprobar los resultados y alcances propuestos en cuanto a la efectividad de las aguas termales en la salud y bienestar de las personas, para así tener mayor certeza y fiabilidad de lo presentado en este trabajo.

Las aportaciones básicas de este trabajo de tesis, servirán como apoyo de futuras investigación científica, en el tema de hidrología médica en los balnearios del Estado de México, para lo cual se recomienda que se realicen más trabajos técnicos y de investigación con colaboración de especialistas en medicina general y medicina terapéutica, cuyas aportaciones tengan un mejor manejo y conocimiento de conceptos medicinales y tratamiento de enfermedades.

Finalmente, conociendo las bondades y propiedades mineromedicinales de los distintos balnearios del Estado de México, es importante realizar una mejor gestión de este recurso, por parte de las autoridades y organismos correspondientes, creando un sistema de educación para el cuidado y aprovechamiento de las aguas termales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abalnearios, (2017).** Hidroterapia. Disponible en: <http://www.abalnearios.com/hidroterapia/>. Fecha de consulta 03/05/2017.
- Agua y SIG (2011).** Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidroquímicos. Disponible en: <http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html>. Fecha de consulta: 03/03/2017.
- Aguirre, C.J., y Hernández, N. (2005).** Actualización del Médico de Familia en el tratamiento termal. *Balneoterapia. SEMERGEN*, 31 (11), 528-532.
- Aranda, M., Hernández, U., Ortega, V., Miranda, E., y Mora, G. (2010)** Provincias Geológicas de México. México: Pemex, Exploración y Producción.
- Aramburu, C., Muñoz, E., e Igual, C. (1999).** Electroterapia, Termoterapia e Hidroterapia. Madrid, España: Editorial Síntesis.
- Armijo, M. (2015).** Infraestructura Hidrotermal. 2015, de Instituto Geológico y Minero de España, (IGME). Disponible en: [http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor\\_aguas\\_mine/8\\_aguas.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/8_aguas.pdf).
- Armijo, M. (2016).** Aguas minerales y mineromedicinales: Mecanismos básicos de acción, Disponible en: [http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor\\_aguas\\_mine/8\\_aguas.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/8_aguas.pdf). Fecha de Consulta: 24/11/2016.
- BANA (2014).** Balneology Association of North America. *The Bana Periodical*, vol. 1: 18.
- Bedinger, M. S., Pearson, F. J., y Reed, J. E. (1979).** The Waters of Hot Springs National Park, Arkansas Their Nature and Origin. *Geohydrology of Geothermal Systems*, 1044-C: 37.
- Castillo, A. (2008).** Manantiales de Andalucía. Sevilla, España: Agencia Andaluza del Agua.
- Chávez, R., Lara, F., y Sención, R. (2006).** El agua subterránea en México: condición actual y retos para un manejo sostenible. *Boletín Geológico y Minero*, vol. 117, 115-126.

- Comisión Nacional del Agua. (2012).** Atlas Digital del Agua México. 2016, de CONAGUA  
Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo09.html>
- Comisión Nacional del Agua. (2015).** Disponibilidad del agua subterránea. 2016, de SEMARNAT  
Disponble en:  
<http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=112>
- Custodio, E., y Llamas, M. R. (1983).** Hidrología Subterránea, 2ª Edición. España: Omega.
- Demant, A. (1978).** Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Instituto de geología, UNAM*, vol. 2, núm. 2, 172-187.
- Díaz, C., Esteller, M. y López-Vera, F. (2005).** Recursos Hídricos, Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Toluca, México: Piriguazú Ediciones/CIRA-UAEM.
- Fagundo, J., González, P., Suárez, M. y Sánchez, L. (2000).** Curso de Termalismo, Fundamentos del termalismo con énfasis en la Hidroquímica. Habana, Cuba, Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional, 80 p.
- Fagundo, J., y González, P. (2001).** Aguas naturales, minerales y mineromedicinales. Recuperado 2015, de infoMED Disponible en:  
<http://www.sld.cu/sitios/mednat/docs/aguas.pdf>.
- Fagundo, J. R., Cima, A., y González, P. (2001).** Revisión bibliográfica sobre clasificación de las aguas minerales y mineromedicinales. Habana, Cuba. Centro Nacional de Termalismo “Víctor Santamarina”, 27 p.
- Gallois, R. W. (2007).** The formation of the hot springs at Bath Spa, U.K. *Geol. Mag*, 144: 741-747.
- Gibert, A. (2017).** Termalismo en Argentina. Guía desarrollada por Termasalud.com. Disponible en: [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/termalismo\\_en\\_argentina.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/termalismo_en_argentina.pdf). Fecha de consulta: 07/03/2017.
- Han, D. M., Liang, X., Jin, M. G., Currell, M. J., Song, X. F., y Liu, C. M. (2010).** Evaluation of groundwater hydrochemical characteristics and mixing behavior in the

Daying and Qicun geothermal systems, Xinzhou Basin. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189: 92-104.

**Hernández, A., San Martín, J., y Perea, M. (2006).** Técnicas y tecnologías en Hidrología médica e Hidroterapia. Madrid, España: Instituto de Salud Carlos III.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013).** Conociendo el Estado de México. México: INEGI.

**Pérez, M., y Novoa, B. (2002).** Historia del agua como agente terapéutico. *Fisioterapia*, 24: 3-13.

**Porras, M., López-Guerrero, P., Álvarez, C., y Fernández, A. (1985).** Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

**Maraver F. (2003).** Vademécum de Aguas Mineromedicinales Españolas. Madrid, España. Instituto de Salud Carlos III.

**Maraver, F. (2008).** Importancia de la medicina termal, *Balnea*, 4:35-50.

**Maderey, L., y Jiménez, A. (2012).** Los recursos hidrológicos del Centro de México ante un cambio climático global. *Grupo de Cambio Climático y radiación Solar*, 1, 15.

**Melgosa, F. (2000).** Turismo de Salud: Termalismo y Balnearios. Salamanca, España: Tirant lo Blanch.

**Miltre, L. M., Martínez, J., y Bayona, A. (2013).** Atlas Geológico Ambiental del Estado de México. México: Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México.

**Morán, D. (1984).** Geología de la República Mexicana. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.

**Mourelle, M. (2007).** Aspectos físicos y químicos del termalismo. 2017, de Cámara oficial mineira de Galicia Disponible en: [http://camaraminera.org/uploads/COMG/actividades\\_eventos/formacion/balnearios\\_termalismo07/03\\_mourelle\\_mosqueira.pdf](http://camaraminera.org/uploads/COMG/actividades_eventos/formacion/balnearios_termalismo07/03_mourelle_mosqueira.pdf).

- López, M. (2003).** Los Balnearios como Centros de Salud. *Index de Enfermería*, núm. 47, 26-30.
- López, H. (2013).** Hidrogeoquímica de aguas termales de las zonas de El Pilar y Los Ipures, Estado Sucre, Venezuela. Tesis en opción al grado de Licenciado en Química. Universidad de Oriente. Venezuela.
- López-Geta, J., Fornés, J., Ramos, G. y Villarroya, F. (2009).** Las aguas subterráneas, un recurso natural del subsuelo. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Lugo-Hubp, J. (1990).** El Relieve de la República Mexicana. *Instituto de Geología, UNAM*, vol. 9, núm. 1, 82-111.
- Rodríguez, I. (2002).** Agua. Efectos terapéuticos de las aguas según su composición. *Fisioterapia*, 24: 22-28.
- Rodríguez, L. (2008).** Jornadas técnicas sobre Hidrología Médica. Galicia, España: Ed. Termatalia.
- Romero, H. (1988).** Enciclopedia Mexicana de Turismo, Primera Edición. México, IPN: Ed. Limusa.
- Rosborg, I. (2015).** Drinking Water Minerals and Mineral Balance, 1ª Edición. Switzerland: Springer.
- San José, J. (2008).** Hidrología médica: fundamentos y aplicación práctica. *JANO*, 1.700, 13-19.
- Sánchez, L. (2000).** Hidrogeoquímica del Sistema Hidrotermal "San Diego de los Baños - Bermejales", Pinar del Río, Cuba. Tesis en Opción al Grado de Maestro en Ciencias del Agua. Centro Nacional de Termalismo "Víctor Santamarina". Habana, Cuba.
- Saz, P. y Ortiz, M. (2005).** Hidroterapia, agua y enfermedad. *Farmacia Profesional*. 19(4): 84-88.
- Saz, P., Gálvez, J., Ortiz, M y Saz, S. (2011).** Agua y Salud, Balneoterapia. *Salud Integral*, 30(6): 66-70.

- Secretaria de programación y presupuesto SPP. (1981).** Síntesis Geográfica del Estado de México. México, D.F.: Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- Servicio Geológico Mexicano. (2014).** Panorama Minero del Estado de México. México: Secretaria de Economía.
- Skopljak, F., y Vlahovic, T. (2012).** The origin of mineral waters in Kiseljak near Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. *Environmental Earth Sciences*, 66: 809-822.
- Szczinska, A. M. (2014).** Spatial distribution and hydrochemistry of springs and seepage springs in the Lubuska Upland of western Poland. *Hydrology Research*, 45(3): 379.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2014).** Thermal Spring. 2015, de Encyclopaedia Britannica Disponible en: <http://global.britannica.com/science/hot-spring>.
- Velázquez, E., Herrera, A., y Bustamante, J. (1996).** Monografía Geológico-Minera del Estado de México / Consejo de Recursos Minerales. México: Consejo de Recursos Minerales.
- Velázquez, L., y Ordaz, A. (1989).** Provincias Hidrogeológicas de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 3, 1-19.
- Viñas, F. (1990).** Hidroterapia, la curación por el agua. México: Ed. Integral.
- Virgilio, J., y Zilda, F. (2006).** Hydrogeochemistry of thermal and mineral water springs of the Azores archipelago (Portugal). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 151: 382-398.
- Yarza, E. (2003).** Los volcanes del Sistema Volcánico Transversal. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Núm. 50, 220-234.
- Yupanqui, E. (2006).** Análisis Físicoquímico de Fuentes de Aguas Termominerales del Callejón de Huaylas, Lima, Perú. Tesis para optar el grado de Magister en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú.

# ANEXOS

Anexo 1. Ilustraciones de material y equipo, así como trabajo en campo



**Anexo 1. Ilustraciones de material y equipo, así como trabajo en campo (Continuación).**



## **Anexo 2. Glosario de términos médicos**

**Ácido úrico:** Es un químico que se crea cuando el cuerpo descompone sustancias llamadas purinas. Las purinas se encuentran en algunos alimentos y bebidas.

**Acné:** Es una enfermedad de la piel que afecta las glándulas sebáceas.

**Alteraciones dérmicas:** Son las enfermedades y afecciones dermatológicas que se presentan en la piel.

**Alteraciones hepáticas:** Son las enfermedades que se presentan en el hígado.

**Alteraciones respiratorias:** Son enfermedades que comprometen al pulmón y/o a las vías respiratorias.

**Analgésico:** Dícese del medicamento que suprime o disminuye la sensación dolorosa sin que se provoque una pérdida de la conciencia.

**Anemia:** Disminución de la concentración de hemoglobina o del número de eritrocitos en la sangre por bajo de los límites normales para la edad y sexo del sujeto.

**Antiséptico:** Dícese de los métodos que destruyen los gérmenes patógenos o impiden su desarrollo.

**Ansiedad:** Sensación de peligro sin que exista de una forma real o perceptible. Suele caracterizarse por un estado de agitación y un abanico de manifestaciones neurovegetativas (palpitaciones, temblor, sudoración, etc.).

**Antiflogístico:** Que sirve para calmar la inflamación.

**Artitis:** Inflamación aguda o crónica de una articulación cuyo origen puede ser infeccioso o reumático.

**Bilis:** Secreción amarillo-verdosa, amarga y de consistencia viscosa, producida por las células del hígado. Se acumula en la vesícula biliar y actúa como emulsionante de los ácidos grasos y acilglicéridos.

**Broncodilatador:** Dícese del preparado que facilita la dilatación de los bronquios, es utilizado contra el espasmo bronquial y en las obstrucciones reversibles, como en el asma.

**Cicatrización:** Proceso natural de reparación de una herida mediante la formación de una cicatriz.

**Calculo renal:** Formación de un trozo de material sólido compuesto de sales de fosfato y carbonato cálcico o úricas, dentro del riñón a partir de sustancias que están en la orina.

**Colitis:** Inflamación del colon que puede presentarse de forma aguda o crónica.

**Colesterol:** Es una sustancia cerosa, de tipo grasosa, que existe naturalmente en todas las partes del cuerpo. El cuerpo necesita determinada cantidad de colesterol para funcionar adecuadamente.

**Colecistitis:** Inflamación de la vesícula biliar. Suele estar provocado por un proceso infeccioso o por la presencia de cálculos.

**Colelitiasis:** Formación o presencia de cálculos en la vesícula o en los conductos biliares.

**Condrocálcinosis:** Enfermedad del aparato locomotor que se caracteriza por el depósito de sales de calcio, en concreto pirofosfato cálcico, en el interior del cartílago articular.

**Depresión:** Estado mental en el que dominan los sentimientos de melancolía, tristeza, pesimismo, vacío e inutilidad. También se denomina hipotimia.

**Diaforesis:** Sudoración abundante.

**Digestión:** Proceso por el cual un alimento es transformado, en el aparato digestivo, en una sustancia que el organismo asimila.

**Dolor:** Impresión más o menos difusa y desagradable experimentada sobre un determinado órgano, que se produce al estimularse los algorreceptores.

**Dispepsia:** Digestión difícil debida a trastornos en la secreción o en la motilidad del estómago.

**Diuresis:** Es el proceso de secreción y eliminación de líquido urinario del riñón.

**Enfermedad:** Estado morboso en el que se ha producido alguna alteración o desviación del estado fisiológico de uno o varios órganos.

**Enfermedad Crónica:** Que se padece a lo largo de mucho tiempo.

**Enfermedad Aguda:** aquella que tiene un inicio y un fin claramente definidos y es de corta duración.

**Eritropoyesis:** Conjunto de procesos que llevan a las células de la médula ósea a la formación de los eritrocitos.

**Estreñimiento:** Alteración del intestino que consiste en una excesiva retención de agua en el intestino grueso y el consiguiente endurecimiento de las heces, por lo cual se hace muy difícil su expulsión.

**Estrés:** Estado físico y mental producto de una reacción no específica ante ciertos factores de agresión.

**Espondilitis:** Inflamación de una o varias vértebras de índole agudo o crónico.

**Fístula:** Trayecto patológico congénito o adquirido que comunica de forma anormal dos órganos o tejidos entre sí, o bien un órgano o tejido con el exterior del organismo.

**Fractura:** Rotura de un hueso producida de forma espontánea (generalmente en un hueso debilitado por un proceso patológico) o por un traumatismo.

**Función gástrica:** La función del estómago es transformar el bolo alimenticio.

**Función hepática:** Funciones para el buen funcionamiento del hígado.

**Gastritis:** Inflamación de la mucosa del estómago de carácter crónico o agudo que puede estar provocada por una intoxicación, infección, estrés, un abuso del alcohol o ser secundaria a otras enfermedades.

**Ginecología:** Rama de la medicina que trata las enfermedades propias de la mujer, principalmente las sexuales.

**Gota:** Artritis aguda y recurrente de las articulaciones periféricas causada por una alteración del metabolismo del ácido úrico que provoca depósitos de uratos en articulaciones y tendones.

**Gripe:** Enfermedad respiratoria infecciosa provocada por el virus de la influenza A, B y C.

**Herida:** Lesión que se produce por la aparición de una solución de continuidad en alguno de los tejidos blandos del organismo.

**Hepatopatía:** Cualquier enfermedad que afecte al hígado.

**Hígado:** El hígado es el órgano de mayor tamaño dentro del cuerpo. Ayuda al organismo a digerir los alimentos, almacena energía y elimina toxinas.

**Hipertensión:** Aumento excesivo de la tensión de las paredes de una cavidad o vaso a causa del incremento de la presión interna.

**Hipertensión arterial:** ocurre cuando la sangre se mueve a través de las arterias con una presión mayor que la normal.

**Hiperemia:** Aumento de sangre en un órgano o en una parte de este.

**Hiperglucemia:** Aumento de los niveles de glucosa en sangre por encima de 0,8-1,20 g/l.

**Hiperuricemia:** Presencia de una concentración excesiva de ácido úrico en la sangre y los fenómenos asociados a ello, como la gota\*.

**Hormona:** Molécula de naturaleza proteica, lipídica, etc. segregada por glándulas y transportadas por la sangre hasta los órganos en los que ejerce su acción (activando o inhibiendo su actividad).

**Inflamación:** Conjunto de reacciones inespecíficas con que responde el organismo ante una agresión externa (agente físico, tóxico o microorganismos).

**Lesión:** Daño o alteración morbosa orgánica o funcional de los tejidos, en particular el ocasionado por un trauma. Término usado para explicar cualquier anomalía o daño en el cuerpo.

**Metabolismo:** Conjunto de reacciones químicas y de procesos fisiológicos que se desarrollan en el organismo a fin de proporcionar la energía y las sustancias básicas para formar, nutrir, reparar los tejidos y órganos y para producir sustancias esenciales (hormonas, enzimas y anticuerpos).

**Nerviosismo:** Nombre popular con que se designa al estado en el que aparece tensión interna, irritabilidad, excitabilidad y un humor inestable.

**Osteomusculares:** Son un conjunto de lesiones inflamatorias o degenerativas de los músculos, tendones, articulaciones, ligamentos y nervios.

**Osteoartritis:** Es una artropatía crónica que se caracteriza por la interrupción y la posible pérdida de cartílago de la articulación, junto con otros cambios en las articulaciones, incluyendo la Hipertrofia Ósea (formación de osteofitos).

**Osteoporosis:** Enfermedad que adelgaza y debilita los huesos.

**Osteomielitis:** Inflamación simultánea de la médula ósea y del hueso.

**Páncreas:** El páncreas tiene dos funciones principales, la función exocrina y la función endocrina. Las células exocrinas del páncreas producen enzimas que ayudan a la digestión. Las dos hormonas pancreáticas principales son la insulina y el glucagón.

**Purgante:** Medicamento o alimento que sirve para purgar, o limpiar el aparato digestivo facilitando la evacuación intestinal.

**Relajación:** Disminución de la tensión de un ligamento o un músculo. Estado de conciencia en que el cuerpo se halla completamente relajado, los músculos en reposo y la respiración pausada.

**Reumatismo:** Conjunto de enfermedades que se caracterizan por provocar inflamación, degeneración o alteraciones de los tejidos que forman los músculos y los tendones, produciendo dolor, rigidez y limitación de los movimientos.

**Taquicardia:** Aumento del ritmo de los latidos del corazón.

**Tisular:** Término que se utiliza como un adjetivo, sirve para referirse a todo lo relacionado a los tejidos de un determinado organismo.

**Tos:** Expulsión súbita y ruidosa de aire de los pulmones, generalmente de forma reiterada.

**Traumatismo:** Estado físico o psíquico de un sujeto provocado por la acción violenta de un agente externo que provoca una serie de lesiones hísticas u orgánicas como fracturas óseas, hemorragias, etc. También se denomina trauma.

**Trofismo:** es el estado de nutrición que tiene un tejido.

**Trofismo muscular:** Es el desarrollo, nutrición y mantención de la vida de los tejidos.

**Úlcera:** Pérdida de sustancia de un revestimiento cutáneo o mucoso de un órgano o tejido cuya tendencia a la cicatrización es escasa; las causas que pueden provocar una úlcera son diversas: congelaciones, quemaduras, traumatismos, tumores, alteraciones vasculares, afecciones infecciosas, etc.

**Vesícula biliar:** es un órgano con forma de pera ubicada bajo el hígado. Almacena bilis, un líquido producido por el hígado para digerir las grasas. Cuando el estómago y el intestino digieren los alimentos, la vesícula biliar libera bilis a través de un tubo denominado conducto biliar.

**Vasoconstricción:** Disminución del calibre de los vasos sanguíneos por contracción de la musculatura lisa de sus paredes, especialmente de las arteriolas.

**Vasodilatador:** dilatan o relajan los vasos sanguíneos y, en consecuencia, disminuyen la resistencia. Esto reduce la presión arterial, facilita el flujo de sangre en el organismo y mejora los síntomas.