



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**Pontificia Universidad Católica del Perú**

**Escuela de Graduados**



*Análisis Fisicoquímico de Fuentes de Aguas*

*Termominerales del Callejón de Huaylas*

**Para optar el Grado de Magíster en Química**

**Presentado por**

**Edson Gilmar Yupanqui Torres**

**Lima – Perú**

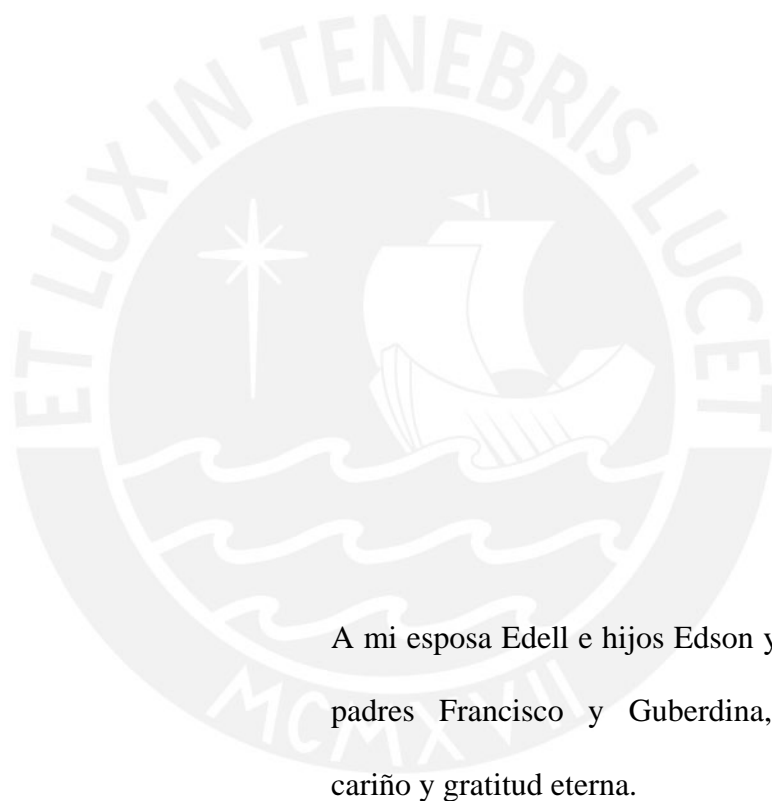
**2006**

## RESUMEN

La Región Ancash es una de las más ricas en aguas termominerales del país, en ella se encuentra el Callejón de Huaylas el cual es surcado por el río Santa y sus afluentes; en sus márgenes existen numerosas fuentes termominerales, entre ellas El Pato (Huaylas), La Merced (Carhuaz), Chancos (Carhuaz) y Monterrey (Huaraz). Estas fuentes fueron seleccionadas para este estudio en base a su caudal de afloración, que es un factor a tener en cuenta para su explotación; para cada fuente se hicieron 45 determinaciones entre propiedades físicas, contenido de metales, no metales y gases libres.

Las propiedades físicas y de agregación medidas fueron color, olor, sabor, depósitos, densidad, temperatura, pH, conductividad, sólidos totales y disueltos, turbidez, alcalinidad, dureza, potencial redox y caudal. Los metales determinados fueron litio, sodio, potasio, plata, magnesio, calcio, cinc, cadmio, manganeso, cobre, plomo, cobalto, hierro, aluminio. Los aniones determinados fueron fluoruro, cloruro, bromuro, yoduro, bicarbonato, nitrato, carbonato, sulfato y fosfato; los no metales al estado molecular fueron silicio como sílice y el boro como ácido metabórico, y como gases libres el dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Se usaron métodos estandarizados, entre ellos los de la APHA, AWWA, WPCF.

Los resultados muestran las propiedades físicas y composiciones químicas de las fuentes estudiadas, así como la variación de las concentraciones de sus componentes con el tiempo al compararse con resultados previos. Los resultados permiten clasificar a las fuentes en base a su temperatura, contenido mineral, presión osmótica y componentes mayoritarios, además permiten orientar sus aplicaciones, resultando ser El Pato hipertermal, medio mineralizada, hipotónica y sódica – clorurada – bicarbonatada – sulfatada – cálcica; La Merced, termal, medio mineralizada, hipotónica y bicarbonatada – sódica – clorurada – cálcica; Chancos hipertermal, mineralizada débil, hipotónica y sódica – clorurada– bicarbonatada y Monterrey, termal, mineralizada débil, hipotónica y clorurada – sódica. De los resultados se deduce que estas aguas no son aptas para la alimentación y agricultura, son aguas medicinales, por tanto se deben fijar estrategias para incentivar el turismo de salud termal en el Callejón de Huaylas.



A mi esposa Edell e hijos Edson y Nadia. A mis  
padres Francisco y Guberdina, con infinito  
cariño y gratitud eterna.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, por las facilidades y el apoyo brindado para la culminación del presente trabajo de investigación.

A la M.Sc. Ana Pastor de Abram asesora de la presente tesis, por su invaluable apoyo y orientación en la cristalización de este trabajo.

A los profesores y personal no docente de la Escuela de Graduados – Sección Química de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por su apoyo en el presente trabajo. A todos mis amigos mi aprecio y agradecimiento.

A mi esposa e hijos por su comprensión, apoyo constante e incondicional.

## INDICE

<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	i
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	iii
<b>ABREVIATURAS</b> .....	iv
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCION</b> .....	2
<b>3. PARTE TEORICA</b> .....	4
3.1 Origen de las aguas .....	4
3.2 Tipos de aguas .....	5
3.3 Clasificación de las aguas termominerales .....	5
3.4 Historia .....	7
3.4.1 Aguas minero medicinales en el Mundo .....	7
3.4.2 Aguas minero medicinales en el Perú .....	7
3.5 Propiedades principales del agua .....	8
3.6 Química de las aguas termominerales .....	9
3.7 Caracterización de las aguas termominerales .....	10
3.8 Métodos de determinaciones analíticas .....	10
3.9 Espectroscopía de absorción y emisión atómica .....	11
3.10 Aplicación de la espectroscopía de absorción atómica al análisis de aguas .....	11
3.11 Expresión y control de los resultados .....	12
<b>4. PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	13
4.1 Equipos y reactivos .....	13
4.1.1 Equipos .....	13
4.1.2 Reactivos .....	13
4.2 Selección de las fuentes termominerales .....	14

4.3 Ubicación de las fuentes termominerales .....	15
4.4 Localización del punto y método de muestreo .....	16
4.5 Frecuencia de muestreo .....	16
4.6 Procedimiento de muestreo .....	17
4.7 Volumen de muestra .....	17
4.8 Envases para muestras y lavado .....	18
4.9 Conservación de muestras .....	18
4.10 Determinaciones <i>in situ</i> .....	18
4.11 Tratamiento estadístico a los resultados .....	18
4.12 Métodos de determinaciones analíticas .....	19
4.13 Descripción de los métodos de análisis .....	22
4.13.1 Propiedades fisicoquímicas .....	22
4.13.2 Constituyentes metálicos .....	24
4.13.3 Constituyentes inorgánicos no metálicos iónicos y no disociados .....	24
4.13.4 Gases libres .....	25
<b>5. RESULTADOS</b> .....	26
5.1 Resúmenes de los resultados de los análisis .....	26
5.2 Clasificación de las aguas termominerales estudiadas .....	29
5.3 Resultados por parámetros .....	30
5.3.1 Resultados de las propiedades fisicoquímicas .....	30
5.3.2 Resultados de los constituyentes metálicos .....	38
5.3.3 Resultados de los constituyentes no metálicos disociados .....	45
5.3.4 Resultados de los constituyentes no metálicos no disociados ....	49
5.3.5 Resultados de los gases libres .....	50
<b>6. DISCUSIONES</b> .....	51
6.1 Discusión de los resultados de las propiedades fisicoquímicas .....	51
6.2 Discusión de los resultados de los constituyentes metálicos .....	55
6.3 Discusión de los resultados de los constituyentes inorgánicos no metálicos .....	58



<b>7. CONCLUSIONES</b>	.....	63
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	.....	65
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	.....	66

**ANEXOS**
**Anexo I - Tablas y figuras de soluciones patrones, absorbancias y curvas patrones**

I.1 Color	.....	71
I.2 Turbidez	.....	72
I.3 Litio	.....	73
I.4 Sodio	.....	74
I.5 Potasio	.....	75
I.6 Plata	.....	76
I.7 Cinc	.....	77
I.8 Cadmio	.....	78
I.9 Manganeseo	.....	79
I.10 Cobre	.....	80
I.11 Plomo	.....	81
I.12 Cobalto	.....	82
I.13 Hierro	.....	83
I.14 Aluminio	.....	84
I.15 Fluoruro	.....	85
I.16 Bromuro	.....	86
I.17 Yoduro	.....	87
I.18 Nitrato	.....	89
I.19 Fosfato	.....	90
I.20 Silicio	.....	91
I.21 Boro	.....	92

## **Anexo II – Normas para aguas destinadas a la alimentación humana y límites de detección**

II.1 OMS : Normas internacionales aplicables al agua de bebida ...	94
II.2 Normas Europeas aplicables al agua potable (OMS) .....	95
II.3 Francia : Normas francesas de calidad del agua potable .....	96
II.4 Estados Unidos: Nacional interim primary drinking water regulation, EPA .....	97
II.5 Canadá : Normas físicas propuestas relativas a las aguas Tratadas .....	98
II.6 INDECOPI – NTP – ITINTEC 214.024 : Aguas minerales de bebida .....	99
II.7 Límites de detección .....	100

## **Anexo III – Resultados de análisis de las fuentes termominerales según Zapata, (16) y formato de informe para aguas minerales**

III.1 Fuente termomineral El Pato .....	103
III.2 Fuente termomineral Chancos .....	104
III.3 Fuente termomineral Monterrey .....	105
III.4 Formato de informe para aguas minerales .....	106

## **Anexo IV – Mapas de ubicación**

IV.1 Ubicación del departamento de Ancash en el Perú .....	109
IV.2 Ubicación de las fuentes termominerales en el departamento de Ancash .....	110

## Anexo V – Fotografías de las fuentes termominerales y otros

V.1 Fotografías de la fuente termomineral El Pato .....	112
V.2 Fotografías de la fuente termomineral La Merced .....	113
V.3 Fotografías de la fuente termomineral Chancos .....	114
V.4 Fotografías de la fuente termomineral Monterrey .....	116
V.5 Fotografías del trabajo en el laboratorio .....	117



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación de las fuentes estudiadas en el departamento de Ancash	16
2. Equipo para el arrastre de H <sub>2</sub> S	25
3. Valores de color	30
4. Valores de densidad	31
5. Valores de temperatura	32
6. Valores de pH	32
7. Valores de conductividad iónica	33
8. Valores de ST secados a 103-105 °C	33
9. Valores de STD secados a 180 °C	34
10. Valores de turbidez	34
11. Valores de la alcalinidad al anaranjado de metilo	35
12. Valores de dureza total	35
13. Valores de dureza cálcica	36
14. Valores de la dureza magnésica	36
15. Valores del potencial redox	37
16. Valores del caudal promedio	37
17. Contenido de litio	38
18. Contenido de sodio	38
19. Contenido de potasio	39
20. Contenido de plata	39
21. Contenido de magnesio	40
22. Contenido de calcio	40
23. Contenido de cinc	41
24. Contenido de cadmio	41
25. Contenido de manganeso	42
26. Contenido de cobre	42
27. Contenido de plomo	43

28.	Contenido de cobalto	43
29.	Contenido de hierro	44
30.	Contenido de aluminio	44
31.	Contenido de fluoruro	45
32.	Contenido de cloruro	45
33.	Contenido de bromuro	46
34.	Contenido de yoduro	46
35.	Contenido de bicarbonato	47
36.	Contenido de nitrato	47
37.	Contenido de sulfato	48
38.	Contenido de fosfato	49
39.	Contenido de silicio como $\text{SiO}_2$	49
40.	Contenido de boro como $\text{HBO}_2$	50
41.	Contenido de $\text{CO}_2$ libre	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Características de diversos tipos de aguas	5
2	Clasificación y características de las aguas termominerales	6
3	Propiedades, constituyentes y parámetros de aguas termominerales	10
4	Principales fuentes termominerales del Callejón de Huaylas	15
5	Fechas, hora de muestreo y temperatura ambiental	17
6	Volumen de muestra	17
7	Métodos de análisis de las propiedades físicoquímicas	19
8	Métodos de análisis de los constituyentes metálicos	20
9	Métodos de análisis de los constituyentes inorgánicos no metálicos	21
10	Métodos de análisis de los compuestos no disociados	21
11	Métodos de análisis de los gases libres	21
12	Propiedades físicoquímicas de las fuentes estudiadas	26
13	Constituyentes metálicos en las fuentes estudiadas	27
14	Constituyentes no metálicos en las fuentes estudiadas	28
15	Gases libres en las fuentes estudiadas	28
16	Clasificación de las fuentes termominerales estudiadas	29
17	Apreciación del sabor en las fuentes termominerales	31
18	Color de los depósitos en las fuentes termominerales	31

## ABREVIATURAS

AAM	Alcalinidad al anaranjado de metilo
AF	Alcalinidad a la fenolftaleína
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
bs-MBT	Bosque seco-montano bajo tropical
DRIT-Huaraz	Dirección Regional de Industria y Turismo-Huaraz
DCa	Dureza cálcica
DMg	Dureza magnésica
DT	Dureza total
EPA-USA	Environmental Protection Agency-USA
EAA	Espectroscopía de absorción atómica
EEF	Espectroscopía de emisión de flama
$F_{cc}$	Factor de concentración
$F_{dil}$	Factor de dilución
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
md-MBT	Matorral desértico-montano bajo tropical
NTP	Norma Técnica Peruana
OMS	Organización Mundial de la Salud
rH	Potencial redox
SFADNS	Reactivo para identificar fluoruro por colorimetría
STD	Sólidos totales disueltos
ST	Sólidos totales
UC	Unidad de color
UNASAM	Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”
UT	Unidad de turbidez
WPCF	Water Pollution Control Federation





## 1. OBJETIVOS

### 1.1. Objetivo general

Determinar las características fisicoquímicas de las fuentes de aguas termominerales más importantes del Callejón de Huaylas.

### 1.2. Objetivos específicos

- 1.2.1. Evaluar las propiedades físicas y composiciones químicas de las fuentes termominerales seleccionadas y compararlas con resultados anteriores, para conocer si hubo o no variaciones en las propiedades mencionadas.
- 1.2.2. Clasificar las fuentes termominerales seleccionadas en el presente trabajo en función de su temperatura, contenido mineral, presión osmótica y componentes mayoritarios.
- 1.2.3. Incentivar el turismo de salud termal en el Callejón de Huaylas.

## 2. INTRODUCCIÓN

La propia naturaleza es depositaria de un patrimonio curativo inconmensurable que en gran parte se desconoce y, lo que es peor, apenas preocupa su conocimiento. Las aguas termominerales son remedios estrictamente naturales con eficacia y virtudes curativas acreditadas a lo largo de siglos (1).

Por su situación geográfica y pasado geológico, el Perú es un país rico en aguas minerales (2,3). Desde la antigüedad su aplicación terapéutica es limitada y se basa en el empirismo por parte de los usuarios. El Perú cuenta con un reglamento de aguas minero medicinales para fines turísticos (4), el cual aparentemente no se cumple a cabalidad, trayendo como consecuencia deficiencias en la explotación o simplemente el abandono de este recurso natural.

La Región Ancash es una de las más ricas en fuentes minerales, en ella se encuentra el Callejón de Huaylas, entre las Cordilleras Blanca y Negra, por donde recorre el río Santa y afluentes. En ambas márgenes afloran manantiales de aguas minerales y termominerales, siendo la mayoría de ellas poco conocidas. Este es el ámbito de estudio del presente trabajo (2,5).

La hidrología médica llamada balneología o crenología es una rama de la medicina que investiga el uso y la aplicación de las aguas minero medicinales para la prevención y tratamiento de estados patológicos en el ser humano, desde los siguientes puntos de vista: de su origen y nacimiento, de su situación geográfica, de su composición, de sus efectos sobre los seres vivos, de sus aplicaciones clínicas y de su misión en la sociedad (5). Actualmente se tiene información sobre el origen y situación geográfica de las fuentes termominerales más conocidas del país, faltando conocer su composición actualizada, sus efectos en el ser humano y sugerir sus probables aplicaciones. Por tanto, el objetivo del presente trabajo es

la determinación de las propiedades físicas y composición química de las fuentes mencionadas, empleando métodos reconocidos de aguas potables y residuales, (6 - 8). Conociendo las propiedades físicas y composiciones químicas de estas aguas, se procederá a clasificarlas, luego a compararlas con resultados anteriores para determinar la variabilidad o constancia de sus componentes y sugerir probables aplicaciones de estas fuentes y finalmente coadyuvar al turismo, no solo recreativo sino también de salud termal aprovechando las bondades climáticas y paisajísticas del Callejón de Huaylas.



### 3. PARTE TEÓRICA

#### 3.1 Origen de las aguas

La cantidad estimada de agua en sus diferentes formas que existen en la Tierra, se distribuye en 96,5 % en los océanos, 1,7 % en los hielos polares, 1,7 % en depósitos subterráneos y 0,1 % en los sistemas de agua superficial y en la atmósfera. Al evaporarse el agua y luego precipitarse en forma de lluvia, nieve o granizo, un 79 % cae sobre el mar u otros sectores acuosos estableciendo un ciclo sencillo y un 21 % cae sobre tierra firme. De esta precipitación terrestre, la evaporación inmediata o en la fase de transporte consume un 61 % de la precipitación, luego la escorrentía hasta un curso fluvial que la lleve a un lago o al mar consume un 37 % y un 2% penetra al interior de la Tierra hasta encontrar una zona compacta o un estrato impermeable acumulándose en las partes más bajas constituyendo los depósitos subterráneos (9). Cuando los depósitos se cortan espontánea o artificialmente, permiten la salida del agua al exterior, constituyendo los manantiales o fuentes. A esto se denomina ciclo directo del agua y estas se llaman aguas freáticas. Otras aguas penetran más profundamente en la tierra a través de fisuras, constituyendo las aguas artesianas.

Las aguas filonianas resultan del ciclo indirecto del agua, aquí el agua oceánica o de los grandes lagos, se infiltra bajo presión en la tierra a profundidades considerables, se calienta por la alta temperatura de la tierra, (en Sudamérica el grado geotérmico de la Tierra es de 1° centígrado cada 33 metros de profundidad), luego se mezcla eventualmente con los gases sulfhídrico y dióxido de carbono y asciende por las grietas a la superficie. Estas aguas mayormente se mineralizan en su recorrido bajo la superficie del suelo y son generalmente de temperaturas elevadas.

Todas estas aguas se denominan vadosas, mientras que las aguas juveniles o vírgenes son de origen volcánico por nacer en los núcleos volcánicos de la tierra. Estas aguas son parecidas a las filonianas, surgen por fallas o grietas hacia la superficie de la tierra y constituyen las aguas termales e hipertermales (1,5,10).

### 3.2 Tipos de aguas

En la tabla 1 se enlistan los diferentes tipos de aguas y sus características.

Tabla 1. Características de diversos tipos de aguas

Nombre	Características
Naturales	Proviene de manantiales, ríos, lagos y lagunas, por su composición salina y pureza bacteriana son aptas para el consumo humano.
Termales	Afloran a temperaturas mayores que el promedio anual de la temperatura del ambiente.
Minerales	Con contenido mineral superior de 1 g/L, es común la presencia de los cationes: $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ y $\text{K}^+$ y los aniones: $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ y $\text{HCO}_3^-$ .
Minerales gaseosas	Contienen $\text{CO}_2$ en concentraciones adecuadas y pureza, que la hacen apta para el consumo humano.
Minero medicinales	Son aguas minerales con altos contenidos de iones comunes y pocos comunes, entre los últimos se tienen al $\text{Li}^+$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ , $\text{F}^-$ , son utilizadas en baños, bebidas, inhalaciones y aspersiones con fines terapéuticos.
Termominerales	Son aguas minerales y termales con aplicaciones terapéuticas.

Referencia (2).

### 3.3 Clasificación de las aguas termominerales

En base a sus diferentes características y aplicaciones la clasificación de estas aguas se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación y características de las aguas termominerales

Clasificación según	Características y usos		
Origen <sup>a</sup>	Superficiales y profundas o magmáticas.		
Temperatura <sup>b</sup>	Mesotermiales o tibias de 21 a 30 °C		
	Termales o calientes de 31 a 50 °C		
	Hipertermiales o muy calientes mayores de 50 °C.		
Presión osmótica <sup>c,a</sup>	Hipotónicas, osmolalidad < 0, '55 <sup>(*)</sup> ; o < 320 mmol Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup>		
	Isotónicas, osmolalidad = 0, '55; o 320 a 330 mmol Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup>		
	Hipertónicas, osmolalidad > 0, '55; o > 330 mmol Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup> <sup>(**)</sup>		
Sólidos solubles a 180 °C <sup>a</sup>	Oligomineralizadas, residuo inferior a 0,2 g/L		
	Medio mineralizadas, residuo entre 0,2 y 1 g/L		
	Mineralizadas, residuo superior a 1 g/L:		
	- Mineralizada débil : residuo entre 1 a 10 g/L - Mineralizada media : residuo entre 10 a 50 g/L - Mineralizada fuerte : residuo mayor a 50 g/L		
Emisiones <sup>c</sup>	Carbónicas, con altos contenidos de CO <sub>2</sub> .		
	Sulfuradas, con contenido mayor a 1 mg/L de H <sub>2</sub> S		
	Radioactivas, con radioemisiones mayores a 50 UM/L <sup>(***)</sup>		
Propiedades terapéuticas <sup>c</sup>	Diuréticas	Disolventes	
	Depurativas	Estimulantes	
	Reconstituyentes	Laxantes	
	Sedantes		
Usos <sup>c</sup>	Bebidas	Inhalaciones	
	Baños	Otras formas mixtas	
	Irrigaciones		
Elemento calificante con valor terapéutico <sup>c</sup>	Ferruginosas	Sulfatadas	Litinadas
	Arsenicales	Fluoruradas	Bromuradas
	Bicarbonatadas	Yodadas	Potásicas
	Alumínicas	Aciduladas	
Iones predominantes mayor al 20% de eq. <sup>d</sup>	Bicarbonatadas-Sódicas	Cálcicas-Bicarbonatadas-sulfatadas	
	Bicarbonatadas-Cálcicas	Sódicas-Cálcicas-Bicarbonatadas	
	Cloruradas-Sódicas	Cloruradas-Sódicas-Sulfatadas	

<sup>(\*)</sup> Adoptando como valor medio el suero sanguíneo (0, '55); <sup>(\*\*)</sup> mmol/L = milimol/L, p.57 (5)  
<sup>a</sup> = Compendio de hidrología médica por Armijo, p. 122 (1); <sup>(\*\*\*)</sup> UM/L = Unidades Maclé/L  
<sup>b</sup> = Reglamento de aguas minero medicinales para fines turísticos (4,11)  
<sup>c</sup> = Panorama hidrotermal del Perú por Loayza, p. 16 (2)  
<sup>d</sup> = Aguas minerales del Perú, Ira. Parte por Zapata, p. 41 (10).

### 3.4 Historia

#### 3.4.1 Aguas minero medicinales en el mundo

Las aguas minero medicinales se remontan a la formación de la Tierra. Se tiene conocimiento del uso medicinal de estas aguas por los antiguos pueblos europeos como los celtas, íberos, germanos y galos. Los griegos y romanos fueron los que utilizaron las fuentes termales con mayor arraigo, destacándose Hipócrates y Galeno, este último determinó los principios básicos de la crenoterapia (12).

La hidrología médica alcanza un enorme prestigio en los siglos XVIII y XIX, donde se desarrollaron técnicas hidroterápicas que se siguen utilizando en la actualidad, destacan los investigadores Wright, Priessnitz, Winternitz y el Párroco Sebastián Kneipp. Este último aplicó extensamente la hidroterapia y llegó a crear un verdadero método de cura. La evolución de la hidrología médica ha sido paralela a la medicina en general. En la actualidad se estudia no sólo el origen y composición de las aguas minero medicinales, sino también sus acciones sobre órganos y funciones en tejidos aislados, en organismos sanos y enfermos, tratándose de determinar lo más exactamente posible sus indicaciones, contraindicaciones y mecanismos de acción (1 y 13-16).

#### 3.4.2 Aguas minero medicinales en el Perú

El uso de las aguas minero medicinales se conocía desde las épocas pre-inca e incaica. Los pobladores conocían de sus bondades medicinales, por ello, los incas construían tambos en lugares próximos a las fuentes termales, las que aprovechaban en sus viajes como un tratamiento termal con fines medicinales e higiénicos. Como evidencias tenemos los famosos Baños del Inca en Cajamarca, el baño de Tambo Machay y el baño del inca en la ciudadela de Macchu Picchu en Cusco, entre otros.

En 1796 el sabio alemán Teodoro Haenke realizó los primeros estudios sobre las termas de Yura, Jesús y Socosani en el Departamento de Arequipa. En 1827 Rivero de Ustariz determinó los usos de estas aguas con fines curativos. En 1882

el sabio italiano Antonio Raymondi, publicó estudios sobre las aguas minerales del Perú, para cuyo fin recorrió casi todo el territorio nacional. Entre los años de 1900 a 1943 es destacable los trabajos en estas aguas de los doctores Edmundo Escomel, Ramón Cárcamo y Luis Angel Maldonado. En 1950 el gobierno contrató los servicios del Dr. Ladislao J. Prazak, médico crenólogo y estudió el problema del termalismo en el Perú (5).

En los años de 1971 a 1973 el Ing. Rómulo Zapata Valle publica dos obras tituladas Aguas Minerales del Perú, primera y segunda parte, en donde se encuentran los resultados de los análisis de las aguas minerales del país, clasificándolas en 24 grupos en función a sus iones predominantes (10 y 17). En 1975 Francisco Loayza Peralta hace un breve análisis de la situación crenológica del país y un inventario de los recursos minero medicinales en su publicación Panorama Hidrotermal del Perú. En 1994 se realizó en el país el Congreso Internacional de Termalismo y Climatismo-FITEC 94, en dicho evento se concluye que el termalismo en el país no se explota ordenada y científicamente.

### **3.5 Propiedades principales del agua**

El agua pura es incolora, inodora, insípida y transparente, es la sustancia más abundante y ampliamente distribuida sobre la superficie de la Tierra. Tiene peculiares características, por ejemplo, al solidificarse aumenta su volumen, alcanza densidad máxima a 4 °C, su calor específico es mínimo a 35 °C, su calor de vaporización y conductividad calórica es elevada; estos factores intervienen en la regulación térmica de los seres vivos.

El carácter dipolar de la molécula de agua permite asociaciones de moléculas entre sí mediante enlaces de hidrógeno, unión a otras moléculas polares (hidratación), acción ionizante y la posibilidad de inducir dipolos en moléculas no polares, el agua en presencia de ciertas sales se hidroliza, su mineralización depende de la naturaleza del terreno que recorre. La eficacia terapéutica de un agua mineral está relacionada con su peculiar estructura, sus propiedades físicas y componentes mineralizantes (1,18 y 19).



### 3.6 Química de las aguas termominerales

Las aguas termominerales llamadas minero medicinales, son las mejores para un tratamiento medicinal, desde el punto de vista médico se distinguen de otras aguas por sus acciones fisiológicas, como por sus propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas. Por esta razón, la evaluación química es la base para la clasificación de estas aguas, reconociendo a los iones predominantes en su composición e iones que tienen un marcado valor terapéutico.

Las características vigentes de las aguas minero medicinales, se fijaron en el Congreso Internacional de Crenología Médica en Nauheim, Alemania (1912): “Agua minero medicinal corresponde a las aguas que contienen más de 1 g de materias fijas disueltas en 1000 g de agua, además de un contenido de gas carbónico y de ciertas materias raras encontradas en ella. Finalmente, estas aguas deben tener una temperatura permanentemente mayor que el promedio anual de la temperatura del lugar de la fuente” (5).

Según el contenido mineral y en base a la definición mencionada, estas aguas medicinales se dividen en dos grupos :

- Aguas medicinales mineralizadas, contienen 1 g o más de materias fijas disueltas por litro.
- Aguas medicinales oligomineralizadas o aguas medicinales mineralizadas simples, que contienen menos de 1 g de materias fijas disueltas y que se distinguen por su contenido de componentes raros farmacodinámicamente eficaces o por su temperatura elevada.

La tendencia actual de clasificación de estas aguas, consiste en considerar sólo a los componentes mayoritarios, expresados en porcentajes de miliequivalentes iónicos mayores a un 20 % (1, 5), lo cual es más apropiado y puede proporcionar datos de gran valor para deducir consecuencias farmacodinámicas y terapéuticas.

Desde el punto de vista crenológico es importante clasificar las aguas medicinales en función de su presión osmótica. Esta determinación se realiza en comparación con la de una solución fisiológica (plasma sanguíneo), que es isotónica y contiene

en 1000 g de agua 9,5 g de NaCl. Teniendo en cuenta la ionización total de esta sal y que la suma de milimoles de sus iones es 325 milimoles, podemos usar este valor como límite entre las aguas hipotónicas e hipertónicas (5):

Hipotónicas menor a 320 milimoles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$

Isotónicas de 320 a 330 milimoles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$

Hipertónicas mayor a 330 milimoles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$

Entonces, para saber si un agua es hipotónica, isotónica o hipertónica, se deben sumar las milimoles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  determinadas en cada fuente termomineral.

### 3.7 Caracterización de las aguas termominerales

La tabla 3 muestra las características de las aguas termominerales estudiadas.

Tabla 3. Propiedades, constituyentes y parámetros de aguas termominerales

Propiedades y constituyentes	Parámetros a evaluar
Físicas y de agregación	Color, olor, sabor, depósito, densidad, temperatura, pH, conductividad iónica, sólidos totales secados a 103-105 °C, sólidos totales disueltos a 180 °C, turbidez, alcalinidad a la fenoltaleína y al anaranjado de metilo, dureza total, cálcica y magnésica, potencial redox y caudal.
Metálicos	Litio, sodio, potasio, plata, magnesio, calcio, cinc, cadmio, manganeso, cobre, plomo, cobalto, hierro y aluminio.
Inorgánicos no metálicos	Fluoruro, cloruro, bromuro, yoduro, bicarbonato, nitrato, carbonato, sulfato y fosfato.
Compuestos no disociados	Silicio como $\text{SiO}_2$ y boro como $\text{HBO}_2$ .
Gases libres	Dióxido de carbono libre, sulfuro de hidrógeno libre.

Referencia (1,20 y 22)

### 3.8 Métodos de determinaciones analíticas

Los métodos analíticos empleados fueron gravimétrico, volumétrico e instrumental, principalmente la espectroscopía visible, de emisión y de absorción atómica (23 a 31), en los rangos permitidos por la Ley de Lambert-Beer.

### 3.9 Espectroscopía de absorción y emisión atómica

Al vaporizar las muestras a muy altas temperaturas es posible evaluar las concentraciones de los átomos seleccionados midiendo la absorción o la emisión a longitudes de onda características. La espectroscopía atómica comprende la absorción, emisión y fluorescencia de radiación electromagnética por átomos o iones elementales en medio gaseoso. Del proceso de atomización, por el cual la muestra se convierte en un vapor depende la precisión y exactitud de los métodos atómicos. La relación existente entre la concentración del analito y la señal medida es diferente para los métodos mencionados.

La espectroscopía de emisión de flama (EEF) es un método de emisión, por lo tanto, la intensidad de la radiación emitida es directamente proporcional a la concentración, mientras que en la espectroscopía de absorción atómica (EAA) se mide la absorbancia y la concentración del analito, la cual está relacionada con la señal por medio de la ley de Lambert – Beer (25 a 31).

### 3.10 Aplicación de la espectroscopía de absorción atómica al análisis de aguas

Esta técnica se ha desarrollado ampliamente en los últimos años, las magníficas posibilidades del método y en particular, su rapidez lo han hecho adaptable para la determinación de un cierto número de elementos (metales y metaloides) encontrados en las aguas.

Los elementos presentes en el agua pueden clasificarse en:

- Elementos predominantes, tales como calcio, magnesio, sodio y potasio, que se encuentran en concentraciones muy superiores a los límites de detección del método de absorción atómica.
- Elementos en estado de trazas, tales como cinc, cobre, hierro, manganeso, aluminio, plata, cobalto, litio y otros, que están presentes en cantidades inferiores a los límites usuales de detección del método de absorción atómica. De ser necesario la concentración de las muestras para alcanzar sus límites de detección se procede a la extracción con disolventes o concentración por evaporación.

### 3.11 Expresión y control de los resultados

Los compuestos ionizables se expresan como cationes y aniones, mientras que los compuestos moleculares y gases libres, como moléculas. Los resultados se expresan en mg/L,  $\mu\text{g/L}$ , mmol/L, meq-g/L y % meq-g (anexo III.4).

Para controlar los resultados se utilizó el método del balance iónico. En teoría, la suma de los aniones en una muestra de agua, expresada en miliequivalentes por litro, debe ser exactamente igual a la suma de los cationes expresada de la misma forma, en la práctica, casi siempre existe una diferencia entre esos valores. Se considera un balance iónico correcto, si la diferencia entre aniones y cationes en una muestra de agua, es inferior al 2% (10 y 24).



## 4. PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1 Equipos y reactivos

#### 4.1.1 Equipos

Los equipos utilizados fueron calibrados de acuerdo a sus respectivos manuales.

##### A. Equipos del laboratorio de la UNASAM

- Estufa eléctrica, Memmert máx. 220 °C con cronómetro incorporado.
- Conductímetro, Hanna Instrumentos.
- Termostato electrónico, Biotrón, hasta 80 °C.
- Horno mufla, Thermolyne, serie 30400 furnace hasta 1100 °C.
- pH metro Hanna Instrumentos, H18424.
- Centrífuga, Selecta, hasta 6000 rpm.
- Agitador magnético, Hytrel HTR 8068, 1500 rpm.
- Espectrofotómetro UV-V, Spectronic 20D series - Milton Roy.

##### B. Equipos del laboratorio de la PUCP

- Multímetro lectura en V fluxe 75, serie II.
- Fotómetro de llama, Hitachi, Perkin Elmer 139.
- Espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin - Elmer 3110.

#### 4.1.2 Reactivos

El agua destilada y los reactivos químicos utilizados, se basaron en las recomendaciones de la APHA. Para aguas: 1080 A, B y C y reactivos: 1070 C.

- Solución de cloroplatinato potásico (Merck).
- Solución patrón de turbidez (1 g/L de caolín seco de malla 200 a 250), (Fisher Scientific Company).
- Soluciones patrones de metales de aluminio, cadmio, calcio, cobalto, cobre, hierro, litio, magnesio, manganeso, plata, plomo, potasio, sodio, cinc (Merck).

- Soluciones patrones de constituyentes inorgánicos no metálicos de boro, bromuro, fluoruro, yoduro, nitrato, fosfato, sílice (Merck).
- Reactivo de carmín para boro (Merck).
- Solución rojo de fenol para bromuro (Riedel de Haen).
- Solución estándar de nitrato de plata 0,017 M para cloruro (Merck)
- Reactivo zirconil ácido – sfadns para fluoruro (J.T Beaker).
- Soluciones de ácido arsenioso, sulfato ferroso amónico y tiocianato de potasio para yoduro (Merck).
- Solución de salicilato sódico para nitrato (Merck).
- Reactivo combinado de ácido sulfúrico, tartrato antimonílico potásico, molibdato amónico y ácido ascórbico para fosfato (Merck).
- Reactivo molibdato amónico para sílice (Merck).
- Solución estándar de yodo de 0,0213 N y de tiosulfato sódico 0,0255 N para sulfuro de hidrógeno libre (Merck).
- Solución de cloruro de bario para sulfatos (Merck).

Según la APHA, 1080 A, B y C, el agua para análisis no debe contener sustancias que interfieran con los métodos analíticos. La calidad del agua está directamente relacionada con el análisis que vaya a efectuarse, además trata de los métodos de preparación de agua de calidad para reactivos.

Según la APHA, 1070 C, se utilizarán reactivos de la mejor calidad química, aunque ello no se indique cuando se describe un método determinado, se recomienda reactivos grado ACS, además, la norma trata de los cuidados con los reactivos, preparación de soluciones y diluciones.

#### 4.2 Selección de las fuentes termominerales

Se seleccionaron en función de su caudal emergente utilizando el método del recipiente y son: El Pato, La Merced, Chancos y Monterrey. De ellas, actualmente están en explotación Monterrey y Chancos, y se encuentran abandonadas El Pato y La Merced.

El empleo de este recurso natural en la población del lugar y de los turistas son con fines de recreación y medicinales.

### 4.3 Ubicación de las fuentes termominerales

La ubicación de las fuentes se muestra en la tabla 4 y figura 1. La presentación de estas fuentes es en orden ascendente de altitud y de norte a sur dentro del Callejón de Huaylas (anexos IV y V).

Tabla 4. Principales fuentes termominerales del Callejón de Huaylas.

		El Pato	La Merced	Chancos	Monterrey
Ubicación	Departamento	Ancash	Ancash	Ancash	Ancash
	Provincia	Huaylas	Carhuaz	Carhuaz	Huaraz
	Distrito	Huallanca	Hualcán	Marcará	Independencia
	Lugar	Hacienda El Pato	La Merced	Chancos	Monterrey
Datos geográficos	Altitud (msnm)	1 377	2 638	2 726	3 080
	Latitud Sur	8°49'0"	9°16'45"	9°19'12"	9°30'51"
	Longitud Oeste	77°51'12"	77°38'36"	77°36'9"	77°31'41"
	Zona de vida	md-MBT, per árido	bs-MBT, árido	bs-MBT, árido	bs-MBT, árido
Datos climáticos	Temp. mín. (°C)	18	5	4	5
	Temp. máx. (°C)	24	24,5	20	21
	Temp. prom. (°C)	21,5	20	19,5	16,2
	Precip. pluvial prom. (mm)	125	300	300	773,7
	Humedad rel. (%)	nd	60,9-69,9	60,9-69,9	75

Fuente: Inventario del patrimonio turístico de la Región Ancash, 1998- DRIT.

El mapa ecológico en el Perú presenta una distribución geográfica de 84 zonas de vida (de las 103 a nivel del planeta) y 17 formaciones transicionales, esto ha permitido reconocer y demarcar 3 franjas latitudinales: región latitudinal tropical (35 zonas de vida y 14 transicionales), región latitudinal subtropical (38 zonas de vida y 3 transicionales) y región latitudinal templada cálida (11 zonas de vida), donde cada región latitudinal cuenta con un diagrama bioclimático.

Zona de vida es la descripción de las características geográficas, climáticas, suelos, vegetación y usos de la tierra. Las fuentes citadas se encuentran en:

(md-MBT) per árido: matorral desértico, montano bajo tropical per árido y

(bs-MBT) árido: bosque seco, montano bajo tropical árido, donde:

md y bs = zona de vida, MB = piso altitudinal, T = región latitudinal y

per árido o árido = provincia de humedad (32 a 34).

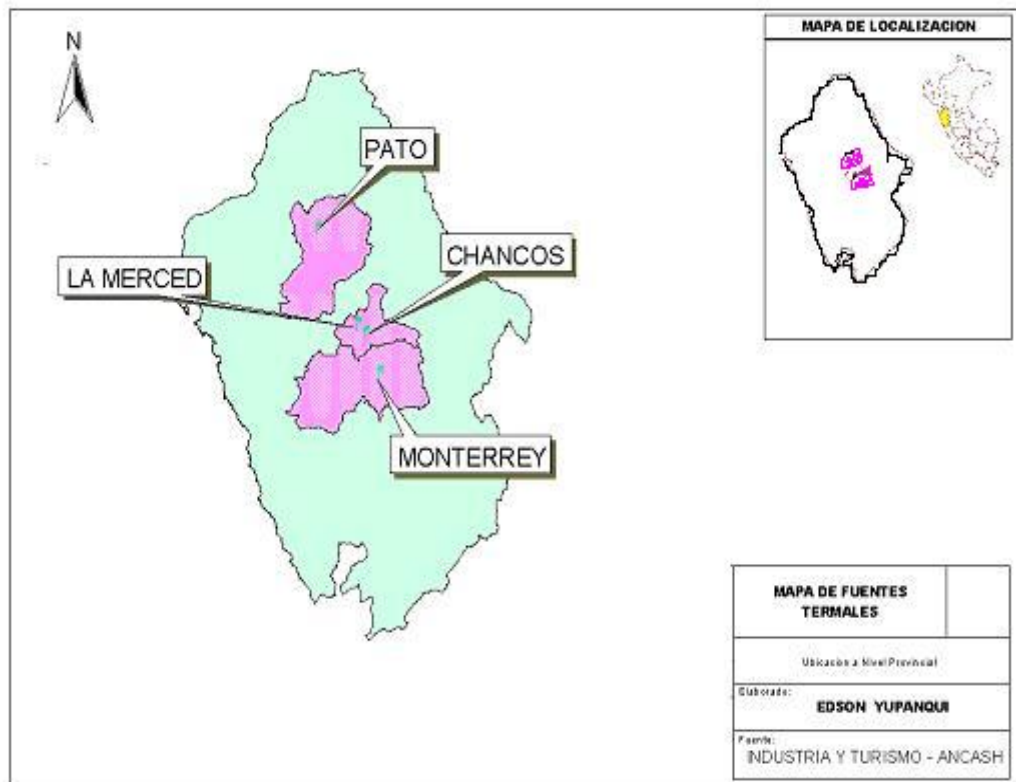


Figura 1. Ubicación de las fuentes estudiadas en el departamento de Ancash

#### 4.4 Localización del punto y método de muestreo.

La localización de la toma de muestra se restringe al mismo manantial. En Chancos la muestra se tomó de los tres manantiales que se encuentran juntos y son los que alimentan a los cuartos de baños. Debido a la homogeneidad de este tipo de muestras, es fácil obtener muestras representativas y confiables. El método de muestreo empleado fue manual.

#### 4.5 Frecuencia de muestreo

La variabilidad de las aguas subterráneas es menor que la de ríos o lagos, el ritmo de cambio de estas aguas es relativamente lento (24). Según el artículo 13° del reglamento de aguas minero medicinales (4), los concesionarios que explotan este recurso cada tres años deben presentar a las autoridades competentes el análisis actualizado de la fuente que explotan. El muestreo para el presente trabajo se realizó una vez al año, durante tres años consecutivos, en estaciones de invierno y verano, según se indica en la tabla 5.



Tabla 5. Fecha, hora de muestreo y temperatura ambiental

Fuente	Muestreo	Fecha	Hora	Temp. Amb.(°C)
El Pato	1er	28-03-97	12:00	23
	2do	30-07-98	11:00	24
	3er	21-10-99	11:30	24
La Merced	1er	28-03-97	09:30	16
	2do	30-07-98	16:00	21
	3er	21-10-99	14:00	20
Chancos	1er	28-03-97	07:30	15
	2do	30-07-98	18:00	18
	3er	21-10-99	16:00	19
Monterrey	1er	27-03-97	13:00	19
	2do	29-07-98	14:00	21
	3er	20-10-99	11:00	18

#### 4.6 Procedimiento de muestreo

Las muestras para los análisis fueron tomadas a un nivel intermedio de profundidad y en el mismo punto emergente, tapándolas inmediatamente para evitar en lo posible el contacto con el aire para reducir pérdidas de los gases libres y cambios químicos que alteren sus características.

#### 4.7 Volumen de muestra

El volumen de muestra para el análisis se dividió según lo indicado en la tabla 6.

Tabla 6. Volumen de muestra

Muestra para:	Volumen	
	Filtrado (L)	Sin filtrar (L)
Propiedades físicas	1	-
Componentes metálicos	1	-
Componentes no metálicos	1	-
Gases libres	1	-
Turbidez y sólidos totales	-	1
Fosfatos	0,5	-

#### 4.8 Envases para muestras y lavado

Los envases empleados para guardar las muestras fueron de material de polietileno con tapas de seguridad de un litro de capacidad, excepto para la muestra de fosfato que fue de vidrio. Para el lavado de los envases se tuvo en cuenta las recomendaciones de la APHA y GEMS/AGUA (6 y 24).

#### 4.9 Conservación de muestras

Las muestras recolectadas se guardaron bajo sombra en cajas de tecnopor con hielo molido. A las muestras destinadas a la determinación de metales se les agregó 2 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado por litro de muestra, de esta forma se transportó al laboratorio de espectroscopía de la PUCP. Con excepción de los elementos metálicos, todos los demás parámetros fueron medidos antes de las 24 horas (6 y 24).

#### 4.10. Determinaciones *in situ*

En el mismo lugar de las fuentes se determinaron el olor, sabor, temperatura, pH, conductividad iónica, dióxido de carbono libre y caudal (6, 7 y 24).

#### 4.11. Tratamiento estadístico a los resultados

En la fotometría de emisión de llama, colorimetría y absorción atómica es necesario construir una curva patrón, para estimar si los datos experimentales se ajustan o no a la línea recta patrón, se calculó el coeficiente de correlación “r”, cuyo valor aceptable debe oscilar de 0,95 a 1,0 (35), (ver anexo I).

Se determinó el límite de seguridad para una confiabilidad del 95 %, con el fin de que el valor verdadero del resultado se encuentre dentro de este intervalo de confianza.

#### 4.12. Métodos de determinaciones analíticas

Las tablas del 7 al 11, indican los métodos de análisis de los parámetros a medir.

Tabla 7. Métodos de análisis de las propiedades fisicoquímicas

Parámetros	Métodos	Expresión de cuantificación	Unidades
Color	<sup>a</sup> Colorimétrico, Pt-Co ,(6)	Color = (UC) <sub>leído</sub> x F <sub>dil</sub>	UC
Olor	Apreciación sensorial personal.	Determinación cualitativa	
Sabor	Apreciación sensorial personal.	Determinación cualitativa	
Depósitos	Químico (1)	Determinación cualitativa	
Densidad	Método del picnómetro (7)	$D = \frac{M-m}{M_1-m}$	g/mL
Temperatura	<sup>a</sup> Termométrico: 2550-B (6)	Determinación directa	°C
pH	<sup>a</sup> Potenciométrico: 4500-B (6)	Determinación directa	pH
Conductividad iónica	<sup>a</sup> Conductimétrico (6, 7)	Determinación directa	mS/m
Sólidos totales a 103-105 °C (ST)	<sup>a</sup> Gravimétrico: 2540-B (6)	$ST = \frac{m^* \times 10^6}{V}$	mg/L
Sólidos totales disueltos a 180 °C (STD)	<sup>a</sup> Gravimétrico: 2540-C (6)	$STD = \frac{m^* \times 10^6}{V}$	mg/L
Turbidez	<sup>b</sup> Fotométrico con caolín	Turbidez = (UT) <sub>leído</sub> x F <sub>dil</sub>	UT
Alcalinidad a la fenolftaleína (AF)	<sup>a</sup> Volumétrico: 2320-B (6, 36)	$AF = \frac{T \times G \times 1000}{V}$	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Alcalinidad al anaranjado de metilo (AAM)	<sup>a</sup> Volumétrico: 2320-B (6, 36)	$AAM = \frac{T \times G \times 1000}{V}$	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Dureza total (DT)	<sup>a</sup> Volumétrico: 2340-C (6, 36)	$DT = \frac{T^* \times G \times 1000}{V}$	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Dureza cálcica (DCa)	<sup>a</sup> Volumétrico. 3500-Ca D (6, 36)	$DCa = \frac{T^* \times G \times 1000}{V}$	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Dureza magnésica (DMg)	<sup>a</sup> Método de cálculo por diferencia: 3500-Mg E (6, 36)	DMg = DT - DCa	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Potencial redox (rH)	Potenciométrico (7)	rH = 213 + Valor de lectura	mV (UH/Pt)
Caudal	<sup>c</sup> Método del recipiente	$Q = \frac{V}{t}$	L / min

a = APHA

b = Kurita Central Laboratories

c = ITDG (Manual de Minicentrales hidráulicas)

1 UC = 1 mg Pt/L

M = Masa del picnómetro con muestra

m = Masa del picnómetro

M<sub>1</sub> = Masa del picnómetro con agua bidestilada

1 UT = 1 mg Caolin/L

m\* = Masa del residuo (g)

V = Volumen de muestra (mL)

F<sub>dil</sub> = Factor de dilución

T = 1 mg CaCO<sub>3</sub>/mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

T\* = 1 mg CaCO<sub>3</sub>/mL EDTA

G = Gasto en la titulación (mL)

t = Tiempo

Tabla 8. Métodos de análisis de los constituyentes metálicos

Elementos	Métodos	Expresión de cuantificación	Unidades
Litio	<sup>a</sup> Fotometría de emisión de llama 3500-Li D (6)	$Li = \frac{(\mu g Li)_{leido}}{V}$	mg Li/ L
Sodio	<sup>a</sup> Fotometría de emisión de llama 3500-Na D (6)	$Na = (mg / L )_{leido} \times F_{dil}$	mg Na/ L
Potasio	<sup>a</sup> Fotometría de emisión de llama 3500-K D (6)	$K = (mg / L )_{leido} \times F_{dil}$	mg K/ L
Plata	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Ag B (6)	$Ag = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Ag/ L
Magnesio	<sup>a</sup> Método de cálculo 3500-Mg E (6, 7, 36)	$Mg = \frac{T \times G^* \times 1000}{V}$	mg Mg/ L
Calcio	<sup>a</sup> Método titulométrico de EDTA 3500-Ca D (6, 7, 36)	$Ca = \frac{T^* \times G \times 1000}{V}$	mg Ca/ L
Cinc	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Zn B (6)	$Zn = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Zn/ L
Cadmio	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Cd B (6)	$Cd = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Cd/ L
Manganeso	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Mn B (6)	$Mn = (mg / L )_{leido}$	mg Mn/ L
Cobre	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Cu B (6)	$Cu = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Cu/ L
Plomo	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Pb B (6)	$Pb = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Pb/ L
Cobalto	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Co B (6)	$Co = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Co/ L
Hierro	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Fe B (6)	$Fe = (mg / L )_{leido} \times F_{dil}$ $Fe = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Fe/ L
Aluminio	<sup>a</sup> Espectrofotometría de absorción atómica: 3500-Al B (6)	$Al = \frac{(mg / L )_{leido}}{F_{cc}}$	mg Al/ L

- <sup>a</sup> = APHA  
 T = 0,24305 mg Mg/mL EDTA  
 T\* = 0,4008 mg Ca/ mL EDTA  
 G\* = Gasto de la titulación (DT- DCa ) (mL)  
 F<sub>cc</sub> = Factor de concentración  
 F<sub>dil</sub> = Factor de dilución  
 V = Volumen de muestra (mL)

Tabla 9. Métodos de análisis de los constituyentes inorgánicos no metálicos

Íon	Métodos	Expresión de cuantificación	Unidades
Fluoruro	<sup>a</sup> Colorimétrico, sfadns: 4500-F <sup>-</sup> D (6)	$F^- = (\text{mg/L})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}}$	mg F <sup>-</sup> /L
Cloruro	<sup>a</sup> Volumétrico, argentométrico: 4500-Cl <sup>-</sup> B (6)	$Cl^- = \frac{T \times G \times 1000}{V}$	mg Cl <sup>-</sup> /L
Bromuro	<sup>a</sup> Colorimétrico, rojo de fenol: 4500-Br <sup>-</sup> B (6)	$Br^- = (\text{mg/L})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}}$	mg Br <sup>-</sup> /L
Yoduro	<sup>a</sup> Colorimétrico, reducción catalítica: 4500-I <sup>-</sup> C (6)	$I^- = (\text{mg/L})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}}$	mg I <sup>-</sup> /L
Bicarbonato	Volumétrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : (36)	$HCO_3^- = \frac{T^* \times G \times 1000}{V}$	mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L
Nitrato	Colorimétrico, salicilato sódico (7)	$NO_3^- = \frac{(\mu\text{g})_{\text{leído}} \times F_g \times F_{\text{dil}}}{V}$	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L
Carbonato	Volumétrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : (36)	$CO_3^{2-} = \frac{T^{**} \times G \times 1000}{V}$	mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L
Sulfato	<sup>a</sup> Gravimétrico, combustión de residuos: 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> C (6)	$SO_4^{2-} = \frac{M \times F_g^* \times 1000}{V}$	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L
Fosfato	<sup>a</sup> Colorimétrico, ácido ascórbico : 4500-P E (6)	$PO_4^{3-} = (\text{mg/L})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}}$	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L
$T = 0,6027 \text{ mg Cl}^- / \text{mL AgNO}_3$ $T^{**} = 0,6000 \text{ mg CO}_3^{2-} / \text{mL H}_2\text{SO}_4$ $F_g = \text{NO}_3^- / \text{N}$ $T^* = 1,2222 \text{ mg HCO}_3^- / \text{mL H}_2\text{SO}_4$ $M = \text{mg de BaSO}_4$ $F_g^* = \text{SO}_4^{2-} / \text{BaSO}_4$			

Tabla 10. Métodos de análisis de los compuestos no disociados

Elemento	Métodos	Expresión de cuantificación	Unidades
Silicio	<sup>a</sup> Colorimétrico, molibdosilicato: 4500-Si D (6)	$SiO_2 = \frac{(\mu\text{gSiO}_2)_{\text{leído}}}{V}$	mg SiO <sub>2</sub> /L
Boro	<sup>a</sup> Colorimétrico, Carmín: 4500-B C (6)	$HBO_2 = \frac{(\mu\text{gB})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}} \times F_g}{V}$	mg HBO <sub>2</sub> /L
a = APHA		F <sub>g</sub> = HBO <sub>2</sub> /B	

Tabla 11. Métodos de análisis de los gases libres

Analito	Métodos	Expresión de cuantificación	Unidades
Dióxido de carbono libre	Volumétrico: NaOH, (7)	$CO_2 \text{ libre} = \frac{(\# \text{meq-g } CO_2) \times 44 \ 000}{V}$	mgCO <sub>2</sub> /L
Sulfuro de hidrógeno libre	Volumétrico: yodométrico (7)	$H_2S_{\text{libre}} = \frac{\{(\# \text{meq-g } S^{2-})_{\text{total}} - (\# \text{meq-g } S^{2-})_{\text{solub}}\} \times 17 \ 000}{V}$	mgH <sub>2</sub> S /L

### 4.13 Descripción de los métodos de análisis

#### 4.13.1 Propiedades físicoquímicas.

##### a) Color

En esta determinación se empleó el método del platino-cobalto. Se preparó un conjunto de patrones de color de diferentes UC (anexo I.1), luego se procedió a medir las absorbancias a 440 nm en el espectrofotómetro, se midieron también para las muestras filtradas. Se construyó la curva patrón y con ella se determinó las UC de las muestras de cada fuente estudiada.

##### b) Olor

En un erlenmeyer de 500 mL, se tomó 200 mL de muestra caliente, se tapó, agitó, luego se destapó y se procedió a oler con cuidado, por tanto, el resultado fue una apreciación sensorial personal del olor de las fuentes estudiadas.

##### c) Sabor

Se recogió 200 mL de agua caliente de cada fuente, se enfrió hasta aproximadamente 30 °C, luego se saboreó un volumen pequeño de muestra, moviéndolo en la boca durante varios segundos, luego se expulsó sin deglutirlo, por tanto, el resultado fue un juicio sensorial personal del sabor de estas aguas.

##### d) Depósito

Es materia suspendida que se deposita por gravedad en el fondo y curso de las fuentes, se origina por cambios de temperatura, pérdida de CO<sub>2</sub>, oxidación y neutralización de cargas eléctricas. Estos depósitos fueron de color pardo rojizo y blanco. Se tomó 2 g del depósito pardo rojizo, se disolvió con HCl (1:1) y se dividió en dos alícuotas, a la primera se le adicionó tiocianato potásico 0,5 M, obteniéndose una solución de color rojo; a la segunda se le adicionó ferrocianuro potásico 0,5 M obteniéndose un precipitado azul; estas pruebas cualitativas indicaron presencia de hierro. El depósito blanco se trató con ácido clorhídrico (1:1) produciéndose una efervescencia, lo que indicó presencia de carbonato.

##### e) Densidad

Esta determinación se realizó a 15 ° C con un picnómetro de 50 mL de capacidad. Se midió la masa del picnómetro vacío, luego con agua bidestilada y finalmente con la muestra, luego se dividió la masa de la muestra con respecto al agua bidestilada.

**f) Temperatura**

La temperatura de un agua termomineral es de gran interés terapéutico. Su determinación se realizó *in situ*, se introdujo el termómetro directamente al centro de la fuente por 10 minutos y se tomó la lectura sin sacar el termómetro del agua.

**g) pH**

Esta medición se realizó *in situ* introduciendo el electrodo del potenciómetro en un vaso con muestra, la cual estaba sumergida en la misma fuente.

**h) Conductividad iónica**

Esta determinación se realizó *in situ* en forma similar al pH.

**i) Sólidos totales secados a 103 – 105 ° C**

Esta determinación se realizó con la muestra sin filtrar. Primero se pesó la cápsula de evaporación vacía, se colocó un volumen conocido de muestra y se llevó a sequedad a 105 ° C hasta peso constante, el aumento de peso con respecto a la cápsula vacía representa los sólidos totales.

**j) Sólidos totales disueltos secados a 180 ° C**

Esta determinación se realizó con la muestra filtrada a la temperatura de 180 ° C, en forma similar a la de los sólidos totales.

**k) Turbidez**

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión. En esta determinación se prepararon un conjunto de patrones de diferentes UT, a partir de una solución stock de 1000 UT, (1 g de caolín seco de malla 200 a 250 en un litro de agua), (anexo I.2). Luego se midieron las absorbancias a 660 nm, tanto para los patrones y muestras sin filtrar. Se construyó la curva patrón y a partir de ella se determinó la turbidez de las muestras.

**l) Alcalinidad**

La alcalinidad a la fenolftaleína y al anaranjado de metilo se realizó por titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02 N, hasta el cambio de color de los indicadores respectivos.

**m) Dureza**

La dureza total y cálcica se determinaron por titulación con EDTA 0,01 M a un pH de 10 y 12, hasta el cambio de color del respectivo indicador. La dureza magnésica se determinó por la diferencia entre la dureza total y dureza cálcica.

**n) Potencial redox**

Esta medición se realizó antes de las 24 horas de tomada la muestra a 25 ° C y por vía potenciométrica, introduciendo directamente el electrodo en la muestra.

**o) Caudal**

Para esta medición se utilizó el método del recipiente que consiste en canalizar todo el agua de la fuente y medir el tiempo en que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido (10 L).

**4.13.2 Constituyentes metálicos****a) Litio, Sodio y Potasio**

Estos elementos se determinaron por el método fotométrico de emisión de llama: 3500-Li D; 3500-Na D y 3500-K D de (6). De acuerdo al método, se prepararon un conjunto de soluciones patrones de litio, sodio y potasio, con el fin de obtener las concentraciones de las muestras de aguas estudiadas (anexo: I.3 a I.5).

**b) Magnesio y Calcio**

En la determinación del magnesio se empleó el método de cálculo por diferencia, 3500-Mg E y para el calcio el método titulométrico directo con EDTA a un pH = 12, 3500-Ca D según (6).

**c) Plata, Cinc, Cadmio, Manganeso, Cobre, Plomo, Cobalto, Hierro y Aluminio**

El método empleado para estas determinaciones fue el espectrofotométrico de absorción atómica directa: 3500-Ag B, 3500-Zn B, 3500-Cd B, 3500-Mn B, 3500-Cu B, 3500-Pb B, 3500-Co B, 3500-Fe B y 3500-Al B de (6). Según este método es necesario preparar un conjunto de soluciones patrones de cada elemento, para determinar las concentraciones de las muestras de aguas estudiadas (ver anexos: I.6 a I.14).

**4.13.3 Constituyentes inorgánicos no metálicos iónicos y no disociados.****a) Fluoruro, Bromuro, Yoduro, Nitrato, Fosfato, Silicio y Boro.**

Estas determinaciones se realizaron por colorimetría: para fluoruros 4500-F<sup>-</sup> D, método del SFADNS; para bromuros 4500-Br<sup>-</sup> B, método del rojo de fenol; para yoduros 4500-I<sup>-</sup> C, método de reducción catalítica; para nitratos método del salicilato sódico; para fosfatos 4500-P E, método del ácido ascórbico; para silicio



4500-Si D, método del molíbdosilicato y para el boro 4500-B C, método del carmín según (6), excepto el nitrato que fue según Rodier (7). Este método requiere un conjunto de soluciones patrones para determinar la concentración de las muestras de aguas de las fuentes estudiadas (ver anexos: I.15 a I.21).

#### b) Cloruro, Bicarbonato y Carbonato

Para estas determinaciones se empleó el método volumétrico de titulación directa: para cloruros 4500-Cl<sup>-</sup> B, método argentométrico (6), para bicarbonatos y carbonatos método de titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (36).

#### 4.13.4 Gases libres

##### a) Dióxido de carbono libre

En esta determinación se empleó el método volumétrico de titulación por retroceso, donde el dióxido de carbono libre de la muestra de agua se neutralizó con un ligero exceso de solución de hidróxido sódico. Luego este exceso se tituló con una solución de ácido clorhídrico (7).

##### b) Sulfuro de hidrógeno libre

El sulfuro de hidrógeno libre es igual a la diferencia entre el sulfuro total y sulfuro que queda en la muestra después de desalojar el H<sub>2</sub>S libre. Estos sulfuros se determinaron por el método volumétrico de titulación por retroceso, donde los sulfuros de la muestra se hacen reaccionar con un exceso de solución de yodo, luego este exceso se titula con una solución de tiosulfato de sodio usando como indicador una solución de almidón (7). En este análisis fue necesario construir el equipo de arrastre del sulfuro de hidrógeno libre.

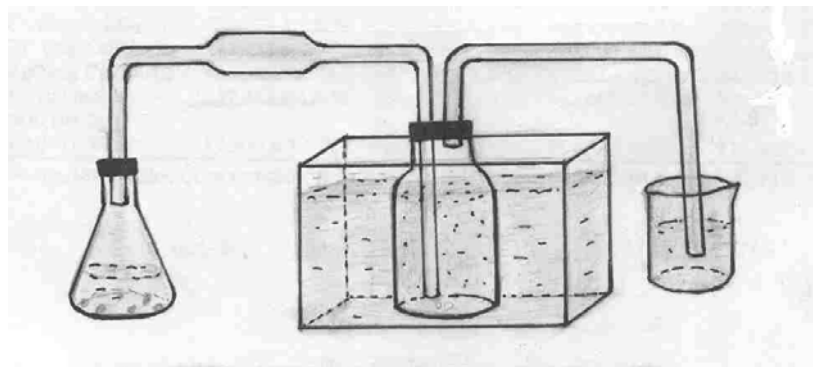


Figura 2. Equipo para el arrastre de H<sub>2</sub>S

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resúmenes de los resultados de los análisis

Las tablas 12 a 15, muestran los resultados de las propiedades físico- químicas, constituyentes metálicos, constituyentes no metálicos inorgánicos iónicos y no disociados, y gases libres de las aguas termominerales estudiadas.

Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas de las fuentes estudiadas

Propiedades	El Pato	La Merced	Chancos	Monterrey
Color (UC)	69,753 ± 1,2 %	64,454 ± 3,3 %	7,271 ± 0,0 %	72,711 ± 1,5 %
Olor	Térreo	Térreo	Térreo	Térreo
Sabor	Salado metálico amargo	Metálico salado	Salado	Salado metálico
Color de sedimento	Pardo rojizo	Pardo rojizo	Blanco	Pardo rojizo
Densidad (g/mL 15 °C)	1,0039 ± 0,02 %	1,0037 ± 0,00 %	1,0041 ± 0,02 %	1,0042 ± 0,00 %
Temperatura (°C)	62,700 ± 1,0 %	39,300 ± 0,6 %	66,000 ± 0,8 %	47,033 ± 1,7 %
pH	6,770 ± 0,4 %	6,227 ± 1,0 %	7,390 ± 2,2 %	6,770 ± 1,0 %
Conductividad iónica (mS/m)	144,267 ± 1,1 %	70,067 ± 4,4 %	549,000 ± 0,4 %	559,167 ± 0,5 %
ST secados a 105 °C (mg/L)	1018,667±1,5 %	562,667 ± 2,0 %	3508,000±0,3 %	3754,667±0,4 %
STD secados a 180°C (mg/L)	981,333± 1,5 %	488,000± 2,0 %	3365,333±0,3 %	3509,333±0,2 %
Turbidez (UT)	18,212 ± 1,0 %	120,275 ± 3,0 %	5,508 ± 3,3 %	57,596 ± 3,2 %
AF (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	nd	nd	nd	nd
AAM (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	261,333 ± 1,1 %	240,000 ± 0,0 %	742,667 ± 0,4 %	408,667 ± 0,7 %
DT (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	233,333 ± 0,6 %	136,000 ± 0,0 %	407,333 ± 0,7 %	170,667 ± 0,9 %
DCa (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	187,333 ± 1,5 %	91,333 ± 1,7 %	340,000 ± 0,0 %	126,667 ± 1,2 %
DMg (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	46,000 ± 4,3 %	44, 667 ± 3,4 %	67,333 ± 4,2 %	44,000 ± 2,2 %
Potencial redox [mV(UH/Pt)]	387,333 ± 1,0 %	400,333 ± 1,0 %	362,667 ± 1,0 %	353,667 ± 0,8 %
Caudal (L/min)	87,300 ± 3,9 %	96,300 ± 3,5 %	95,667 ± 4,0 %	375,000 ± 1,0 %

nd = no detectado, concentración inferior al límite de detección (anexo II.7)

Tabla 13. Constituyentes metálicos en las fuentes estudiadas

Elemento	El Pato				La Merced			
	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq
Li	2,626 ± 3,2%	0,378	0,378	2,443	1,289 ± 2,1%	0,186	0,186	2,205
Na	218,557±0,5%	9,507	9,507	61,438	105,792±0,5%	4,602	4,602	54,558
K	22,497±0,0%	0,575	0,575	3,716	15,391 ± 0,5%	0,394	0,394	4,671
Ag	0,012 ± 0,0%	<0,001	<0,001	<0,001	0,005 ± 0,0%	<0,001	<0,001	<0,001
Mg	11,180 ± 4,3%	0,460	0,920	5,945	10,856 ± 3,4%	0,447	0,893	10,587
Ca	75,083 ± 1,5%	1,872	3,747	24,215	36,606 ± 1,7%	0,913	1,827	21,660
Zn	0,013 ± 4,4%	<0,001	<0,001	0,003	0, 012 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,004
Cd	0,004 ± 2,9%	<0,001	<0,001	<0,001	0,003 ± 3,8%	<0,001	<0,001	<0,001
Mn	0,987 ± 3,2%	0,018	0,036	0,233	0,978 ±1 ,9%	0,018	0,036	0,427
Cu	0,010 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,002	0,011 ± 2,5%	<0,001	<0,001	0,004
Pb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Co	0,014 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,003	nd	nd	nd	nd
Fe	1,617 ± 2,4%	0,029	0,087	0,562	7, 667 ± 1,7%	0,137	0,412	4,884
Al	2,017 ± 0,6%	0,075	0,224	1,448	0,762 ± 0,5%	0,028	0,085	1,008

Elemento	Chancos				Monterrey			
	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq
Li	18,205 ± 0,0%	2,623	2,623	4,532	20,142 ± 1,0%	2,902	2,902	5,128
Na	978,526±1,8%	42,563	42,563	73,540	1052,303±0,8%	45,773	45,773	80,885
K	173,482±1,0%	4,437	4,437	7,666	165,182±1,0%	4,225	4,225	7,466
Ag	0,008 ± 0,0%	<0,001	<0,001	<0,001	0,006 ± 0,0%	<0,001	<0,001	<0,001
Mg	16,365 ± 4,3%	0,663	1,347	2,327	10,694 ± 2,2%	0,440	0,880	1,555
Ca	136,272±0,0%	3,400	6,800	11,749	50,768 ± 1,2%	1,267	2,533	4,476
Zn	0,034 ± 2,6%	<0,001	0,001	0,002	0,022 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,001
Cd	0,011 ± 0,5%	<0,001	<0,001	<0,001	0,009 ± 1,1%	<0,001	<0,001	<0,001
Mn	0,421 ± 2,8%	0,008	0,015	0,026	1,487 ± 0,0%	0,027	0,054	0,095
Cu	0,019 ± 2,8%	<0,001	<0,001	0,001	0,019 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,001
Pb	0,058 ± 1,4%	<0,001	<0,001	<0,001	0,036 ± 1,4%	<0,001	<0,001	<0,001
Co	0,037 ± 1,0%	<0,001	0,001	0,002	0,027 ± 1,4%	<0,001	<0,001	0,002
Fe	0,056 ± 0,7%	0,001	0,003	0,005	3,150 ± 2,0%	0,056	0,169	0,299
Al	0,771 ± 0,5%	0,029	0,086	0,149	0,455 ± 1,5%	0,017	0,051	0,090

nd = no detectado

Cantidad mínima de expresión de resultados = 0,001

Tabla 14. Constituyentes no metálicos en las fuentes estudiadas

Elemento	El Pato				La Merced			
	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq	mg/L	mmol/L	meq/L	%/meq
F <sup>-</sup>	0,832 ± 1,3%	0,044	0,044	0,281	0,476 ± 0,0%	0,025	0,025	0,306
Cl <sup>-</sup>	227,017±0,4%	6,403	6,403	40,877	103,463± 0,8%	2,918	2,918	35,760
Br <sup>-</sup>	nd	nd	nd	nd	0, 227 ± 2,2%	0,003	0,003	0,037
I <sup>-</sup>	0,072 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,004	0,039 ± 0,0%	<0,001	<0,001	0,004
C-HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	318,827±1,1%	5,225	5,225	33,357	292,800± 0,0%	4,799	4,799	58,811
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,448 ± 0,9%	0,007	0,007	0,045	1,461 ± 0,8%	0,024	0,024	0,294
C-CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	190,962±0,8%	1,988	3,976	25,383	18,522 ± 0,1%	0,193	0,386	4, 730
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,247 ± 2,4%	0,003	0,008	0,051	0,150 ± 3,3%	0,002	0,005	0,061
Si-SiO <sub>2</sub>	51,177 ± 1,2%	0,852			28,675 ± 2,2%	0,477		
B-HBO <sub>2</sub>	19,905 ± 2,4%	0,454			19,842 ± 2,4%	0,453		

Anión	Chancos				Monterrey			
	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq	mg/L	mmol/L	meq/L	% meq
F <sup>-</sup>	1,762 ± 1,4%	0,093	0,093	0,163	1,012 ± 1,9%	0,053	0,053	0,094
Cl <sup>-</sup>	1427,596± 0,1%	40,267	40,267	70,434	1707,650± 0,3%	48,167	48,167	85,233
Br <sup>-</sup>	0,619 ± 1,0%	0,008	0,008	0, 014	1,178 ± 1,7%	0,015	0,015	0,026
I <sup>-</sup>	0,130 ± 0,0%	0,001	0,001	0,002	0,156 ± 0,0%	0,001	0,001	0,002
C-HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	906,05 3± 0,4%	14,849	14,849	25,973	498,573 ± 0,7%	8,171	8,171	14,459
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,332 ± 0,3%	0,022	0, 022	0,038	1,257 ± 0,4%	0,020	0,020	0,035
C-CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	91,924 ± 2,6%	0,957	1, 914	3,348	nd	nd	nd	nd
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,516 ± 1,4%	0,005	0,016	0,028	0,160 ± 1,2%	0,002	0, 005	0,009
Si-SiO <sub>2</sub>	67,315 ± 1,6%	1,120			30,474 ± 2,0%	0,507		
B-HBO <sub>2</sub>	201,223 ± 0,9%	4,592			293,735 ± 1,0%	6,704		

Tabla 15. Gases libres en las fuentes estudiadas

Gas	El Pato		La Merced		Chancos		Monterrey	
	mg/L	mmol/L	mg/L	mmol/L	mg/L	mmol/L	mg/L	mmol/L
CO <sub>2</sub>	226,248±0,0%	5,141	281,424± 1,1%	6,396	165,352±1,3%	3,757	255,317±1,0%	5,802
H <sub>2</sub> S	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd = no detectado

cantidad mínima de expresión de resultados = 0,001

## 5.2. Clasificación de las aguas termominerales estudiadas

Con los resultados de cada fuente termomineral, en base a sus componentes catiónicos y aniónicos mayoritarios, temperatura, contenido mineral y presión osmótica las fuentes estudiadas se clasificaron como se indica en la tabla 16.

Tabla 16. Clasificación de las fuentes termominerales estudiadas

Fuentes	Clasificación
El Pato	Sódica-Clorurada-Bicarbonatada-Sulfatada-Cálcica
	Hipertermal
	Agua medio mineralizada Hipotónica
La Merced	Bicarbonatada-Sódica-Clorurada-Cálcica
	Termal
	Agua medio mineralizada Hipotónica
Chancos	Sódica-Clorurada-Bicarbonatada
	Hipertermal
	Agua mineralizada débil Hipotónica
Monterrey	Clorurada-Sódica
	Termal
	Agua mineralizada débil Hipotónica

### 5.3 Resultados por parámetros

Los resultados se obtuvieron en base a las tablas y curvas patrones del anexo I.

#### 5.3.1 Resultados de las propiedades fisicoquímicas.

##### a) Color

La determinación del color real de las fuentes estudiadas se realizó antes de las 24 horas de tomada la muestra. Los resultados oscilan entre 7,271 – 72,711 UC, la figura 3 muestra a Monterrey como la fuente con mayor intensidad de color y a Chancos con la menor intensidad de color.

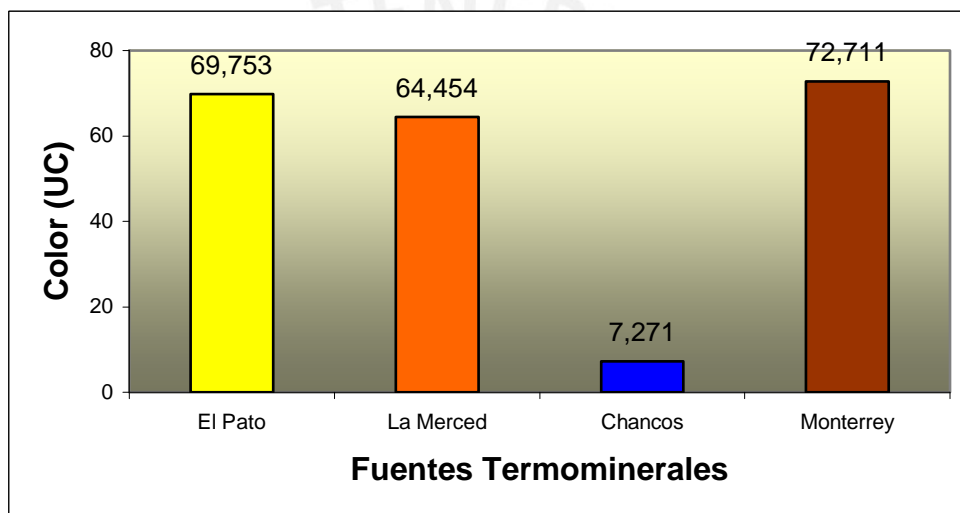


Figura 3. Valores de color

##### b) Olor

La apreciación sensorial personal del olor percibido en las cuatro fuentes estudiadas es a tierra húmeda (térreo).

##### c) Sabor

La apreciación sensorial personal del sabor en las fuentes estudiadas, son: El Pato, salado metálico amargo; La Merced, metálico salado; Chancos, salado y Monterrey, salado metálico. El sabor salado es más fuerte en Chancos y Monterrey, mientras que el sabor metálico es más fuerte en La Merced y El Pato, ver tabla 17. Estas aguas no son agradables para bebidas.

Tabla 17. Apreciación del sabor en las fuentes termominerales

Fuentes	Sabor salado	Sabor metálico	Sabor amargo
El Pato	+ +	+	+
La Merced	+	+ +	----
Chancos	+ + +	----	----
Monterrey	+ + +	+	----

**d) Sólidos sedimentados o depósitos**

Los depósitos en las inmediaciones y cursos de las fuentes estudiadas son de color pardo rojizo y blanco, tal como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Color de los depósitos en las fuentes termominerales

Fuentes	Color del depósito
El Pato	Pardo rojizo
La Merced	Pardo rojizo
Chancos	Blanco
Monterrey	Pardo rojizo

**e) Densidad**

Los resultados oscilan entre 1,0037 – 1,0042 g/mL, siendo ligeramente mayor la densidad en Monterrey y menor en La Merced, tal como se muestra en la figura 4.

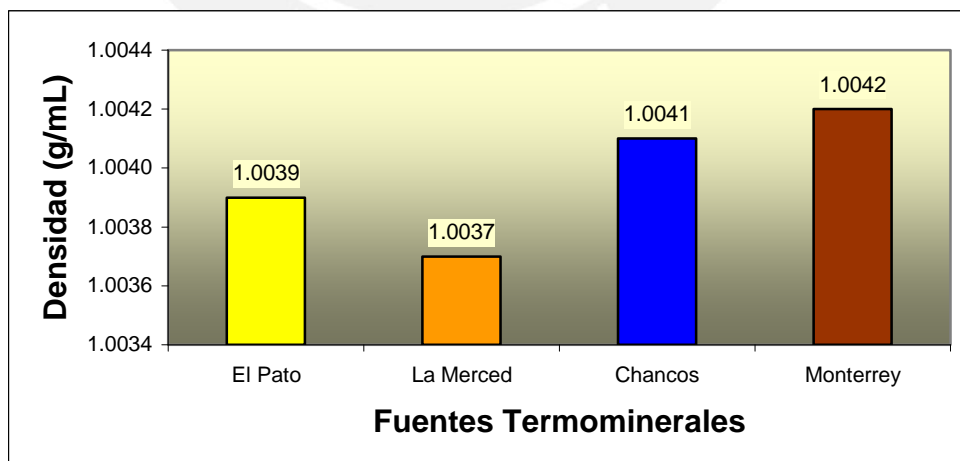


Figura 4. Valores de densidad

### f) Temperatura

La medición termométrica se realizó en el punto de emergencia de cada manantial. Los resultados oscilan entre 39,3 – 66,0 ° C, la figura 5 muestra estos resultados siendo las más altas en Chancos y El Pato y menores en Monterrey y La Merced.

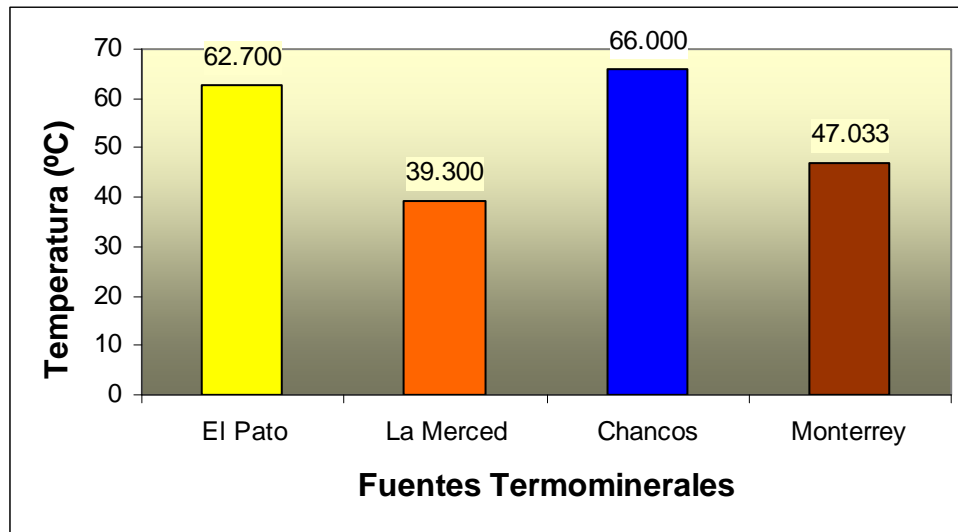


Figura 5. Valores de temperatura

### g) pH

Los valores medidos oscilan entre 6,227 – 7,390 unidades de pH, la figura 6 muestra estos resultados, siendo Chancos ligeramente básica, mientras El Pato, Monterrey y La Merced son ligeramente ácidas.

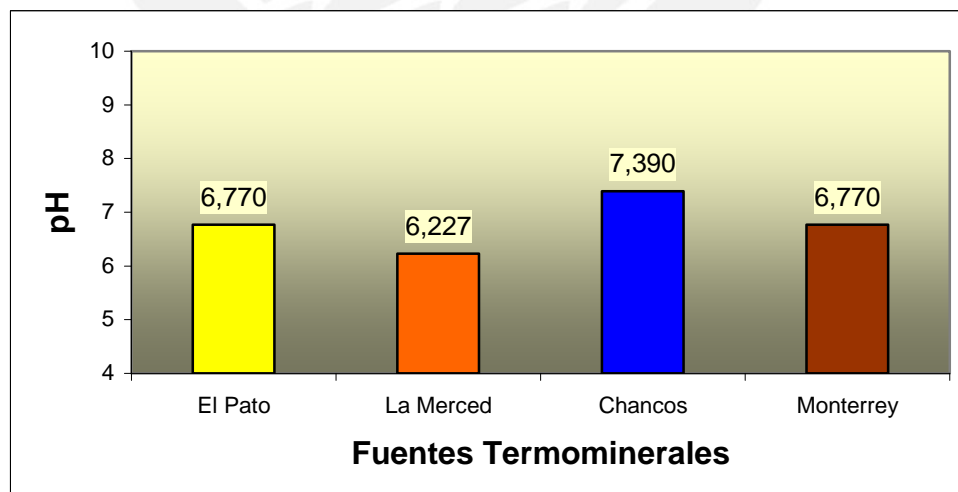


Figura 6. Valores de pH



### h) Conductividad iónica

Los valores medidos oscilan entre 70,067 – 559,167 mS/m, la figura 7 muestra valores altos de conductividad iónica para Monterrey y Chancos, mientras que los valores bajos corresponden a El Pato y la Merced respectivamente.

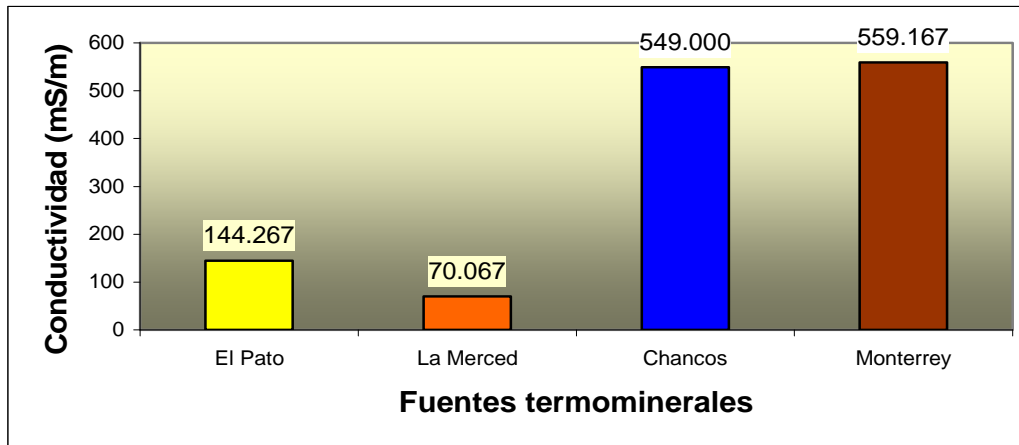


Figura 7. Valores de conductividad iónica

### i) Sólidos totales secados a 103 – 105 °C

Los valores medidos oscilan entre 562,667 – 3 754,667 mg/L, la figura 8 muestra contenidos altos de ST en Monterrey y Chancos, seguido de El Pato y el más bajo corresponde a La Merced.

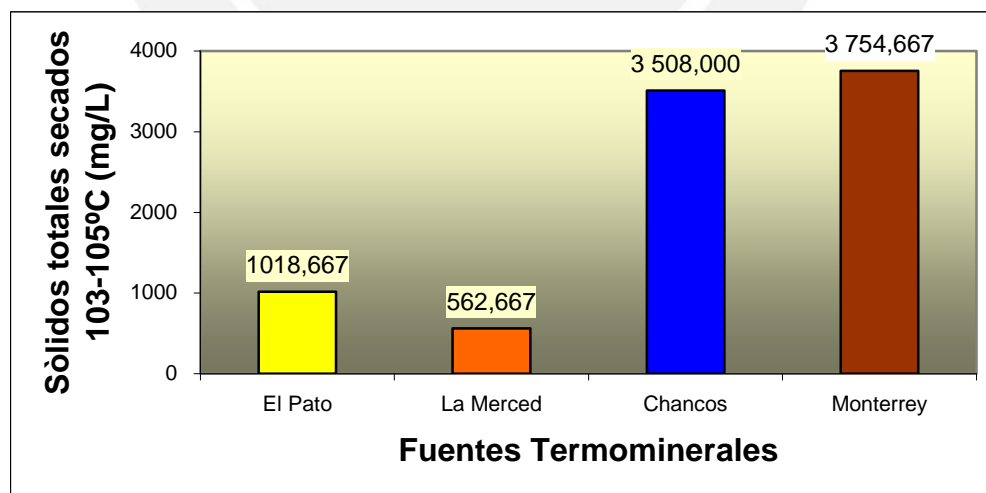


Figura 8. Valores de ST secados a 103 -105 ° C

#### j) Sólidos totales disueltos secados a 180 °C

Los valores medidos oscilan entre 488,000 – 3 509,333 mg/L de STD, la figura 9 muestra valores altos para Monterrey y Chancos, seguido de El Pato y La Merced respectivamente.

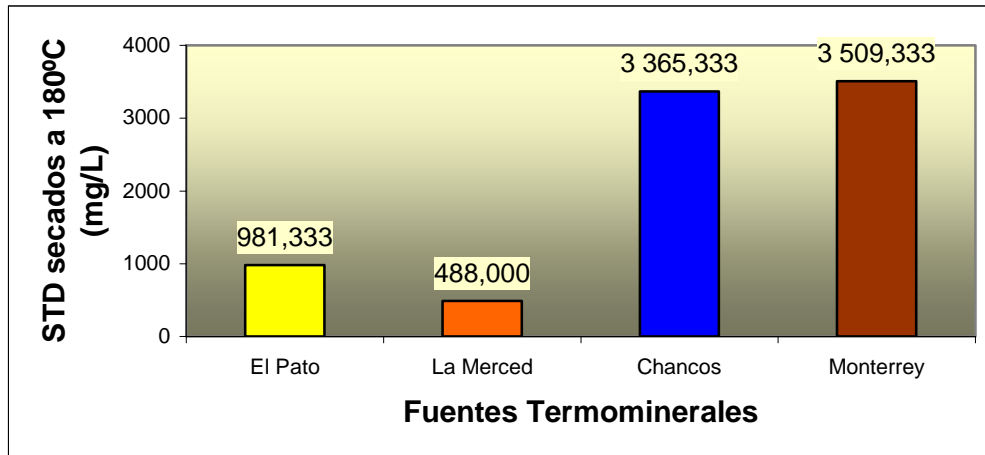


Figura 9. Valores de STD secados a 180 °C

#### k) Turbidez

Los valores medidos oscilan entre 5,508 – 120,275 UT, la figura 10 muestra estas mediciones, siendo mayor en La Merced y menor en Chancos.

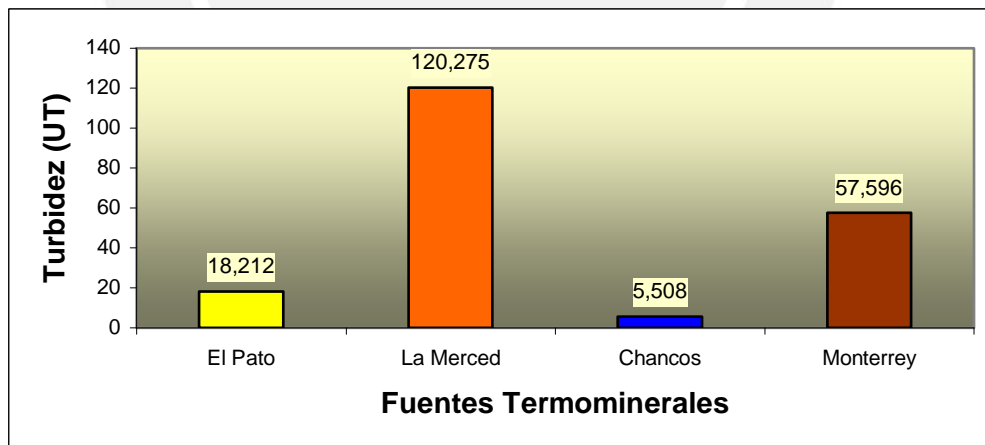


Figura 10. Valores de turbidez

#### l) Alcalinidad a la fenolftaleína

. Esta alcalinidad no fue detectada por este método de análisis, lo que indica cantidades ínfimas o ausencia de carbonatos y/o hidróxidos en las fuentes estudiadas.

**m) Alcalinidad al anaranjado de metilo**

Los resultados oscilan entre 240,000 – 742,667 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , la figura 11 muestra que el valor más alto corresponde a Chancos y el menor a La Merced.

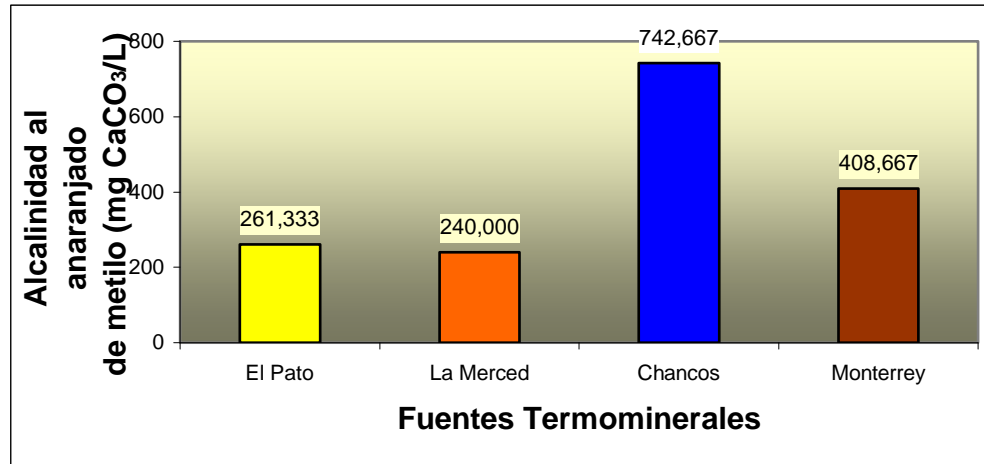


Figura 11. Valores de la alcalinidad al anaranjado de metilo

**n) Dureza total**

Los valores obtenidos oscilan entre 136,000 – 407,333 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , la figura 12 muestra estos valores, donde Chancos tiene la dureza total más alta y La Merced la menor.

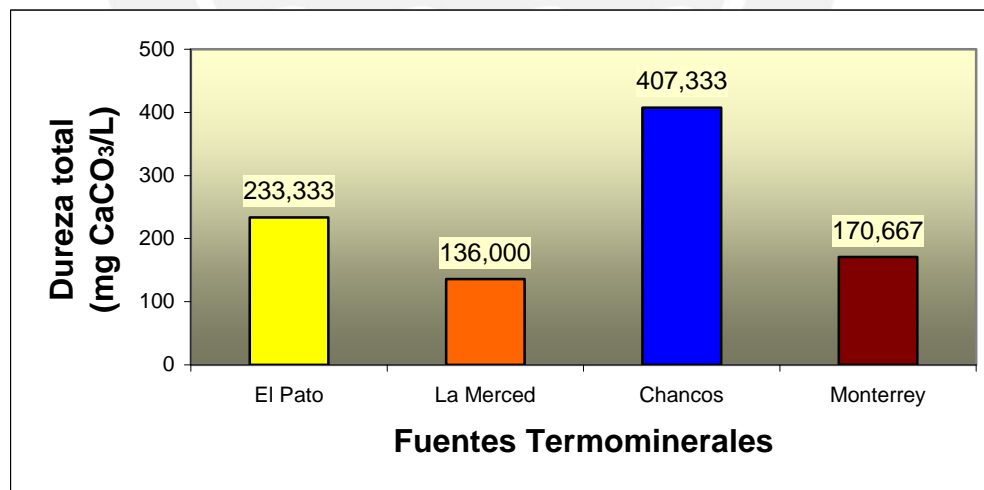


Figura 12. Valores de dureza total

**o) Dureza cálcica**

Los valores medidos oscilan entre 91,333 – 340,000 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , la figura 13 muestra estos valores, donde Chancos tiene la dureza cálcica más alta y La Merced la menor.

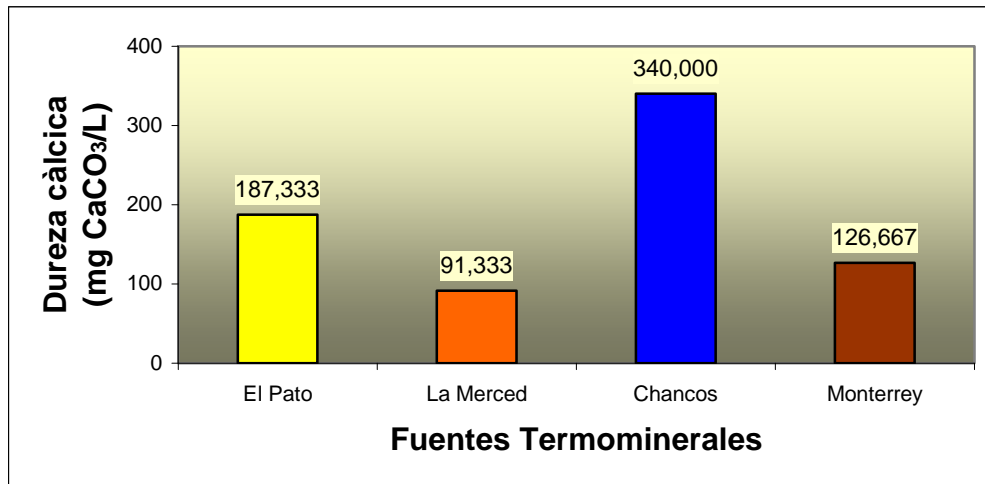


Figura 13. Valores de la dureza cálcica

**p) Dureza magnésica**

Los valores medidos oscilan entre 44,000 – 67,333 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , la figura 14 muestra estos valores, siendo mayor en Chancos y menor en Monterrey.

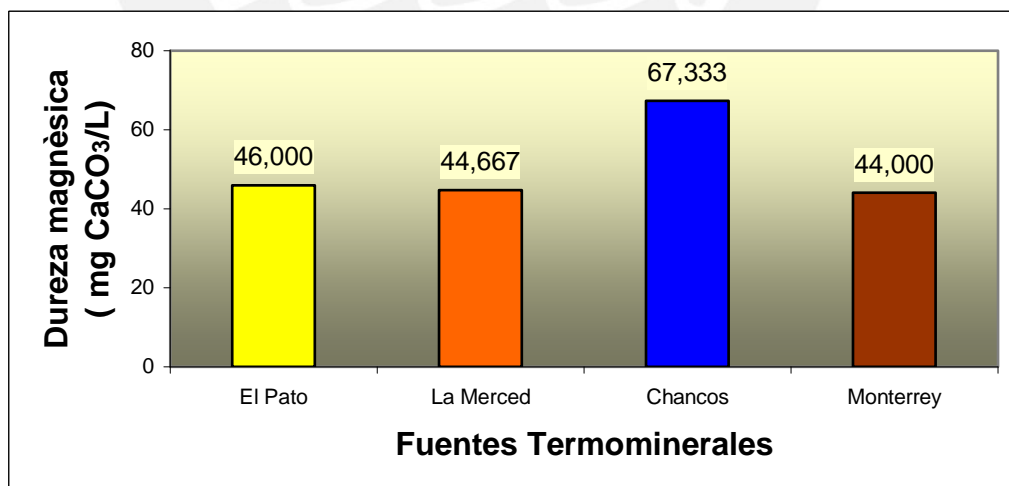


Figura 14. Valores de la dureza magnésica

### q) Potencial redox

Los valores medidos oscilan de 353,667 – 400,333 mV(UH/Pt), la figura 15 muestra los valores medidos, siendo mayor en La Merced y menor en Monterrey.

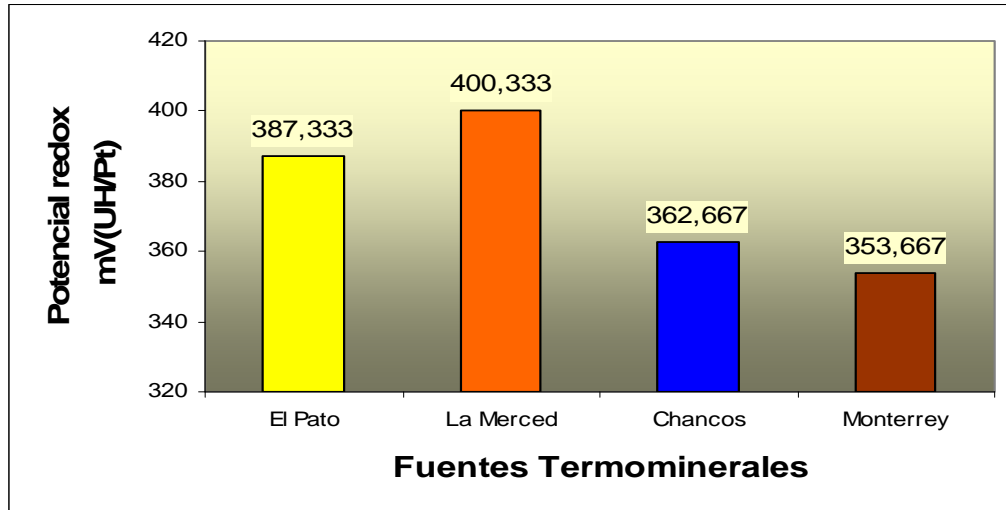


Figura 15. Valores del potencial redox

### r) Caudal

Los valores medidos oscilan entre 87,300 – 375,000 L/min, la figura 16 muestra estos valores, siendo mayor en Monterrey y menor en El Pato.

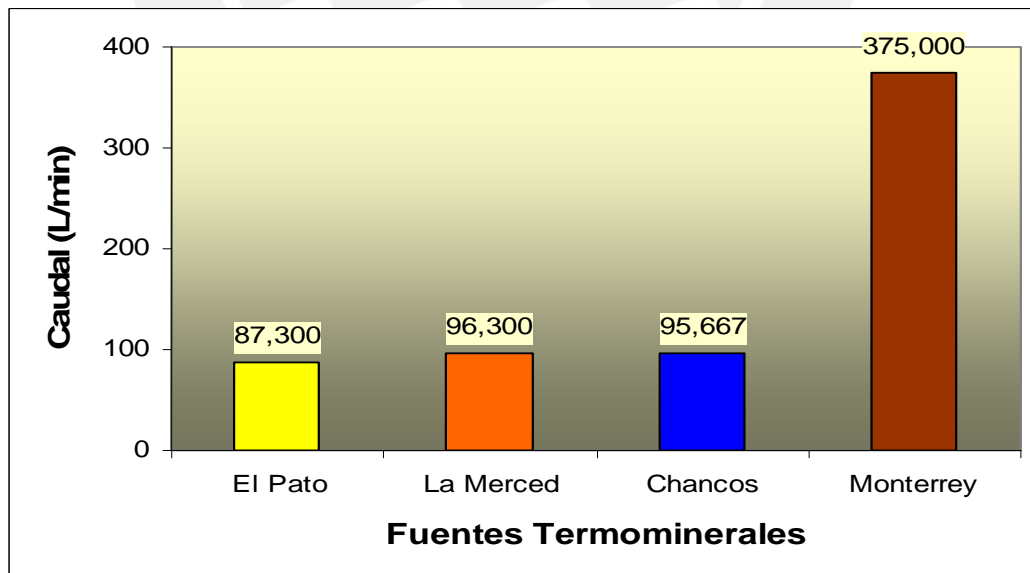


Figura 16. Valores del caudal promedio



### 5.3.2 Resultados de los constituyentes metálicos

#### a) Litio

Los valores medidos oscilan entre 1,289 – 20,142 mg/L, la figura 17 muestra los valores medidos, donde el contenido de litio es mayor en Monterrey y Chancos , y es menor en El Pato y La Merced.

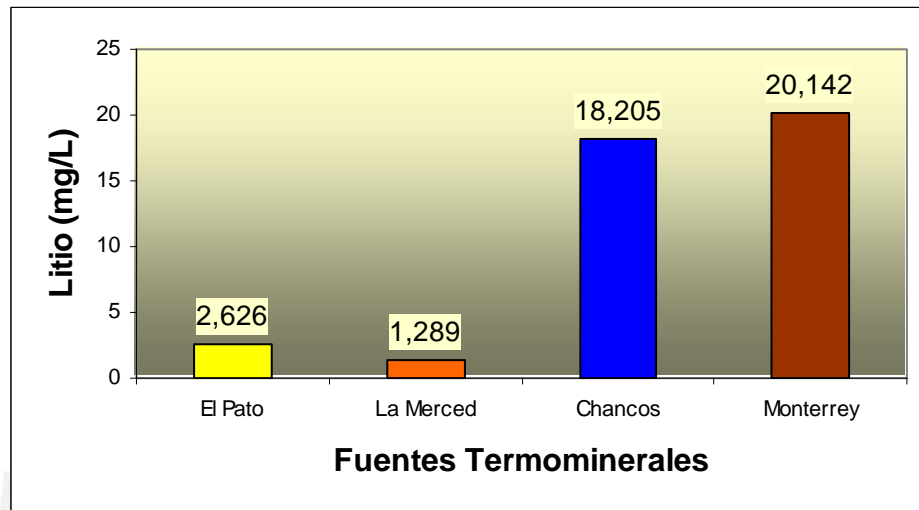


Figura 17. Contenido de litio

#### b) Sodio

Los valores medidos oscilan entre 105,792 – 1 052,303 mg/L, los valores medidos se muestra en la figura 18, siendo mayor en Monterrey y Chancos y menor en El Pato y La Merced.

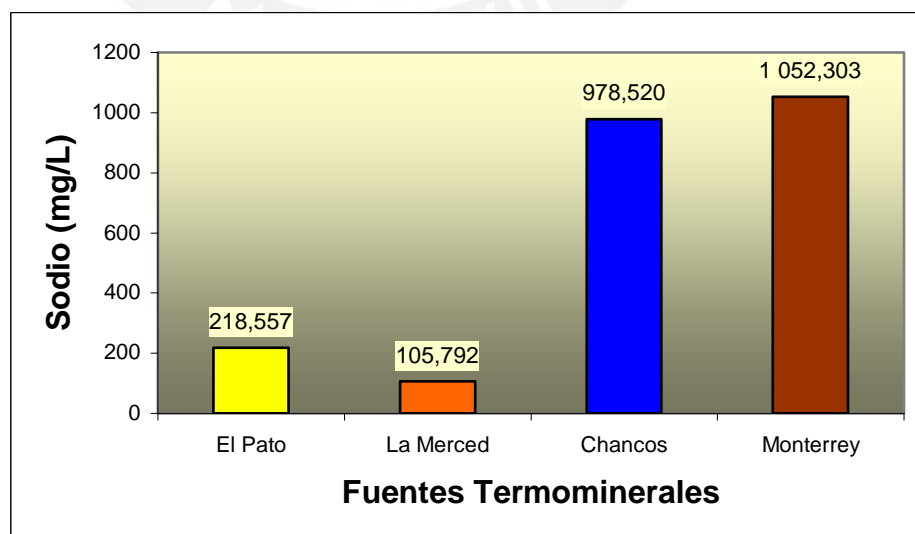


Figura 18. Contenido de sodio

**c) Potasio**

Los valores medidos oscilan entre 15,391 – 173,482 mg/L, la figura 19 muestra estos valores, siendo mayor en Chancos y Monterrey y menor en El Pato y La Merced.

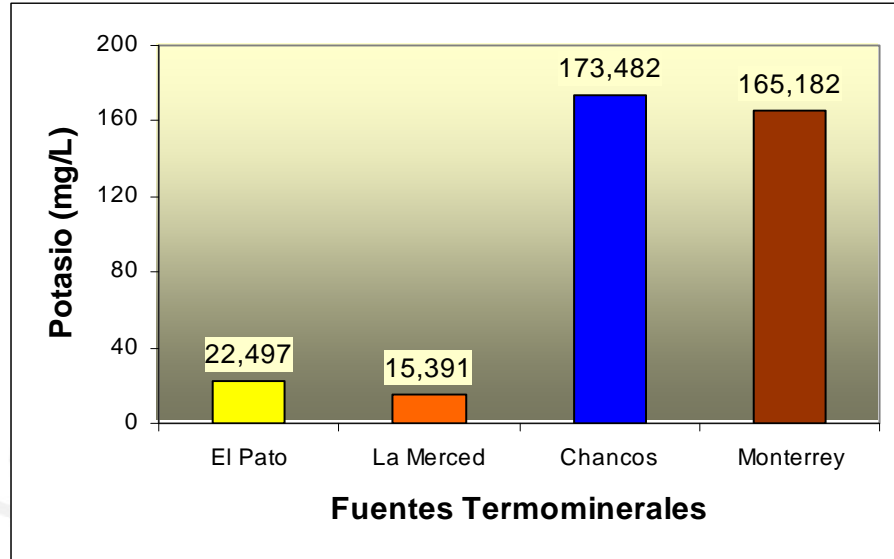


Figura 19. Contenido de potasio

**d) Plata**

Los valores medidos oscilan entre 4,747 – 12,100 µg/L, la figura 20 muestra los valores medidos en cada fuente, siendo mayor en El Pato y menor en La Merced.

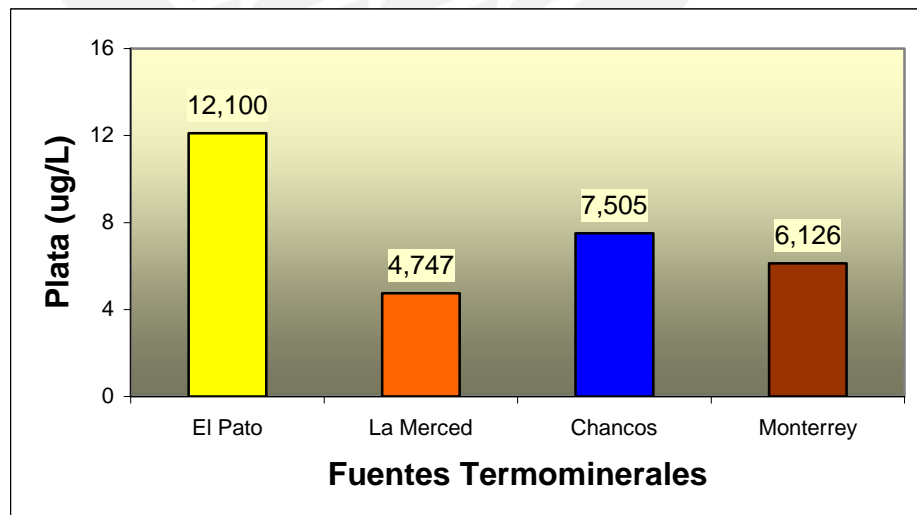


Figura 20. Contenido de plata



### e) Magnesio

Los valores medidos oscilan entre 10,694 – 16,365 mg/L, la figura 21 muestra los valores medidos, siendo mayor en Chancos y menores La Merced y Monterrey.

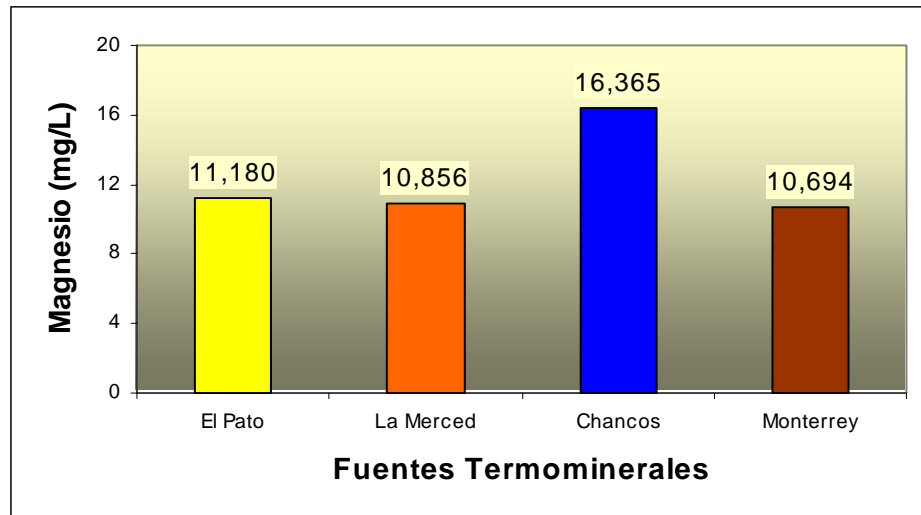


Figura 21. Contenido de magnesio

### f) Calcio

Los valores medidos oscilan entre 36,606 – 136,272 mg/L, la figura 22 muestra los valores medidos, siendo mayor en Chancos y menor en La Merced.

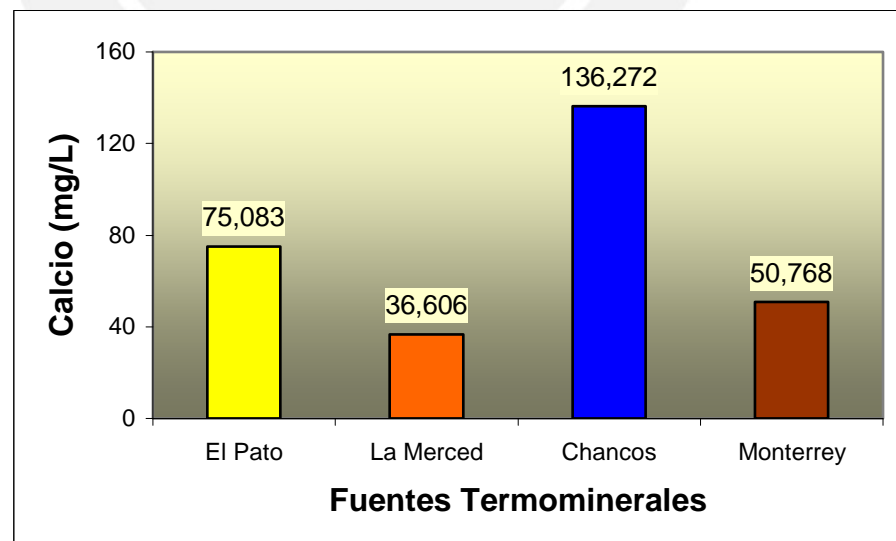


Figura 22. Contenido de calcio

### g) Cinc

Los valores medidos oscilan entre 12,350 – 33,966  $\mu\text{g/L}$ , la figura 23 muestra estos valores, siendo mayor en la fuente de Chancos y menor en El Pato y La Merced.

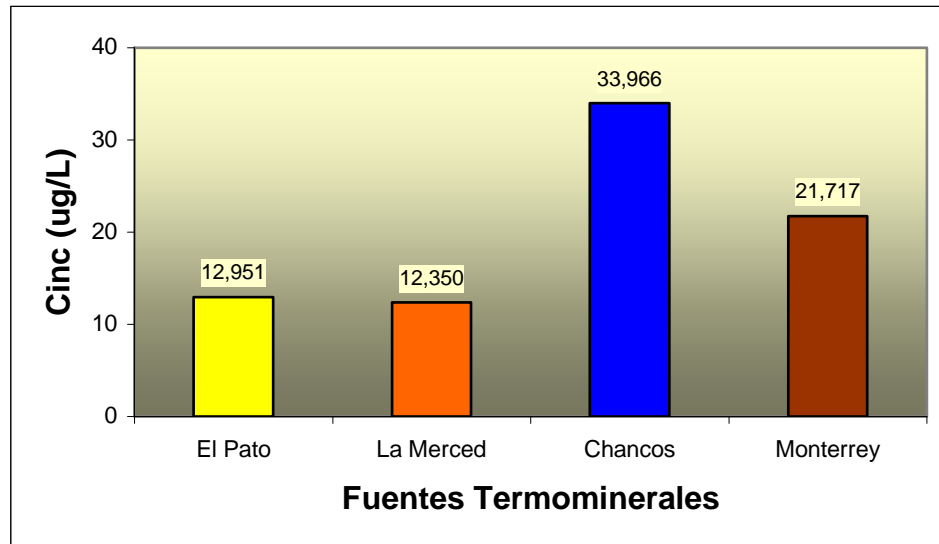


Figura 23. Contenido de cinc

### h) Cadmio

Los valores medidos oscilan entre 2,668 – 11,167  $\mu\text{g/L}$ , la figura 24 muestra estos valores, siendo mayor en Chancos y menor en La Merced.

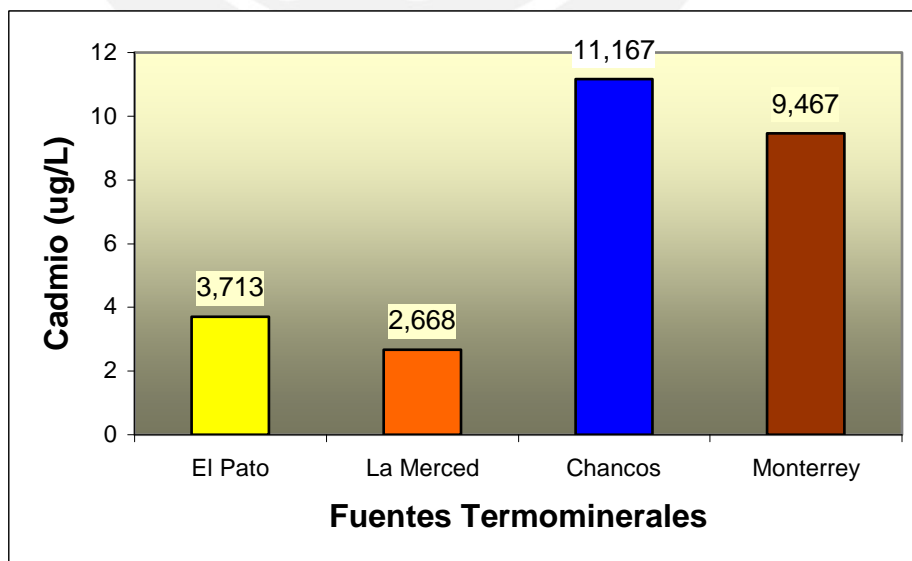


Figura 24. Contenido de cadmio

### i) Manganeso

Los valores obtenidos oscilan entre 0,421 – 1,487 mg/L, la figura 25 muestra estos valores, siendo mayor en Monterrey y menor en Chancos.

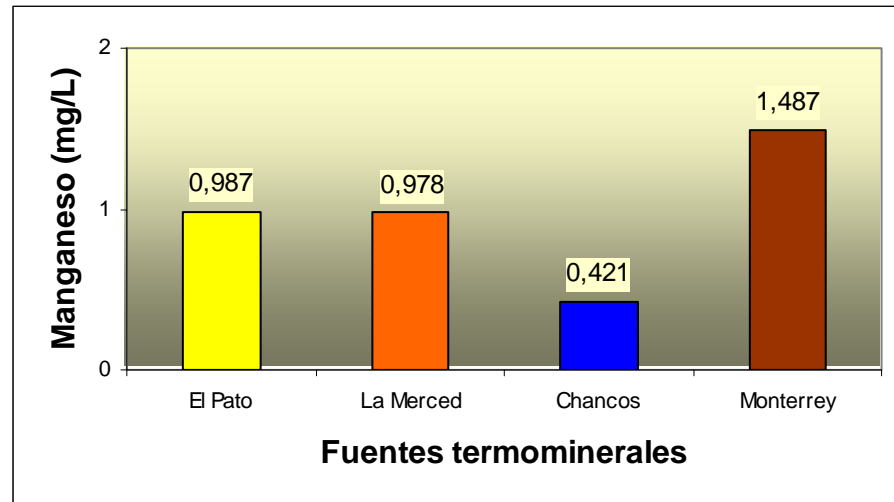


Figura 25. Contenido de manganeso

### j) Cobre

Los valores obtenidos oscilan entre 10,436 – 19,683  $\mu\text{g/L}$ , la figura 26 muestra estos valores, siendo mayor en Monterrey y Chancos y menor en La Merced y El Pato.

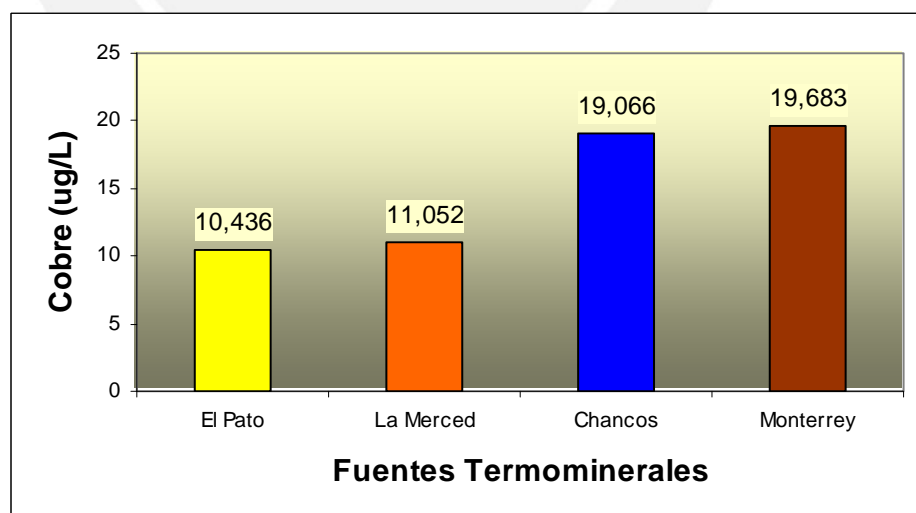


Figura 26. Contenido de cobre

### k) Plomo

Los valores obtenidos para Chancos y Monterrey oscilan entre 35,935 – 58,473  $\mu\text{g/L}$ , como se muestra en la figura 27, mientras que los valores obtenidos para El Pato y La Merced son inferiores al límite de detección del método (anexo II.7).

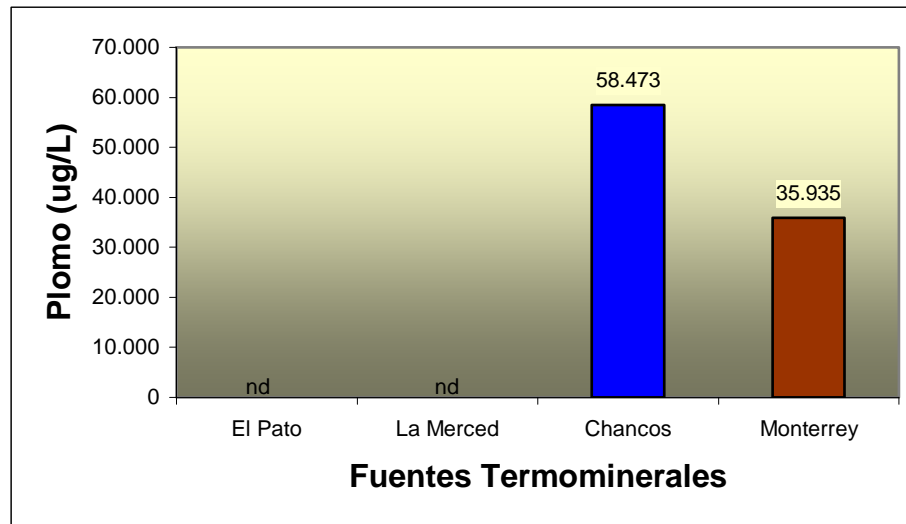


Figura 27. Contenido de plomo

### l) Cobalto

Los valores medidos oscilan entre 14,547 – 37,026  $\mu\text{g/L}$ , la figura 28 muestra estos valores, siendo mayor en Chancos y menor en El Pato, mientras que el valor medido para La Merced es inferior al límite de detección del método (anexo II.7).

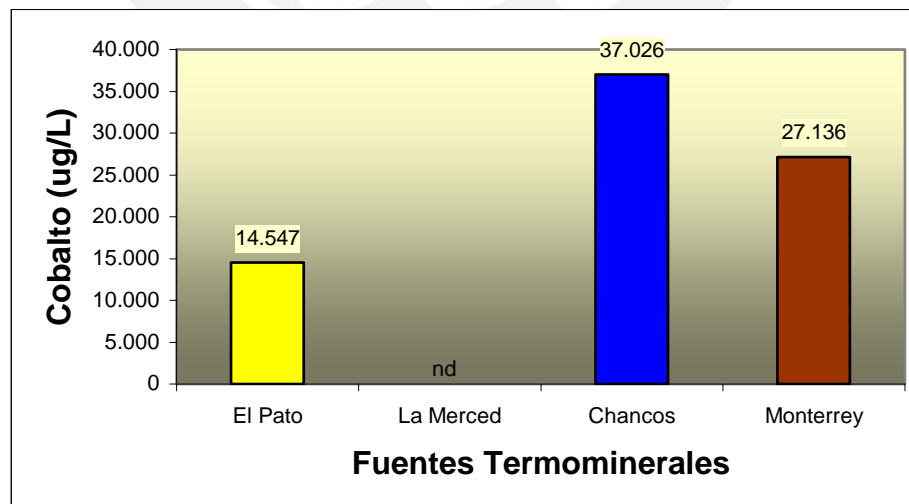


Figura 28. Contenido de cobalto

**m) Hierro**

Los valores medidos oscilan entre 0,056 – 7,667 mg/L, la figura 29 muestra los valores medidos, siendo mayor el contenido de hierro en La Merced y menor en Chancos.

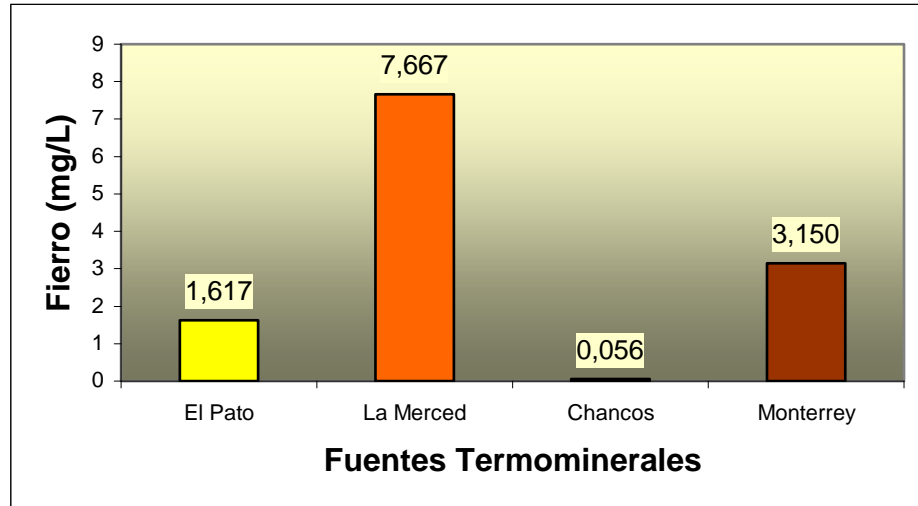


Figura 29. Contenido de hierro

**n) Aluminio**

Los valores medidos oscilan entre 0,455 – 2,017 mg/L, la figura 30 muestra estos valores, siendo mayor en El Pato y menor en Monterrey.

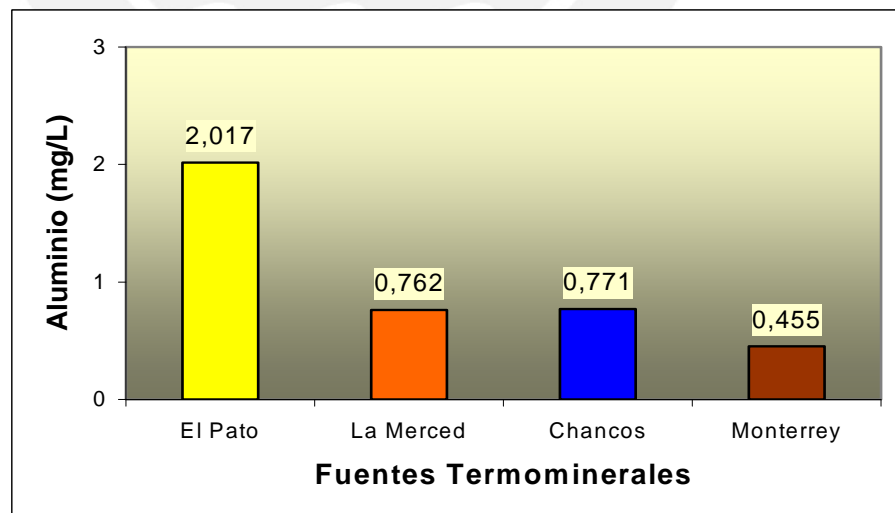


Figura 30. Contenido de aluminio

### 5.3.3 Resultados de los constituyentes no metálicos disociados

#### a) Fluoruro

Los valores medidos oscilan entre 0,476 – 1,762 mg/L, la figura 31 muestra estos valores, siendo mayor la concentración de fluoruro en la fuente de Chancos y menor en La Merced.

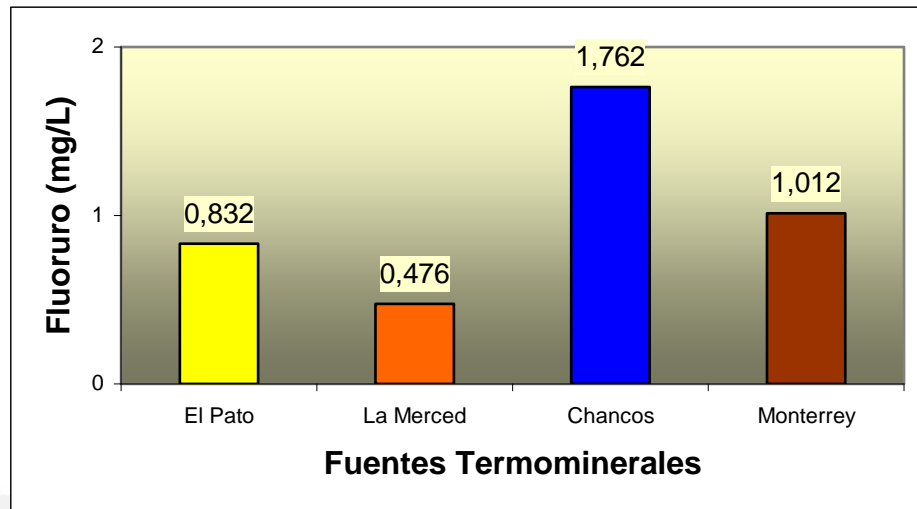


Figura 31. Contenido de fluoruro

#### b) Cloruro

Los valores obtenidos oscilan entre 103,463 – 1 707,650 mg/L, la figura 32 muestra los valores medidos, siendo mayor el contenido de cloruro en las fuentes de Monterrey y Chancos y menor en El Pato y La Merced respectivamente.

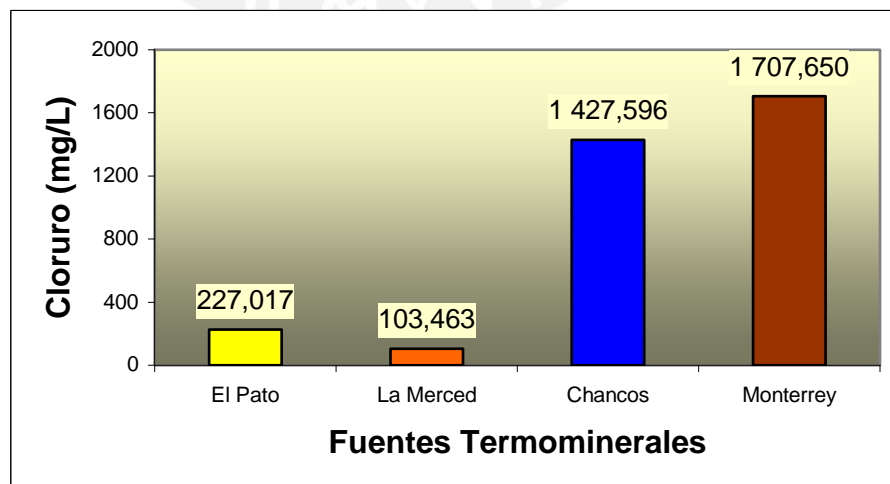


Figura 32. Contenido de cloruro

### c) Bromuro

Los valores medidos oscilan entre 0,227 – 1,178 mg/L, la figura 33 muestra estos valores, siendo mayor en Monterrey y menor en La Merced, mientras que el valor obtenido para El Pato es inferior al límite de detección del método (anexo II.7).

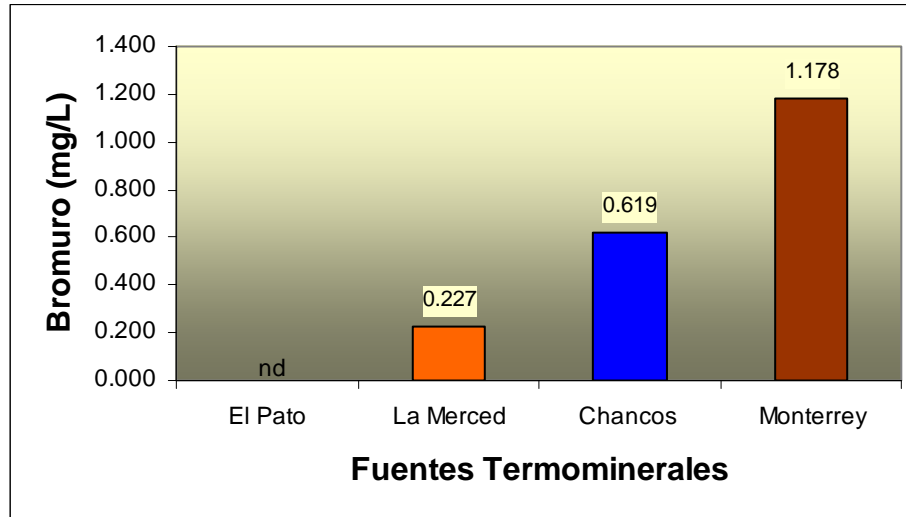


Figura 33. Contenido de bromuro

### d) Yoduro

Los valores medidos oscilan entre 0,039 – 0,156 mg/L, la figura 34 muestra estos valores, siendo mayor la concentración de yoduro en Monterrey y Chancos y menor en El Pato y La Merced.

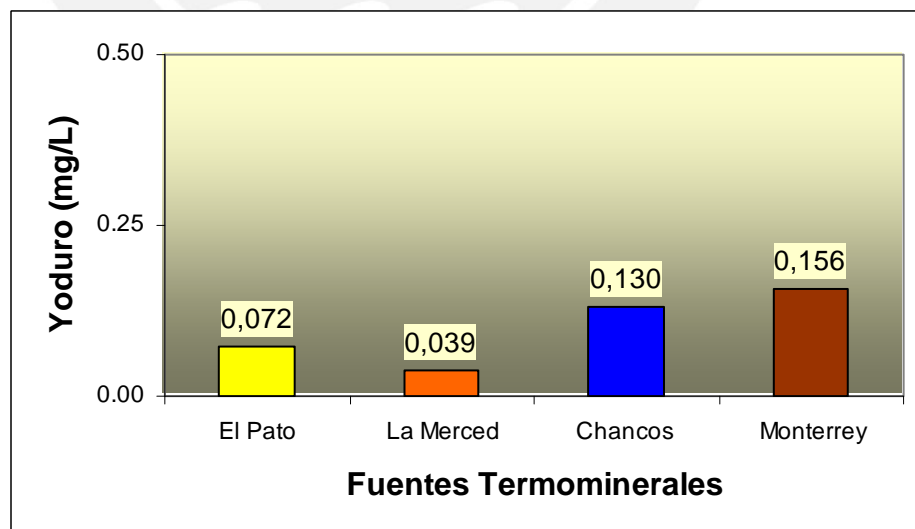


Figura 34. Contenido de yoduro

### e) Bicarbonato

Los valores medidos oscilan entre 292,800 – 906,053 mg/L, la figura 35 muestra estos valores, siendo mayor la concentración de bicarbonato en Chancos y menor en La Merced.

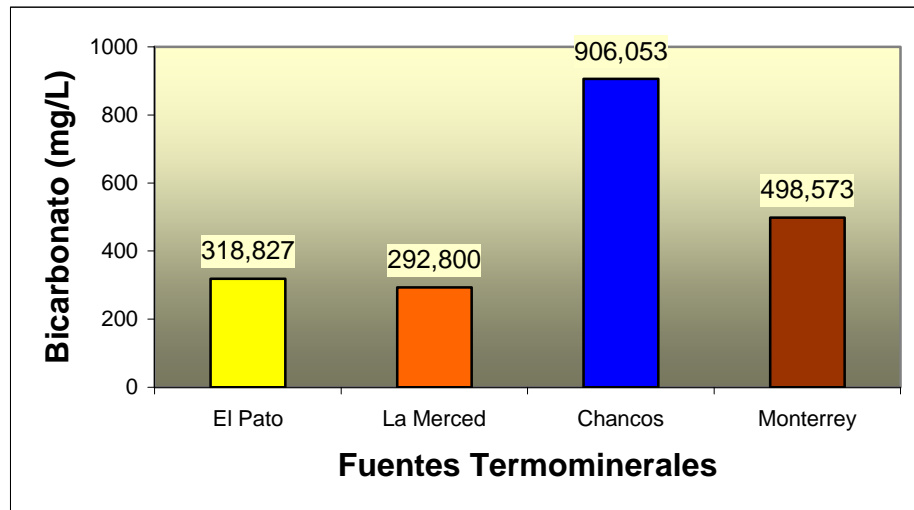


Figura 35. Contenido de bicarbonato

### f) Nitrato

Los valores medidos oscilan entre 0,448 – 1,461 mg/L, la figura 36 muestra estos valores, siendo mayor en La Merced, Chancos y Monterrey, y menor en El Pato.

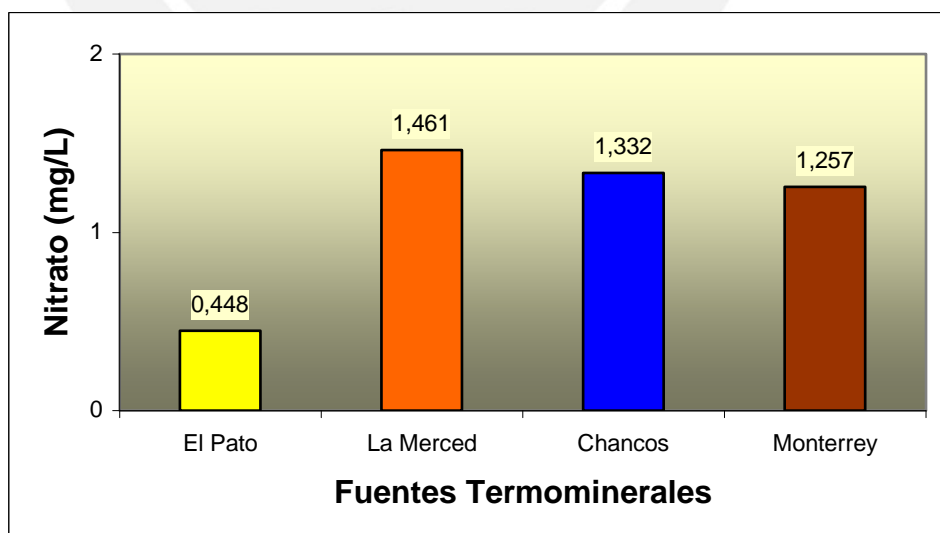


Figura 36. Contenido de nitrato



### g) Carbonato

Los valores medidos en las fuentes estudiadas son inferiores al límite de detección del método que es 1 mg/L (anexo II.7) por tanto, los resultados se expresaron como no detectados.

### h) Sulfato

Los valores medidos oscilan entre 18,522 – 190,962 mg/L, la figura 37 muestra los valores medidos, siendo la concentración de sulfato mayor en El Pato y menor en La Merced, mientras que en Monterrey la concentración medida es menor al límite de detección del método que es de 10 mg/L (anexo II.7).

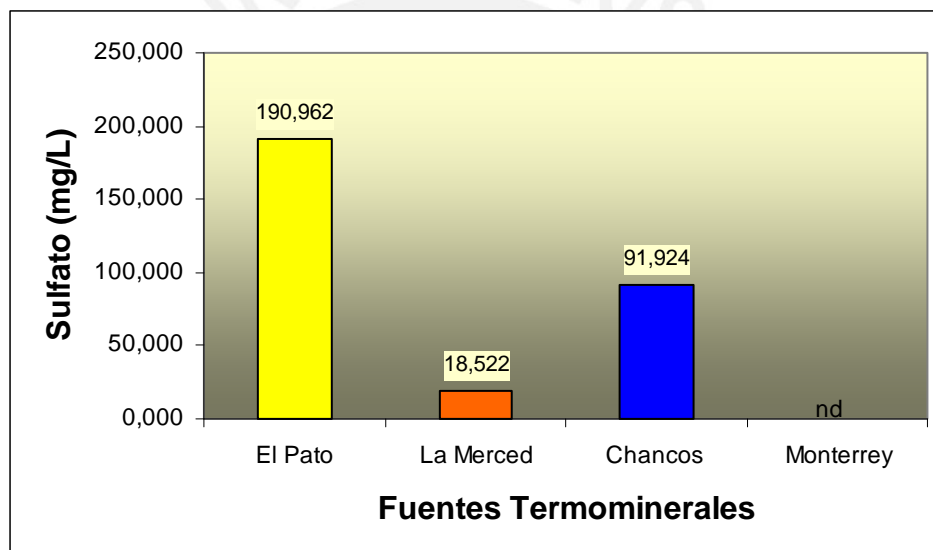


Figura 37. Contenido de sulfato

### i) Fosfato

Los valores medidos oscilan entre 0,150 – 0,516 mg/L de fosfato, la figura 38 muestra los valores medidos, donde las concentraciones más altas corresponden a Chancos y El Pato y las concentraciones menores a Monterrey y La Merced respectivamente.

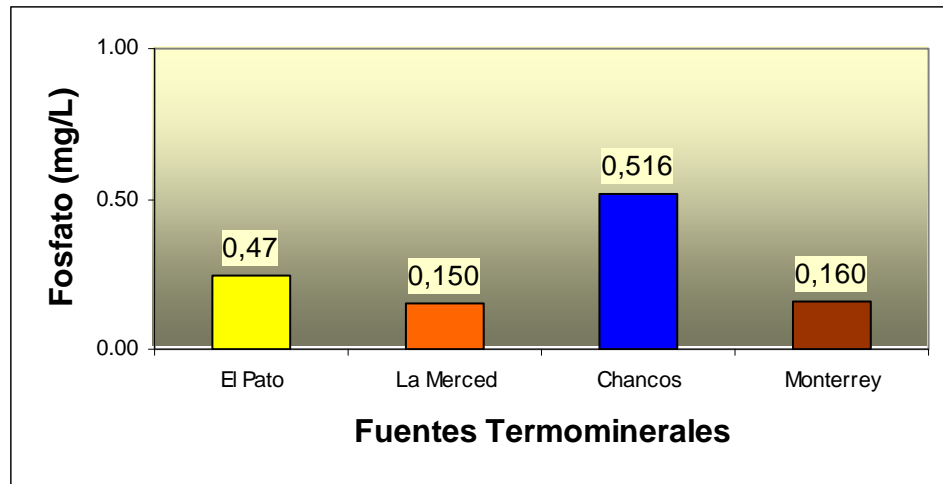
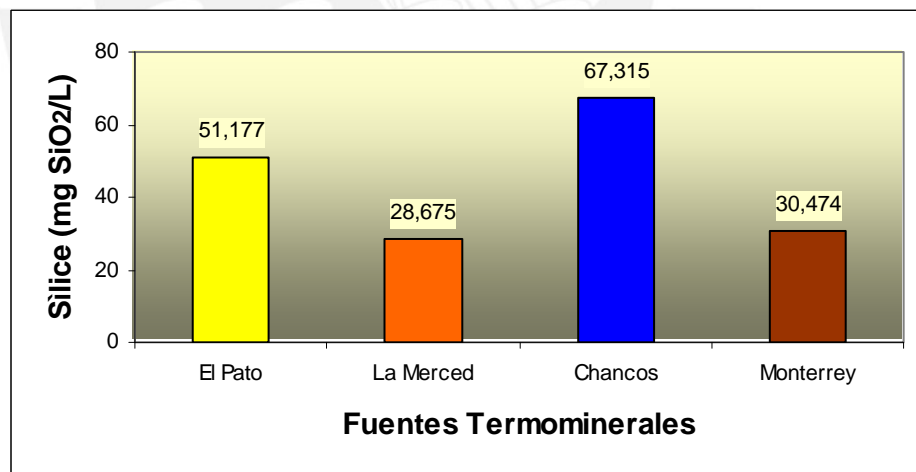


Figura 38. Contenido de fosfato

### 5.3.4 Resultados de los constituyentes no metálicos no disociados

#### a) Silicio

Los valores medidos oscilan entre 28,675 – 67,315 mg/L de SiO<sub>2</sub> (sílice), la figura 39 muestra los valores medidos, siendo mayor la concentración en la fuente de Chancos y menor en La Merced.

Figura 39. Contenido de silicio como SiO<sub>2</sub>

#### b) Boro

Los valores medidos oscilan entre 19,842 – 293,735 mg/L de HBO<sub>2</sub>, la figura 40 muestra estos valores, siendo mayor en Monterrey y menor en El Pato y La Merced.

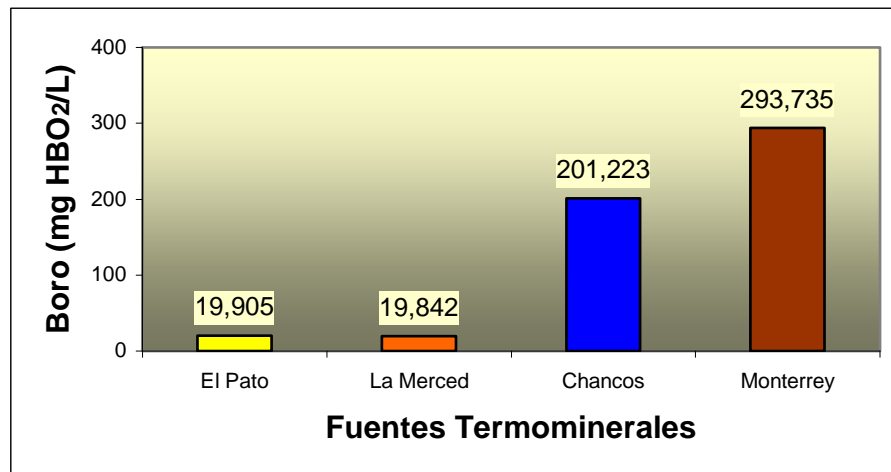


Figura 40. Contenido de boro como HBO<sub>2</sub>

### 5.3.5 Resultados de los gases libres

#### a) Dióxido de carbono libre

Los valores medidos oscilan entre 165,352 – 281,424 mg/L de CO<sub>2</sub>, la figura 41 muestra estos valores medidos, siendo mayor la concentración en la fuente de La Merced, seguido de Monterrey, El Pato y Chancos respectivamente.

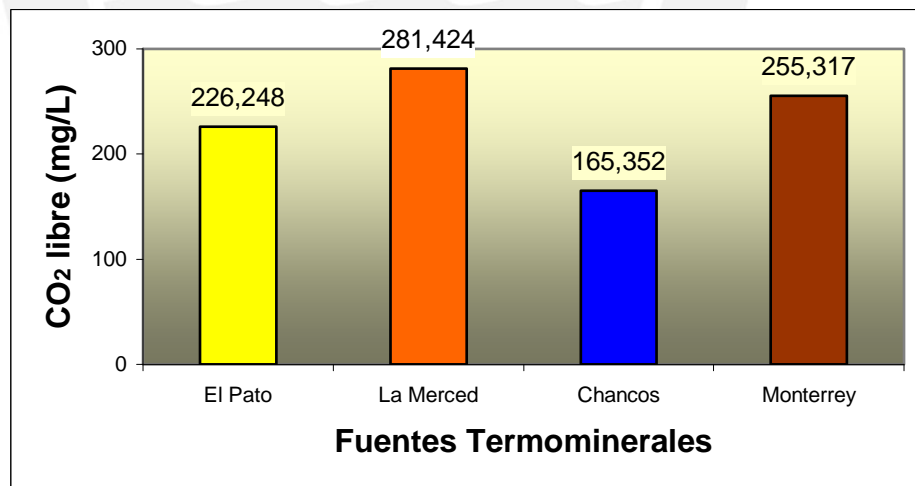


Figura 41. Contenido de CO<sub>2</sub> libre

#### b) Sulfuro de hidrógeno libre

Las concentraciones obtenidas en las cuatro fuentes termominerales estudiadas es inferior al límite de detección del método que es de 1 mg/L de H<sub>2</sub>S (anexo II.7), por tanto, los resultados se expresaron como no detectados.

## 6. DISCUSIONES

### 6.1 Discusión de los resultados de las propiedades fisicoquímicas

#### a) Color

El color de las aguas estudiadas depende del tipo y cantidad de sustancias disueltas. Estas aguas al emerger son casi incoloras, en grandes volúmenes Chancos toma un color verdoso transparente por la presencia de cloruros, mientras que las fuentes restantes presentan un color verdoso con suspensiones pardo rojiza, por la presencia de cloruros y hierro (III) como hidróxido. La OMS fija una concentración máxima admisible de 50 UC (anexo II.1), para aguas de bebida por tanto, las fuentes de Monterrey, El Pato y La Merced exceden este límite.

#### b) Olor

La apreciación sensorial a tierra húmeda que se percibe en las fuentes estudiadas, se deben a su desplazamiento por el interior de la tierra a temperaturas altas.

#### c) Sabor

Depende del grado de mineralización de cada fuente. El sabor salado que predomina en estas aguas se debe principalmente a la presencia de cloruro de sodio, el sabor metálico a la presencia de hierro y manganeso y el sabor amargo a la presencia de sulfato.

#### d) Depósito o sólidos sedimentados

Se originan por la sedimentación de las partículas en suspensión, formando capas sólidas en el fondo y curso del manantial. Los depósitos encontrados son de color pardo rojizo y blanco, el primero contiene principalmente hierro y el segundo carbonato, como componentes mayoritarios, los cuales fueron determinados cualitativamente.

#### e) Densidad

La densidad de las aguas estudiadas depende del grado de mineralización. Los resultados indican valores ligeramente mayores a la unidad, debido a la baja mineralización de las fuentes mencionadas.

**f) Temperatura**

La temperatura de las cuatro fuentes estudiadas es mayor al promedio anual de la temperatura ambiental del lugar. Su clasificación en función de su temperatura son: Chancos y El Pato hipertermales, mientras que Monterrey y La Merced termales. Las temperaturas altas son de gran interés terapéutico por la acción térmica sobre el organismo (6). Se puede afirmar que las fuentes de Chancos y El Pato son de origen profundo y no de origen volcánico por que en la Región Ancash no existen volcanes, esto explicaría sus altas temperaturas. Las temperaturas de las fuentes estudiadas exceden a las normas de aguas potables de Francia y Canadá que es de 15 °C (anexos II.2 y II.5).

**g) pH**

El pH ligeramente ácido de las fuentes de El Pato, Monterrey y La Merced, se debe principalmente a la presencia de CO<sub>2</sub>, ácidos húmicos y productos de la hidrólisis, mientras que el pH ligeramente alcalino de Chancos se debe a la presencia de bicarbonatos. La OMS fija una concentración máxima admisible entre 6,5 – 9,2 unidades de pH, para aguas de bebida (anexo II.1) en consecuencia la fuente de La Merced queda excluida para este fin.

**h) Conductividad iónica**

Este parámetro es una expresión numérica de la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica, su determinación nos da idea de la riqueza iónica de la solución. Su medición es un parámetro básico de evaluación de la aptitud del agua para riego, aguas con valores superiores a 150 mS/m, no deben ser usados en regadío (7). Las fuentes de Monterrey y Chancos no son aptas para ese fin.

**i) Sólidos totales secados a 103 – 105 °C**

Esta determinación permite estimar la cantidad de materias disueltas y en suspensión que contiene un agua dentro del rango de temperatura indicada. En aguas potables esta medición es de mayor interés. Comparando con la norma de la OMS para aguas de bebida (anexo II.1), las cuatro fuentes estudiadas exceden la concentración máxima aceptable de 500 mg/L, mientras que la concentración máxima admisible de 1 500 mg/L, son excedidas por la fuentes de Monterrey y Chancos.

**j) Sólidos totales disueltos secados a 180 °C**

En aguas minerales es frecuente esta determinación, porque es un criterio de clasificación en base a su contenido mineral (1), siendo las fuentes de La Merced y El Pato, medio mineralizadas, mientras que Monterrey y Chancos son mineralizadas débiles. En esta determinación la materia orgánica y carbonatos son destruidos, los cloruros y nitratos son parcialmente volatilizados. Este parámetro es un medio valioso para saber si el agua mantiene la constancia de su composición siempre que se proceda en condiciones análogas.

**k) Turbidez**

Las aguas que contienen hierro y manganeso, al ser expuestas al aire por acción del oxígeno se hacen turbias e inaceptables estéticamente debido, a la oxidación del hierro y manganeso solubles a Fe (III) y Mn (IV), los cuales forman precipitados coloidales de color pardo rojizo en la aguas que los contienen (19), como ocurre con las fuentes de Monterrey, El Pato y La Merced. La presencia de turbidez es desagradable a la vista y mancha la ropa. La OMS fija una concentración máxima admisible de 25 UT para aguas de bebida. Las fuentes de La Merced y Monterrey exceden este límite y no son aptas para este fin.

**l) Alcalinidad a la fenolftaleína**

Esta alcalinidad se debe principalmente a la presencia de carbonatos e hidróxidos en las aguas. Los resultados indican cantidades no detectadas de esta alcalinidad en las fuentes mencionadas.

**m) Alcalinidad al anaranjado de metilo**

La determinación de las distintas formas de alcalinidades es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de la corrosión y la evaluación de la capacidad tampón de un agua. Esta alcalinidad indica presencia de bicarbonatos en las aguas y la mayoría de las fuentes minerales lo contienen en cantidades variables, tal como lo demuestran los resultados.

**n) Dureza total**

La dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. Los principales iones que causan dureza son :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_3^{3-}$ . En la mayoría de las aguas, la dureza

total es aproximadamente igual a la suma de la dureza producida por los iones calcio y magnesio.

En términos de dureza, según Romero (20), La Merced es un agua moderadamente dura, El Pato y Monterrey son aguas duras y Chancos es un agua muy dura.

Según Rodier (7), La Merced es un agua de buena calidad, El Pato y Monterrey son aguas de calidad media y Chancos es un agua de calidad aceptable.

Según la norma Europea para aguas potables (anexo II.2), las concentraciones máximas deseables y admisibles son: 100 y 500 mg/L  $\text{CaCO}_3$  por tanto, las cuatro fuentes estudiadas exceden la concentración deseable, pero ninguna excede la concentración admisible.

**i) Dureza cálcica**

Esta dureza corresponde al contenido global de las sales de calcio en las aguas, su presencia es frecuente en las aguas minerales y es parte de la dureza total. Esta dureza con respecto a La Merced, es mayor en 3,7 veces en Chancos, 2 veces en El Pato y 1,4 veces en Monterrey.

**p) Dureza magnésica**

Esta dureza se debe al contenido global de las sales de magnesio en las aguas, es común su presencia en aguas minerales y es parte de la dureza total. Esta dureza con respecto a Monterrey, es mayor en 1,5 veces en Chancos y en el resto de las fuentes son aproximadas.

**q) Potencial redox**

Este parámetro determina el carácter oxidante o reductor del agua, el cual depende de la presencia de sustancias oxidantes y reductoras, también permite conocer la conservación de las propiedades del agua. El poder reductor de un agua será tanto mayor, cuanto más pequeño sea su potencial redox y viceversa, por lo tanto, Monterrey tiene el mayor poder reductor y La Merced el menor.

**r) Caudal**

Para la explotación de las aguas termominerales es importante el caudal, de este parámetro depende el diseño y tamaño de la infraestructura balnearia. En base al caudal fueron seleccionadas las cuatro fuentes estudiadas. Actualmente se

encuentran en explotación las fuentes de Monterrey y Chancos como centros recreativos, mientras que El Pato y La Merced se encuentran abandonadas.

## **6.2. Discusión de los resultados de los constituyentes metálicos**

### **a) Litio**

Su presencia en aguas superficiales es del orden de algunos microgramos por litro, los contenidos más altos se encuentran en las aguas minerales termales y salobres, debido a que en su recorrido atraviesan zonas volcánicas y su presencia es frecuente en las rocas eruptivas. El litio en el ser humano se utiliza para el tratamiento de trastornos mentales y a partir de 0,1 mg/L este elemento es perjudicial en el cultivo de cítricos (7). Ninguna de las fuentes estudiadas son aptas para este fin.

### **b) Sodio**

Su presencia al estado iónico es frecuente en todas las aguas minero medicinales, por que sus sales son muy solubles en el agua y en muchas de ellas el sodio es un elemento predominante, como en las cuatro fuentes estudiadas. La presencia de sodio está condicionada a la geología y a la calidad de los terrenos que atraviesan, comúnmente se encuentra como cloruro, bicarbonato y sulfato. Interviene en casi todos los procesos biológicos del hombre, de ahí, su importancia terapéutica (1).

### **c) Potasio**

Este elemento acompaña siempre al sodio en concentraciones menores, debido a su distinto comportamiento en los fenómenos de cambio y absorción. Con frecuencia las aguas ricas en potasio son de origen profundo, por tanto, las fuentes de Chancos y Monterrey son de este origen. El organismo requiere de este elemento al estado iónico para mantener su equilibrio iónico (1).

### **d) Plata**

Se encuentra en cantidades de microgramos por litro en las aguas analizadas debido a su poca solubilidad. Las normas de E.E.U.U y de Canadá fijan una concentración máxima admisible para aguas potables de 50  $\mu\text{g/L}$  (anexos: II.4 y II.5) y ninguna de las fuentes estudiadas excede esta cantidad. Una intoxicación con este elemento produce trastornos digestivos, coloración gris en la piel y argírias cutáneas (7).



**e) Magnesio**

El magnesio como el calcio son componentes comunes en las aguas, en particular en las procedentes de terrenos terciarios, es uno de los elementos que otorga dureza y produce un sabor amargo al agua. Es indispensable para mantener la integridad del sistema neuromuscular (1). La OMS fija una concentración máxima admisible para aguas de bebida de 150 mg/L (anexo II.1). Ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite.

**f) Calcio**

Se encuentra con frecuencia en las aguas debido a su amplia distribución en la naturaleza, se presenta principalmente como bicarbonato y en menor cantidad como sulfato y cloruro. En muchas aguas es un elemento predominante, como en las fuentes de El Pato y La Merced. El organismo humano necesita del calcio iónico por que desempeña importantes funciones en los líquidos extracelulares(1). La OMS fija una concentración máxima admisible para aguas de bebida de 200 mg/L. Ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite.

**g) Cinc**

Su presencia en las aguas minerales es pequeña y oscila entre 0,010 mg/L. Este elemento es esencial para el hombre, su carencia produce desarreglos, pérdida del cabello y degeneración de las uñas (5). Concentraciones de cinc por encima de 5 mg/L puede ser causa de un gusto astringente, amargo y de opalescencia en las aguas duras y produce el marchitamiento de las plantas (7). La OMS fija una concentración máxima admisible para aguas de bebida de 15 mg/L (anexo II.1) y la NTP fija una concentración máxima permisible para aguas minerales de bebida de 5 mg/L (anexo II.6). Ninguna de las fuentes estudiadas exceden estos valores.

**h) Cadmio**

La presencia de cantidades pequeñas de este elemento en las aguas se debe a la poca solubilidad de sus compuestos comunes al pH habitual del agua. La dosis tóxica por ingestión es de algunos miligramos. Aproximadamente el 5 – 10 % del cadmio ingerido es absorbido y acumulado en los riñones, su toxicidad elevada con efecto acumulativo va acompañada de trastornos renales, alteraciones óseas e hipertensión arterial (7). La OMS y NTP fijan una concentración límite para

aguas potables y minerales de bebida de 0,01 mg/L (anexos: II.1 y II.6). La fuente de Chancos excede este límite y Monterrey está muy próximo al límite propuesto.

#### **i) Manganeseo**

Este elemento suele acompañar al hierro en las aguas minerales en cantidades pequeñas, su solubilidad depende del pH y del oxígeno disuelto, es soluble en forma reducida, pero oxidado es casi insoluble. Desde el punto de vista doméstico presenta el inconveniente de manchar la ropa y el esmalte dental, da un mal sabor al agua y si precipita la turbidez producida es desagradable (7), tal como sucede con las fuentes de Monterrey, El Pato y La Merced. Su principal acción en el organismo es catalítica, es importante para el crecimiento y reproducción (5). La OMS fija una concentración máxima admisible para aguas de bebida de 0,5 mg/L (anexo II.1) y la NTP fija una concentración máxima permisible para aguas minerales de bebida de 2 mg/L (anexo II.6). Chancos es la única fuente que no excede los límites de la OMS y ninguna de las fuentes estudiadas exceden los límites de la NTP.

#### **j) Cobre**

Este elemento se encuentra en cantidades inferiores a 1 mg/L en las aguas minerales, su presencia en el organismo es importante para los metabolismos biológicos ya que actúa como un catalizador (7). La norma para aguas de bebida de la OMS fija una concentración máxima admisible de 1,5 mg/L (anexo II.1) y la NTP fija una concentración máxima permisible para aguas minerales de bebida de 1 mg/L (anexo II.6). Ninguna fuente estudiada excede estos límites.

#### **k) Plomo**

Se encuentra en cantidades pequeñas en las aguas minerales, debido a que su principal mineral la galena es poco soluble en agua. Este elemento es tóxico, se manifiesta por trastornos clínicos, anomalías biológicas y alteraciones histopatológicas, es susceptible de acumularse en el esqueleto y en los peces los efectos tóxicos se manifiestan a partir de 1 mg/L (7). La norma para aguas de bebida de la OMS, fija una concentración límite de 0,10 mg/L (anexo II.1) y la NTP fija una concentración máxima permisible para aguas minerales de bebida de 0,05 mg/L (anexo II.6). Ninguna fuente estudiada excede la norma de la OMS y solo Chancos excede la NTP.

## **l) Cobalto**

Su presencia en las aguas minerales es en cantidades inferiores a 1 mg/L, en el organismo interviene como oligoelemento en cierto número de catalizaciones enzimáticas, actúa sobre los sistemas neurovegetativo y cardiovascular (7). Se considera como concentración límite a 1 mg/L y ninguna de las fuentes analizadas excede este valor.

### **i) Hierro**

Es frecuente en aguas minero medicinales, su presencia se relaciona a su recorrido a través de terrenos primitivos o paleozoicos y zonas volcánicas. Suele encontrarse comúnmente como carbonato, bicarbonato y sulfato. Al estado ferroso es soluble en agua, precipita debido al desprendimiento de CO<sub>2</sub> y por oxidación con el oxígeno del aire forma una solución coloidal de color pardo rojizo, como ocurre con las fuentes de La Merced, Monterrey y El Pato. Toda agua que contenga más de 10 mg/L de hierro, se considera ferruginosa prescindiendo de los restantes componentes de la misma y ninguna de las cuatro fuentes estudiadas es ferruginosa.

En terapéutica sólo se utilizan las aguas bicarbonatadas ferruginosas, el hierro interviene en la hematopoyesis y constitución de enzimas respiratorias, en particular de los citocromos de tan importante intervención en las oxidaciones (1). La norma para aguas de bebida de la OMS fija una concentración máxima admisible de 1 mg/L (anexo II.1) y sólo Chancos no excede este límite.

### **n) Aluminio**

Este elemento al estado iónico se encuentra en cantidades pequeñas en numerosas aguas minerales. En cantidades abundantes provoca una ligera opalescencia y un sabor metálico, no es tóxico y su acción fisiológica es parecida al hierro y actúa como un astringente (10). El agua de buena calidad no debe sobrepasar de 5 mg/L (7). Ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite.

## **6.3. Discusión de resultados de los constituyentes inorgánicos no metálicos**

### **a) Fluoruro**

La mayoría de los fluoruros son de baja solubilidad, las aguas superficiales tienen una concentración menor a 1 mg/L, en aguas minerales su presencia es variable y

en aguas eruptivas profundas su proporción es elevada. El flúor tiene gran afinidad con los tejidos calcificados y se emplea en la prevención de caries dentales, una concentración de 0,7 – 1,2 mg/L es deseable en suministros de agua pública para una salud óptima dental. A menores concentraciones la caries dental es un problema serio, mientras que a mayores concentraciones se presentan fluorosis dental y otros efectos tóxicos (20). La norma Europea (anexo II.2) y la Organización Panamericana de la Salud, recomiendan una concentración límite para aguas potables de 1,5 mg/L, mientras que la NTP fija una concentración máxima permisible para aguas minerales de bebida de 2 mg/L (anexo II.6). Sólo Chancos excede el límite de la norma Europea y de la OPS y ninguna fuente excede la NTP.

#### **b) Cloruro**

Se encuentra siempre en proporción variable en todas las aguas minerales debido a su amplia distribución en la naturaleza, las aguas ricas en cloruros proceden de terrenos sedimentarios y terciarios y en menor proporción de las aguas profundas (1) y se encuentra como ión predominante en las cuatro fuentes estudiadas. Las aguas cloruradas actúan de forma diferente en el organismo, según su concentración y mineralización asociada, su presencia corrige la deficiencia de este ión en el organismo, proporciona al agua propiedades estimulantes de la secreción gástrica, de la vitalidad celular y por consiguiente para la nutrición general (10). Según la OMS la concentración máxima admisible para aguas de bebida es de 600 mg/L (anexo II.1). Monterrey y Chancos exceden este límite.

#### **c) Bromuro**

Puede encontrarse en ciertas aguas de origen profundo o en las regiones costeras, las concentraciones son del orden del miligramo por litro y se encuentra asociado al ión cloruro. Se considera agua bromurada cuando su concentración es mayor a 5 mg/L y ninguna fuente excede este límite. Este anión puede ser absorbido por la piel y al estado elemental tiene acción bactericida y se utiliza para la esterilización de las aguas de piscina (10). Según Rodier (7), ciertos países han fijado una concentración límite de 2 mg/L para las aguas potables y ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite.

**d) Yoduro**

Se encuentra con relativa frecuencia en las aguas de tipo sódico – clorurada o clorurada- sódica, como en las fuentes de Monterrey y Chancos. Este anión es importante desde el punto de vista médico, tiene efecto estimulante sobre todo el organismo, especialmente sobre los órganos de reproducción, la falta de yodo en los alimentos y aguas potables es la responsable del bocio endémico (10). Se denomina aguas yoduradas a las que tienen como mínimo 5 mg/L. Ninguna de las fuentes estudiadas son yoduradas.

**e) Bicarbonato**

Los compuestos calcáreos son los más abundantes en la naturaleza y son los iones bicarbonatos los primeros en estar presentes en la mayoría de las aguas. En aguas subterráneas se encuentra en cantidades variables y en muchas de ellas como componente mayoritario, como en las fuentes de La Merced, Chancos y El Pato. Las aguas bicarbonatadas no son tóxicas y su acción más importante es la de modificar la secreción gástrica, pero es más destacable su acción antiácida (10).

**f) Nitrato**

La presencia de nitratos en aguas subterráneas se debe a los terrenos que recorre el agua y no a la contaminación con materias orgánicas en descomposición. Se deben rechazar las aguas de consumo diario con elevadas proporciones de nitrato, por que contribuye a una enfermedad infantil llamada metahemoglobinemia (7). La OMS y la NTP fijan una concentración límite para aguas de bebida y minerales de bebida de 45 mg/L (anexos II.1 y II.6) y ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite.

**g) Carbonato**

Su presencia en aguas minerales es muy variada, se forma como un derivado del ácido carbónico a expensas de dióxido de carbono disuelto en las aguas. En el organismo actúa como amortiguador de la acidez y mantiene constante la alcalinidad iónica en la sangre (10). En las fuentes analizadas no se detectó este ión.

**h) Sulfato**

Su presencia es frecuente en cantidades variables en las aguas minerales, se debe a los terrenos triásicos que atraviesa en su recorrido, en algunas fuentes se

presenta como componente mayoritario, como en El Pato. Este anión comunica un sabor amargo al agua, por tanto son desagradables para su consumo. Un contenido superior a 480 mg/L las hace impropias para la agricultura, sin embargo ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite (7). Para aguas de bebida la OMS fija una concentración máxima admisible de 400 mg/L (anexo II.1) y ninguna fuente lo excede.

#### **i) Fosfato**

Su presencia en aguas subterráneas se debe a los terrenos atravesados y no a la descomposición de la materia orgánica. En el organismo desempeña un papel importante en la osificación, en el mantenimiento del equilibrio ácido-base, entre otros (10). Para aguas de alimentación se puede admitir hasta 1 mg/L de fosfato, si su presencia no se debe a una contaminación humana o animal (7). Ninguna de las fuentes estudiadas excede este límite.

#### **j) Silicio**

La mayoría de las aguas minerales tienen cantidades apreciables de silicio bajo la forma de sílice libre, coloidal o anión silícico. Su presencia en las aguas se debe a la lixiviación de las rocas graníticas, facilitada por la presencia del dióxido de carbono a un pH ácido. Las aguas de origen profundo pueden contener cantidades considerables de sílice, como Chancos y El Pato (1). A este compuesto se le atribuye un carácter cicatrizante, tiene virtudes depurativas y antisépticas, se le atribuye propiedad bactericida (10). Un agua potable de buena calidad no debe contener más de 20 mg/L de  $\text{SiO}_2$ , y se puede tolerar hasta 40 mg/L (7). Se comprobó que Chancos y El Pato exceden este límite.

#### **k) Boro**

Con cierta frecuencia se encuentra en las aguas minerales, si son de origen volcánico y profundo se presenta en concentraciones altas en forma de ácido metabórico o metaboratos de escasa disociación, como en las fuentes de Monterrey y Chancos. La ingestión de cantidades significativas de boro afecta al sistema nervioso central y si es prolongada da lugar al síndrome del borismo. En forma ácida se le considera como antiséptico, cicatrizante y desinfectante de los tejidos (10). El agua de irrigación no debe contener más de 2 mg/L B (8,12 mg/L  $\text{HBO}_2$ ) (6). En base a nuestros resultados se puede afirmar que ninguna fuente

estudiada es apta para irrigación. La norma para aguas potables de Canadá, fija una concentración máxima admisible de 5 mg/L B (20,3 mg/L HBO<sub>2</sub>) y para aguas minerales de bebida la NTP fija una concentración máxima permisible de 30 mg/L H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (21,3 mg/L HBO<sub>2</sub>) (anexos II.5 y II.6). Las fuentes de Monterrey y Chancos exceden estos límites, es decir no son aptas para esos fines.

#### **l) Dióxido de carbono libre**

Las aguas superficiales no contienen más de 10 mg/L de CO<sub>2</sub>, pero las aguas subterráneas pueden presentar contenidos elevados y liberarlos rápidamente al contacto con la atmósfera. El CO<sub>2</sub> se presenta en aguas de origen profundo y es frecuente en aguas bicarbonatadas como en La Merced, Chancos y El Pato. Interviene en el equilibrio ácido carbónico-carbonato, otorgando al agua un sabor agradable sin inconveniente para la salud (10).

Un agua mineral se denomina carbogaseosa, si contiene 1g/L o más de residuos fijos y 500 mg/L de CO<sub>2</sub>, y en aguas oligomineralizadas debe contener por lo menos 1000 mg/L de CO<sub>2</sub> (5). Ninguna fuente estudiada es de este tipo.

#### **m) Sulfuro de hidrógeno libre**

Su presencia en las aguas subterráneas se debe a la hidrólisis de los sulfuros o a yacimientos de pirita con las que contacta el agua en su recorrido, proporciona al agua un olor y sabor desagradable, en dosis altas son tóxicas. Se recomienda para enfermedades crónicas de la piel, reumatismo, ciática y lumbago (10), en las fuentes estudiadas este compuesto no fue detectado.

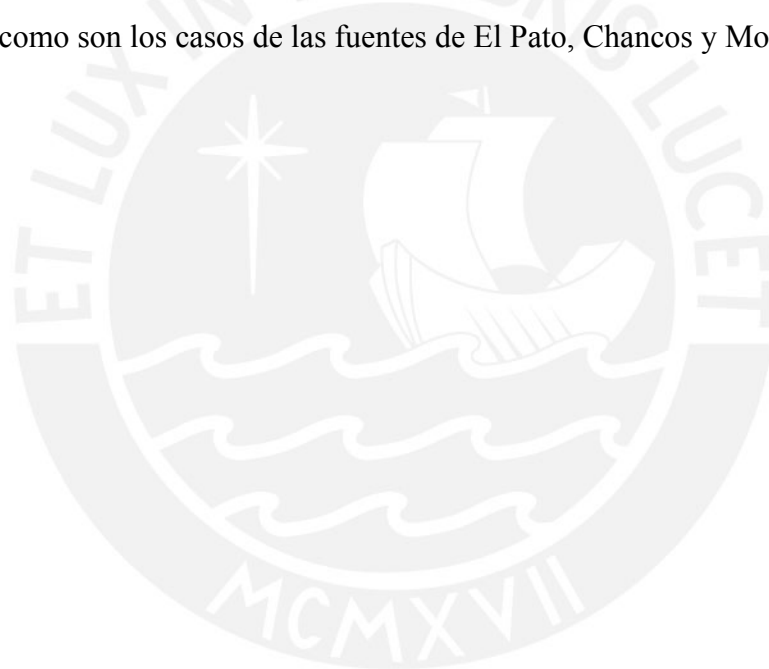
## 7. CONCLUSIONES

1. Los componentes catiónicos y aniónicos mayoritarios en las fuentes estudiadas son: sodio, calcio, cloruro, bicarbonato y sulfato.
2. La clasificación de las fuentes termominerales estudiadas en función de sus cationes y aniones predominantes son:
  - El Pato : Sódica-Clorurada-Bicarbonatada-Sulfatada-Cálcica
  - La Merced : Bicarbonatada-Sódica-Clorurada-Cálcica.
  - Chancos : Sódica-Clorurada-Bicarbonatada.
  - Monterrey : Clorurada-Sódica.
3. Las fuentes termominerales estudiadas en función de su temperatura se clasifican en:
  - El Pato : hipertermal
  - La Merced : termal
  - Chancos : hipertermal
  - Monterrey : termal
4. En base a su contenido mineral, las fuentes termominerales estudiadas, se clasifican en:
  - El Pato : agua medio mineralizada
  - La Merced : agua medio mineralizada
  - Chancos : agua mineralizada débil
  - Monterrey : agua mineralizada débil
5. En base a los valores de la presión osmótica, todas las fuentes son del tipo hipotónicas.
6. Las aguas termominerales estudiadas son medicamentos naturales complejos con un contenido coloidal, una evidente actividad iónica, variada presencia de componentes químicos, muchos en proporciones



bajísimas pero no por eso menos importantes que obligan a estudiarlas como un todo para obtener su plena acción terapéutica.

7. Las propiedades medicinales de estas aguas pueden complementarse con las características paisajísticas y climáticas del Callejón de Huaylas, pudiendo ofrecerse como importantes centros turísticos de salud termal.
8. Las aguas termominerales de El Pato, La Merced, Chancos y Monterrey, no son aptas para la alimentación, ni deben ser utilizadas para riego en la agricultura.
9. Comparando los resultados del presente estudio con los de Zapata (16), realizados entre 1943 - 1948, se observan variaciones en las concentraciones de los componentes de estas fuentes termominerales, como son los casos de las fuentes de El Pato, Chancos y Monterrey.



## 8. RECOMENDACIONES

1. Llevar un registro permanente de la composición química de las fuentes termominerales de El Pato, La Merced, Chancos y Monterrey para conocer la variabilidad de sus componentes con el transcurso del tiempo.
2. Se recomienda la medición del grado de radiactividad de las fuentes termominerales estudiadas.
3. Se recomienda la explotación de las fuentes termominerales de El Pato y La Merced por sus propiedades medicinales, caudal y excelentes condiciones ambientales de ubicación.
4. Las entidades públicas y privadas relacionadas con el turismo deberían proponer estrategias para incentivar el turismo de salud termal en el Callejón de Huaylas.
5. Que la DRIT-Huaraz, realice un censo regional de este recurso natural para conocer el número de fuentes termominerales existentes en la Región Ancash, luego mandar hacer los estudios fisicoquímicos y terapéuticos de estas fuentes con el fin de utilizarlas apropiadamente e incentivar la explotación de este recurso natural.

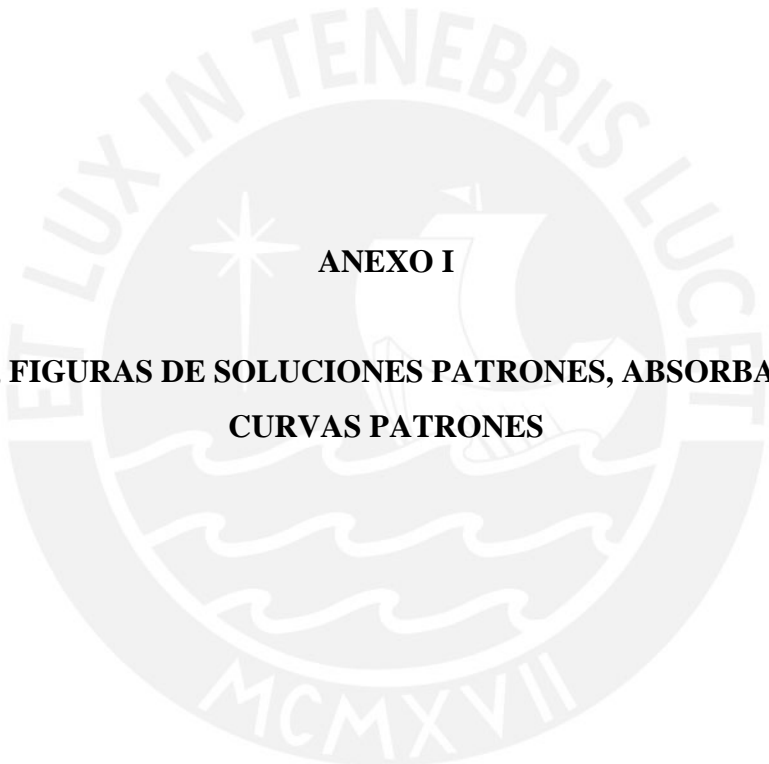
## 9. BIBLIOGRAFIA

1. ARMIJO, V., Compendio de Hidrología Médica. Editorial Médica, Barcelona - España (1968).
2. LOAYZA, F., Panorama Hidrotermal del Perú. Ministerio de Salud, Lima - Perú, (1975).
3. RAYMONDI, A., El Perú - Aguas Minerales, Editorial Técnicos Asociados, Lima - Perú (1965-1966).
4. Reglamento *Aguas Minero Medicinales para Fines Turísticos*, Decreto Supremo N° 05-94-ITINCE, del 27 de Abril de 1994. Diario Oficial El Peruano del 28 de Abril de 1994, Lima - Perú, p. 122618 - 122621.
5. PRAZAK, L., Crenología Peruana. Corporación Nacional de Turismo, Lima - Perú (1949).
6. APHA - AWWA - WPCF, Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales. Editorial Díaz de Santos, S.A., 17<sup>ma</sup> Edición, Madrid - España, p. 2.1 - 4.235 (1992).
7. RODIER, J., Análisis de las aguas. Editorial Omega S.A.. Barcelona - España (1981).
8. RICHARDSON, S. D., Water Analysis. *Analytical Chemistry*, **73**, p. 2719 - 2734 (2001).
9. VEN TE CHOW – MAIDMENT – MAYS, Hidrología Aplicada. Editorial Mc Graw Hill, Santafé de Bogotá – Colombia, p. 2 – 5 (1994).
10. ZAPATA, R., Aguas Minerales del Perú. Primera parte, Ministerio de Energía y Minas, Lima – Perú (1971)
11. RAMOS, O., Criterios de Clasificación de Aguas Termales. *Revista Española de Geología y Minería (Hidrología)*, **7**, p. 34-36 (1975).
12. <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Cie-Hist/med-grie/Medgrieg.htm>
13. [http://geosalud.com/aguas\\_termales/aguas\\_termales.htm](http://geosalud.com/aguas_termales/aguas_termales.htm)

14. <http://www.risaralda.com.co/termalismo/termalismo04b.php>
15. [http://www.buscasalud.com/boletin/analisis/2002\\_04\\_04\\_13\\_29\\_34.html](http://www.buscasalud.com/boletin/analisis/2002_04_04_13_29_34.html)
16. [http://www.publispain.com/balnearios/aguas\\_termales.html](http://www.publispain.com/balnearios/aguas_termales.html)
17. ZAPATA, R., Aguas Minerales del Perú. Segunda parte, Ministerio de Energía y Minas, Lima – Perú (1973).
18. CATALAN LA FUENTE, J., Química del Agua. Reverté S.A., Madrid - España (1969).
19. KEMMER Y Mc CALLION, Manual del Agua. Tomo I. *Nalco Chemical Company*, Mc Graw Hill, México (1989).
20. ROMERO, J., Calidad del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería Alfaomega, México (1999).
21. WARING, G. A., Thermal Springs of the United States and Other Countries of the World a Summary. *Geological Survey Professional paper 492*, United States Government, p. 1 - 9; 93 - 96 (1965).
22. MACHADO, M. J., Estudos notas e Trabalhos, Controle físico-químico das Aguas Termales, Contributo para una Metodología, *Direccao Geral de Geología e Minas servico de Fomento Mineiro e Laboratorio da DGGM*, tomo **27**, Porto, p. 55 – 57 (1985).
23. Mc CURDY, W. H., Volumetric and Gravimetric Analytical Methods for Inorganic Compounds. *Analytical Chemistry*, **38**, p. 469R - 478R (1966)
24. Guía Operativa: GEMS/AGUA, Programa sobre Monitoreo y Evaluación Global de la Calidad de Agua. Métodos Analíticos, Burlington – Ontario, Canadá, 3<sup>ra</sup> Edición, Cap. III, p. 1 – 21 (1994).
25. WILLARD Y MERRIT, Métodos Instrumentales de Análisis. Editorial Iberoamericana, México (1991).
26. PECSOK Y SHIELDS, Métodos Modernos de Análisis Químicos. Editorial Limusa S.A., México (1992).
27. BABKO Y PILIPENKO, Photometric Analysis: Methods of Determining non Metals. Editorial MIR, Moscú (1976).
28. BOLTZ Y MELLON, Light Absorption Spectrometric. *Analytical Chemistry*, **38**, p. 317R - 330R (1966)

29. BABCOCK, R. H., Instrumentación y Control en el Tratamiento de Aguas Potables, Industriales y Desechos. Limusa S. A, México (1982).
30. MARGOSHES Y SCRIBNER, Emisión Spectrometry. *Analytical Chemistry*, **38**,p. 297R - 310R (1966)
31. MORCILLO R., Espectroscopía Atómica. Editorial Alambra, Madrid – España (1972).
32. INRENA, Mapa Ecológico del Perú. Guía explicativa, Ministerio de Agricultura, Lima – Perú (1994).
33. PULGAR V. J., Geografía del Perú: Las Ocho Regiones Naturales. Editorial Inca S.A., 9<sup>na</sup> Edición, Perú (1987).
34. DRIT, Inventario del Patrimonio Turístico de la Región Ancash, *revista elaborada por la Dirección de Turismo – Ancash* (1999).
35. MILLER Y MILLER, Estadística para Química Analítica. Addison - Wesley Iberoamérica, 2<sup>da</sup> Edición, Delaware – EE.UU (1993).
36. MERCK, Análisis de Aguas, Darmstadt - Alemania 22/V:13/2673/1271 L (1987).





**ANEXO I**

**TABLAS, FIGURAS DE SOLUCIONES PATRONES, ABSORBANCIAS Y  
CURVAS PATRONES**

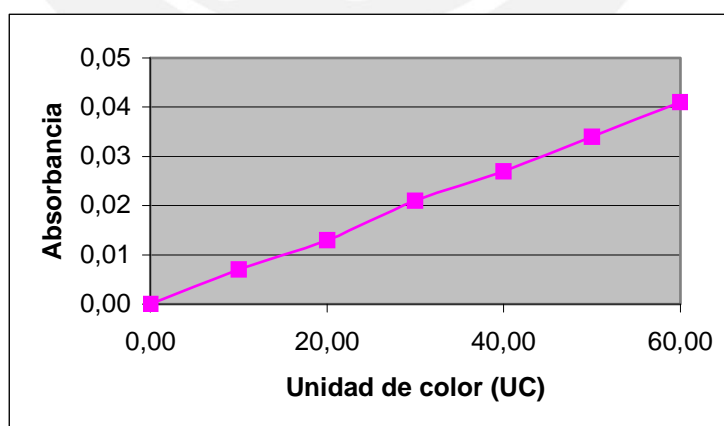
## I.1 COLOR

Tabla 19. Soluciones patrones de color

	B	1	2	3	4	5	6	7
Solución madre de 500 UC (mL)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	48,00	47,00	46,00	45,00	44,00	43,00
Unidad de color (Pt - Co): UC	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00

Tabla 20. Absorbancias de las soluciones patrones

Patrones de Color (UC)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
10,00	0,007	0,006	0,007	0,007
20,00	0,013	0,013	0,013	0,013
30,00	0,020	0,021	0,021	0,021
40,00	0,027	0,027	0,026	0,027
50,00	0,034	0,034	0,034	0,034
60,00	0,041	0,040	0,041	0,041
70,00	0,047	0,047	0,047	0,047



$$r = 0,999$$

Figura 42. Curva patrón de color



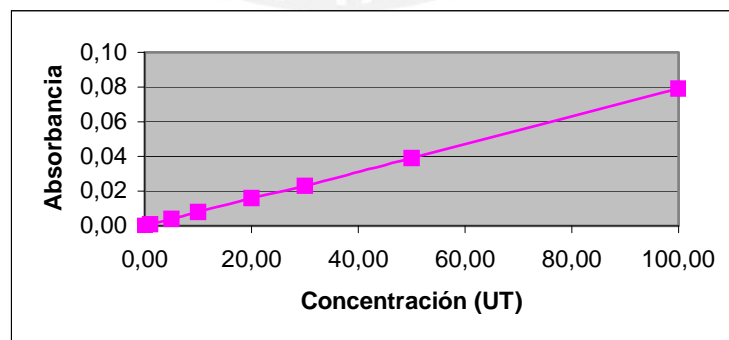
**I.2 TURBIDEZ**

Tabla 21. Soluciones patrones de turbidez

	B	1	2	3	4	5	6	7
Solución patrón de 100 UT (mL)	0,00	0,50	2,50	5,00	10,00	15,00	25,00	50,00
Agua destilada (mL)	50,0	49,50	47,50	45,00	40,00	35,00	25,00	0,00
Unidad de turbidez (UT)	0,00	1,00	5,00	10,00	20,00	30,00	50,00	100,0

Tabla 22. Absorbancias de las soluciones patrones

Patrones de Turbidez (UT)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,001	0,001	0,001	0,001
5,00	0,004	0,004	0,003	0,004
10,00	0,007	0,007	0,009	0,008
20,00	0,016	0,016	0,016	0,016
30,00	0,023	0,023	0,023	0,023
50,00	0,039	0,039	0,040	0,039
100,00	0,080	0,079	0,079	0,079



$r = 0,999$

Figura. 43. Curva patrón de turbidez

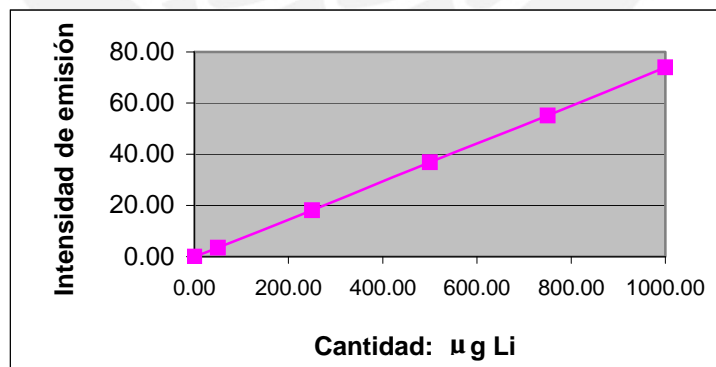
**I.3 LITIO**

Tabla 23. Soluciones patrones de litio

	B	1	2	3	4	5
Solución patrón de 100 mg Li/L (mL)	0,00	0,50	2,50	5,00	7,50	10,00
Agua bidestilada (mL)	50,00	49,50	47,50	45,00	42,50	40,00
Cantidad : $\mu\text{g Li}$	0,00	50,00	250,00	500,00	750,00	1000,00
Solución $\text{Na}_2\text{SO}_4$ - $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (mL)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Tabla 24. Intensidades de emisión de las soluciones patrones

Solución Patrón ( $\mu\text{g Li}$ )	Intensidad de emisión			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	3,50	3,50	3,50	3,50
250,00	18,25	18,00	18,10	18,12
500,00	36,75	37,00	36,90	36,88
750,00	55,00	55,25	55,10	55,12
1000,00	74,00	74,00	74,00	74,00



$r = 0,999$

Figura 44. Curva patrón del litio

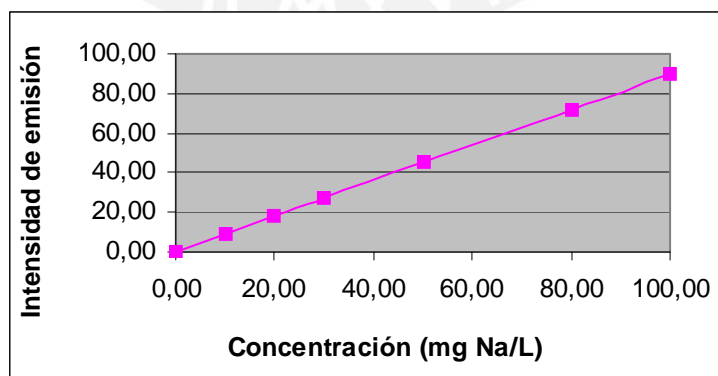
## I.4 SODIO

Tabla 25. Soluciones patrones de sodio

	B	1	2	3	4	5	6
Solución patrón de 500 mg Na/L (mL)	0,00	1,00	2,00	3,00	5,00	8,00	10,00
Agua bidestilada (mL)	50,00	49,00	48,00	47,00	45,00	42,00	40,00
Concentración: mg Na/L	0,00	10,00	20,00	30,00	50,00	80,00	100,00

Tabla 26. Intensidades de emisión de las soluciones patrones

Solución patrón (mg Na/L)	Intensidad de emisión			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	9,00	8,90	9,10	9,00
20,00	18,00	18,10	17,90	18,00
30,00	27,00	27,00	27,00	27,00
50,00	44,90	45,00	45,10	45,00
80,00	72,10	71,90	72,00	72,00
100,000	90,00	90,00	90,00	90,00



$r=1,000$

Figura 45. Curva patrón del sodio

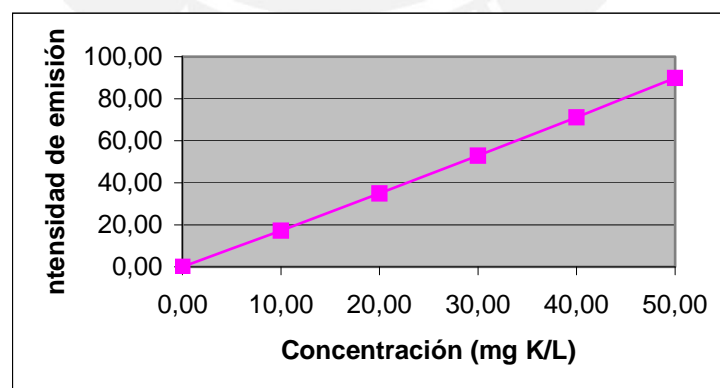
I.5 POTASIO

Tabla 27. Soluciones patrones de potasio

	B	1	2	3	4	5
Solución patrón de 500 mg K/L (mL)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Agua bidestilada (mL)	50,00	49,00	48,00	47,00	46,00	45,00
Concentración: mg K/L	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00

Tabla 28. Intensidades de emisión de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg K/L)	Intensidad de emisión			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	17,00	17,40	17,20	17,20
20,00	35,00	35,30	34,70	35,00
30,00	53,00	52,90	53,10	53,00
40,00	70,90	71,30	71,00	71,10
50,00	90,00	90,00	90,00	90,00



$r = 0,999$

Figura 46. Curva patrón del potasio

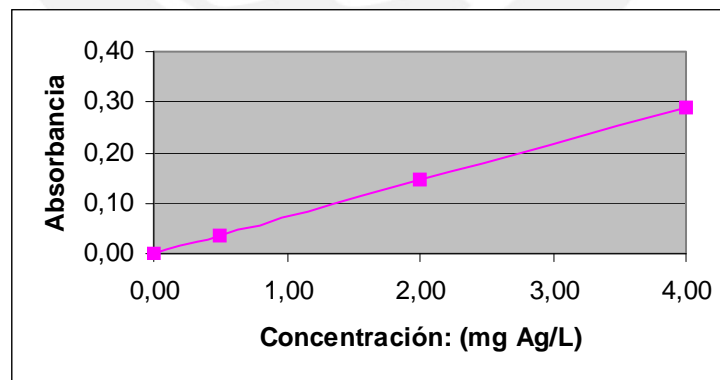
I.6 PLATA

Tabla 29. Soluciones patrones de plata

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Ag/L (mL)	0,00	0,50	2,00	4,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	48,00	46,00
Concentración: mg Ag/L	0,00	0,50	2,00	4,00

Tabla 30. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Ag/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	0,038	0,036	0,035	0,036
2,00	0,144	0,147	0,145	0,145
4,00	0,290	0,291	0,290	0,290



$r = 0,999$

Figura 47. Curva patrón de la plata

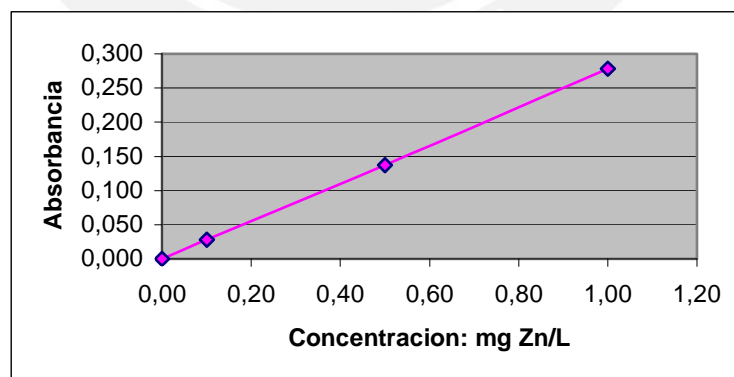
I.7 CINC

Tabla 31. Soluciones patrones de cinc

	B	1	2	3
Solución patrón de 10 mg Zn/L (mL)	0,00	0,50	2,50	5,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,50	47,50	45,00
Concentración: mg Zn/L	0,00	0,10	0,50	1,00

Tabla 32. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Zn/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,10	0,028	0,027	0,028	0,028
0,50	0,137	0,137	0,138	0,137
1,00	0,278	0,278	0,277	0,278



$r = 0,999$

Figura 48. Curva patrón del cinc

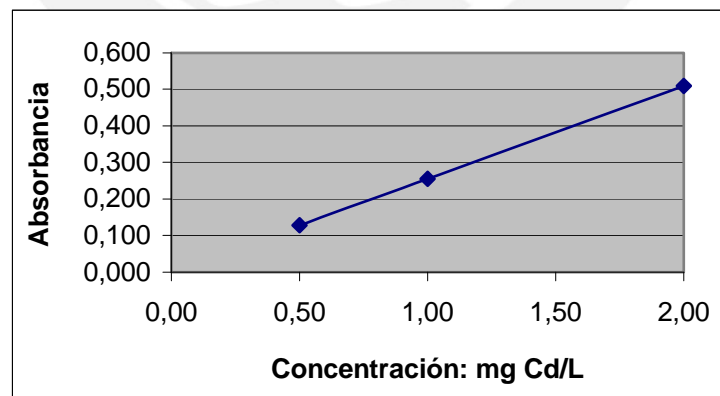
I.8 CADMIO

Tabla 33. Soluciones patrones de cadmio

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Cd/L (mL)	0,00	0,50	1,00	2,0
Agua destilada (mL)	50,00	49,50	49,00	48,00
Concentración: mg Cd/L	0,00	0,50	1,00	2,00

Tabla 34. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Cd/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	0,127	0,128	0,128	0,128
1,00	0,254	0,256	0,255	0,255
2,00	0,510	0,509	0,510	0,510



$r = 0,999$

Figura 49. Curva patrón del cadmio

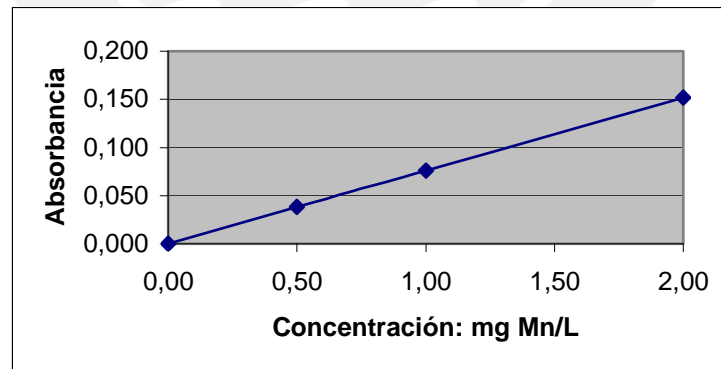
**I.9 MANGANESO**

Tabla 35. Soluciones patrones de manganeso

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Mn/L (mL)	0,00	0,0	1,00	2,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,50	49,00	48,00
Concentración: mg Mn/L	0,00	0,50	1,00	2,00

Tabla 36. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Mn/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	0,037	0,038	0,038	0,038
1,00	0,077	0,075	0,076	0,076
2,00	0,152	0,152	0,152	0,152



$r = 1,000$

Figura 50. Curva patrón del manganeso



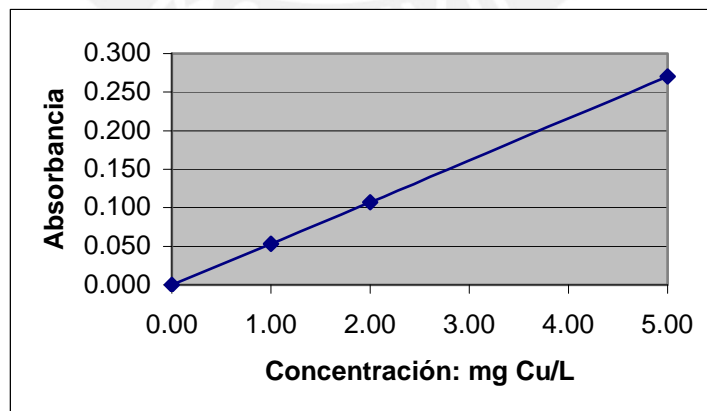
**I.10 COBRE**

Tabla 37. Soluciones patrones de cobre

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Cu/L (mL)	0,00	1,00	2,00	5,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	48,00	45,00
Concentración: mg Cu/L	0,00	1,00	2,00	5,00

Tabla 38. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Cu/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,053	0,053	0,054	0,053
2,00	0,108	0,106	0,108	0,107
5,00	0,270	0,271	0,270	0,270



$r = 0,999$

Figura 51. Curva patrón del cobre

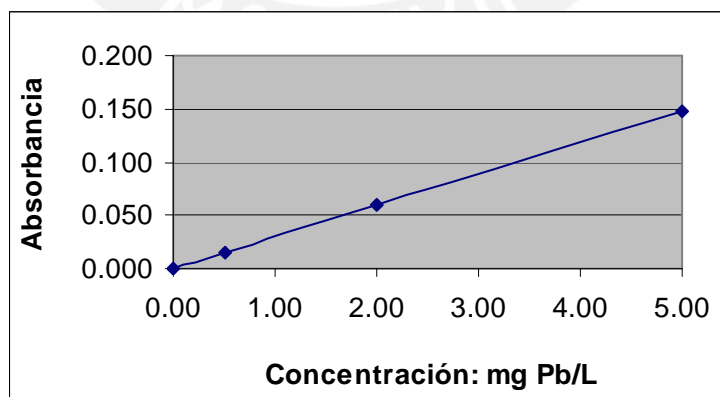
## I.11 PLOMO

Tabla 39. Soluciones patrones de plomo

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Pb/L (mL)	0,00	0,50	2,00	5,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,50	48,00	45,00
Concentración: mg Pb/L	0,00	0,50	2,00	5,00

Tabla 40. Absorbancia de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Pb/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	0,014	0,015	0,015	0,015
2,00	0,059	0,060	0,059	0,059
5,00	0,148	0,148	0,147	0,148



$$r = 0,999$$

Figura 52. Curva patrón del Plomo

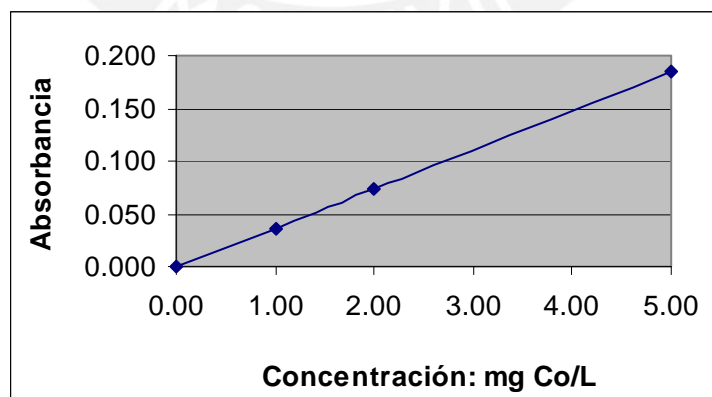
**I.12 COBALTO**

Tabla 41. Soluciones patrones de cobalto

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Co/L (mL)	0,00	1,00	2,00	5,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	48,00	45,00
Concentración: mg Co/L	0,00	1,00	2,00	5,00

Tabla 42. Absorbancia de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Co/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,036	0,036	0,037	0,036
2,00	0,074	0,073	0,074	0,074
5,00	0,185	0,185	0,185	0,185



$r = 0,999$

Figura 53. Curva patrón del Cobalto

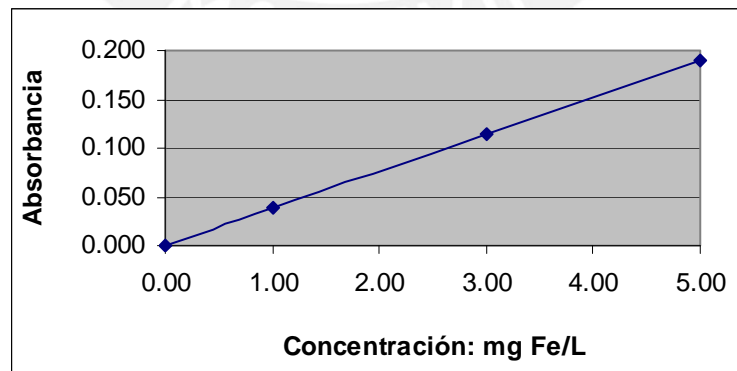
### I.13 HIERRO

Tabla 43. Soluciones patrones de hierro

	B	1	2	3
Solución patrón de 50 mg Fe/L (mL)	0,00	1,00	2,00	5,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	47,00	45,00
Concentración: mg Fe/L	0,00	1,00	3,00	5,00

Tabla 44. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Fe/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,038	0,039	0,038	0,038
3,00	0,114	0,115	0,115	0,115
5,00	0,190	0,190	0,190	0,190



$r = 0,999$

Figura 54. Curva patrón del hierro

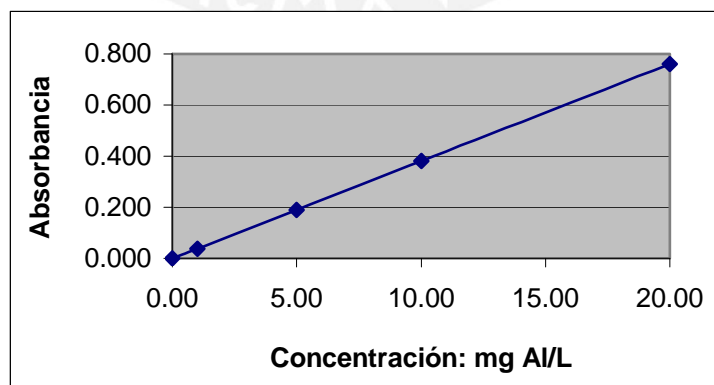
**I.14 ALUMINIO**

Tabla 45. Soluciones patrones de aluminio

	B	1	2	3	4
Solución patrón de 50 mg Al/L (mL)	0,00	1,00	2,00	5,00	20,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	45,00	40,00	40,00
Concentración: mg Al/L	0,00	1,00	2,00	5,00	2,00

Tabla 46. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Al/L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,036	0,039	0,038	0,038
5,00	0,189	0,190	0,190	0,190
10,00	0,381	0,381	0,380	0,381
20,00	0,760	0,759	0,760	0,760



$r = 0,999$

Figura 55. Curva patrón del aluminio

## I.15 FLUORURO

Tabla 47. Soluciones patrones de fluoruro

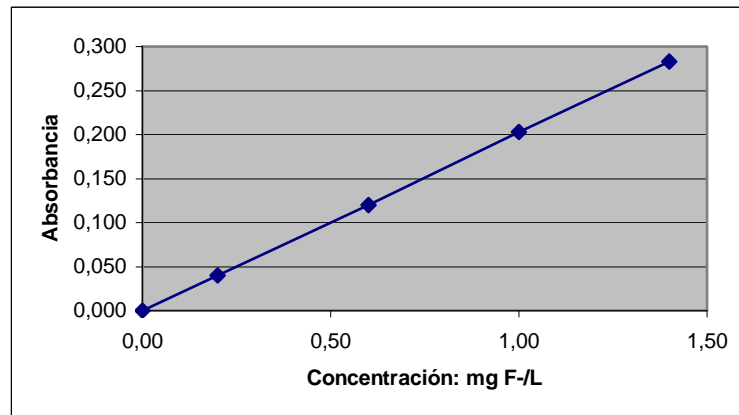
	B	1	2	3	4
Solución patrón de 10 mg F <sup>-</sup> /L (mL)	0,00	1,00	3,00	5,00	7,00
Agua destilada (mL)	50,00	49,00	47,00	45,00	43,00
Concentración: mg F <sup>-</sup> /L	0,0	0,20	0,60	1,00	1,40
Solución de SFADNS (mL)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Solución de zirconilo ácido (mL)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Cantidad: µg F <sup>-</sup>	0,00	10,00	30,00	50,00	70,00

B = Blanco

Tabla 48. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg F <sup>-</sup> /L)	Absorbancia Leída: A <sub>x</sub>	A = A <sub>ref</sub> - A <sub>x</sub>	Promedio
0,00	0,500	0,000	0,000
	0,500	0,000	
	0,500	0,000	
0,20	0,460	0,040	0,040
	0,459	0,041	
	0,461	0,390	
0,60	0,379	0,121	0,120
	0,380	0,120	
	0,381	0,119	
1,00	0,296	0,204	0,203
	0,297	0,203	
	0,298	0,202	
1,40	0,217	0,283	0,283
	0,216	0,284	
	0,218	0,282	

A<sub>ref</sub> = Absorbancia de la solución patrón a 0 mg F<sup>-</sup>/L = 0,500, por que la intensidad del color disminuye.



$$r = 0,999$$

Figura 56. Curva patrón de fluoruro

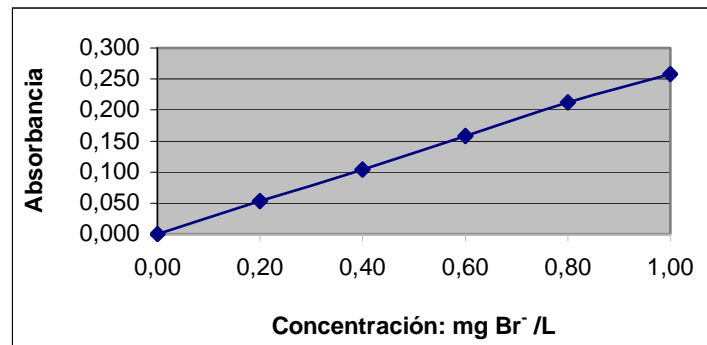
## I.16 BROMURO

Tabla 49. Soluciones patrones de bromuro

	B	1	2	3	4	5
Solución patrón de 5 mg Br <sup>-</sup> /L (mL)	0,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00
Agua destilada (mL)	50,00	48,00	46,00	44,00	42,00	40,00
Concentración: mg Br <sup>-</sup> /L	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
Solución tampón de acetato (mL)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solución de rojo de fenol (mL)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solución de cloramina T (mL)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Dejar en reposo por 20 minutos						
Solución de tiosulfato sódico (mL)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Cantidad: µg Br <sup>-</sup>	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00

Tabla 50. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg Br <sup>-</sup> /L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,20	0,052	0,054	0,053	0,053
0,40	0,103	0,104	0,104	0,104
0,60	0,158	0,159	0,158	0,158
0,80	0,212	0,212	0,211	0,212
1,00	0,256	0,259	0,258	0,258



$$r = 0,999$$

Figura 57. Curva patrón de bromuro

## I.17 YODURO

Tabla 51. Soluciones patrones de yoduro

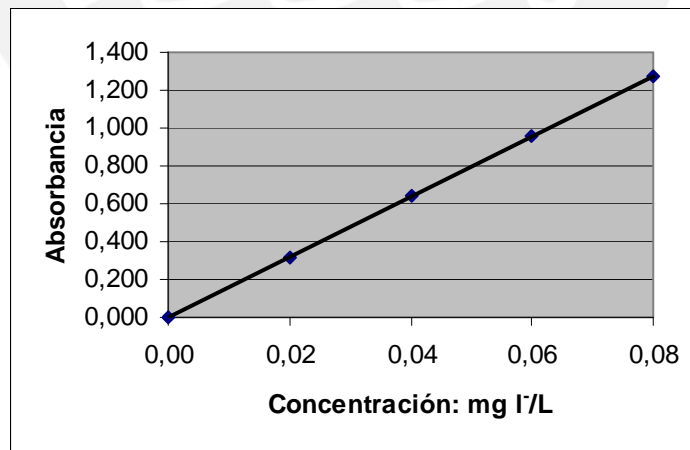
	B	1	2	3	4
Solución patrón de 0.1 mg I/L (mL)	0,00	2,00	4,00	6,00	8,00
Agua destilada (mL)	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00
Concentración: mg I/L	0,00	0,20	0,04	0,60	0,80
Solución de NaCl (mL)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Solución de As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mL)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Ácido sulfúrico concentrado (mL)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Solución de sulfato cérico amónico (mL)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Reposar por 15 minutos a 30°C					
Solución de sulfato amónico ferroso (mL)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Solución de tiocianato potásico (mL)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Agitar y reposar por 1 hora a 30°C					
Cantidad: µg I <sup>-</sup>	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80



Tabla 52. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg I/L)	Absorbancia Leída: $A_{st}$	$A = A_B - A_{st}$	Promedio
0,00	1,320	1,320	0,000
	1,320	1,320	
	1,320	1,320	
0,02	0,999	0,321	0,321
	0,998	0,322	
	1,000	0,320	
0,04	0,681	0,639	0,640
	0,679	0,641	
	0,680	0,640	
0,06	0,365	0,955	0,955
	0,365	0,955	
	0,366	0,954	
0,08	0,049	1,271	1,27
	0,050	1,270	
	0,050	1,270	

$A_B$  = Absorbancia de blanco = 1,320



$r = 0,999$

Figura 58. Curva patrón de yoduro

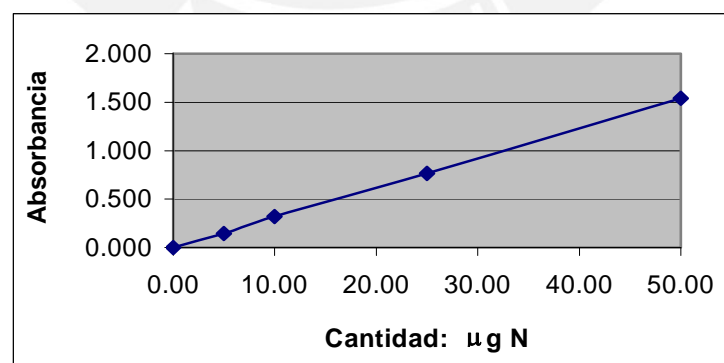
## I.18 NITRATO

Tabla 53. Soluciones patrones de nitrato

	B	1	2	3	4
Solución patrón de 5 mg N/L (mL)	0,00	1,00	2,00	5,00	10,00
Agua destilada (mL)	10,00	9,00	8,00	5,00	0,00
Concentración: mg N/L	0,00	0,50	1,00	2,50	5,00
Solución de salicilato sódico (mL)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cantidad: $\mu\text{g N}$	0,00	5,00	10,00	25,00	50,00

Tabla 54. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón ( $\mu\text{g N}$ )	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	0,146	0,145	0,147	0,146
10,00	0,302	0,302	0,302	0,302
25,00	0,764	0,764	0,765	0,764
50,00	1,540	1,541	1,540	1,540



$$r = 0,999$$

Figura 59. Curva patrón de nitrógeno

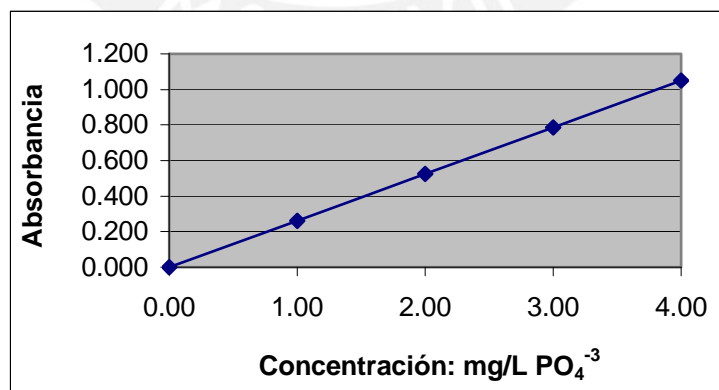
**I.19 FOSFATO**

Tabla 55. Soluciones patrones de fosfato

	B	1	2	3	4
Solución patrón de 50 mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L (mL)	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00
Agua bidestilada (mL)	21,00	20,50	20,00	19,50	19,00
Reactivo combinado (mL)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Concentración: mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00

Tabla 56. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,263	0,262	0,262	0,262
2,00	0,525	0,524	0,525	0,525
3,00	0,788	0,786	0,787	0,787
4,00	1,049	1,051	1,050	1,050



$r = 0,999$

Figura 60. Curva patrón de fosfato

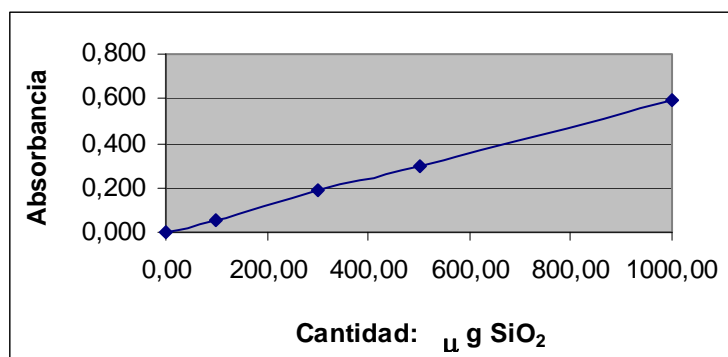
## I.20 SILICIO

Tabla 57. Soluciones patrones de sílice

	B	1	2	3	4
Solución Patrón de 50 mg SiO <sub>2</sub> /L (mL)	0,00	2,00	6,00	10,00	20,00
Agua bidestilada (mL)	50,00	48,00	44,00	40,00	30,00
Concentración: mg SiO <sub>2</sub> /L	0,00	2,00	6,00	10,00	20,00
Solución de HCl (1: 1) (mL)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Solución de molibdato amónico (mL)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solución de ácido oxálico (mL)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Cantidad: µg SiO <sub>2</sub>	0,00	100,00	300,00	500,00	1000,00

Tabla 58. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (µg SiO <sub>2</sub> )	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
100,00	0,059	0,057	0,058	0,058
300,00	0,186	0,185	0,186	0,186
500,00	0,298	0,298	0,300	0,299
1000,00	0,596	0,597	0,597	0,597



$$r = 0,999$$

Figura 61. Curva patrón de sílice

**I.21 BORO**

Tabla 59. Soluciones patrones de boro

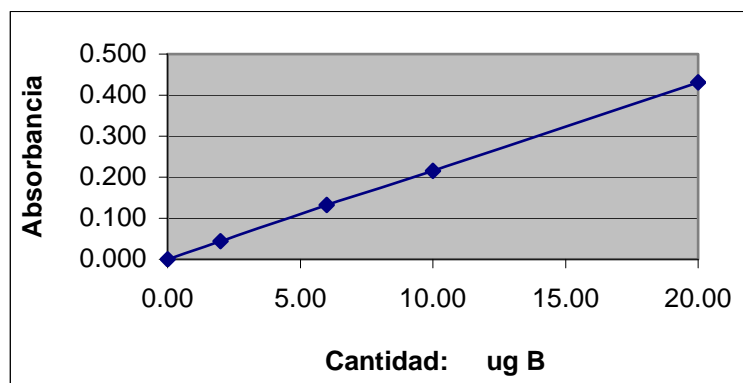
	B	1	2	3	4
Solución patrón de 100 mg B/L (mL)	0,00	1,00	3,00	5,00	10,00
Agua bidestilada (mL)	100,00	99,00	97,00	95,00	90,00
Concentración: mg B/L	0,00	1,00	3,00	5,00	10,00

Tabla 60. Patrones coloreados de boro

	B	1	2	3	4
Solución patrón B mg/L (mL)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Ácido sulfúrico concentrado (mL)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Solución de ácido carmínico (mL)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Agitar y dejar en reposo por 45'					
Cantidad: µg B	0,00	2,00	6,00	10,00	20,00

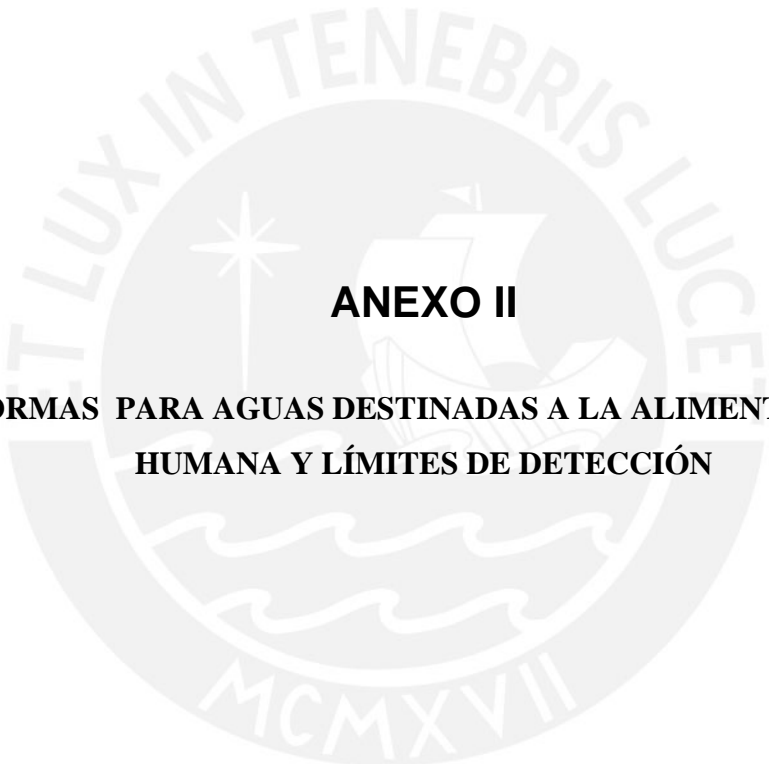
Tabla 61. Absorbancias de las soluciones patrones

Solución Patrón (µg B)	ABSORBANCIA			Promedio
	A	B	C	
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
2,00	0,044	0,043	0,044	0,044
6,00	0,135	0,133	0,132	0,133
10,00	0,217	0,214	0,215	0,215
20,00	0,432	0,430	0,431	0,431



$r = 0,999$

Figura 62. Curva patrón de boro



**ANEXO II**

**NORMAS PARA AGUAS DESTINADAS A LA ALIMENTACIÓN  
HUMANA Y LÍMITES DE DETECCIÓN**

## II.1 O.M.S.

## Normas internacionales aplicables al agua de bebida

## Substancias tóxicas

Substancias	Concentración límite (mg/L)
Plomo	0,10
Arsénico	0,05
Selenio	0,01
Cromo (en Cr hexavalente)	0,05
Cianuros	0,05
Cadmio	0,01
Bario	1,0
Nitratos (en NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	45

## Substancias y propiedades químicas que influyen en la potabilidad del agua

Substancias	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima admisible
Materias sólidas totales	500 mg/L	1500 mg/L
Color	5 unidades *	50 unidades
Turbidez	5 unidades **	25 unidades
Gusto	Límite subjetivo de aceptación	--
Olor	Límite subjetivo de aceptación	--
Hierro (Fe)	0,3 mg/L	1,0 mg/L
Manganeso (Mn)	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Cobre (Cu)	1,0 mg/L	1,5 mg/L
Cinc (Zn)	5,0 mg/L	15 mg/L
Calcio (Ca)	75 mg/L	200 mg/L
Magnesio (Mg)	50 mg/L	150 mg/L
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	200 mg/L	400 mg/L
Cloruros (Cl)	200 mg/L	600 mg/L
pH	7,0 < pH < 8,5	6,5 < pH < 9,2
Sulfato magnésico + sulfato sódico	500 mg/L	1000 mg/L
Compuestos fenólicos (en fenol)	0,001 mg/L	0,002 mg/L
Extracto clorofórmico sobre carbón (ECC: contaminantes orgánicos)	0,2 mg/L	0,5 mg/L
Alquilbencensulfonatos (ABS: agentes tensoactivos)	0,5 mg/L	1,0 mg/L

(\*) Escala colorimétrica al platino-cobalto. (\*\*) Unidades turbidimétricas.

## Substancias indicadoras de contaminación

substancias	Concentración en el límite de contaminación admisible (mg/L)
Demanda química de oxígeno (DQO)	10
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	6
Nitrógeno total, excepto el NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1
Grasas	1

## II.2 Normas europeas aplicables al agua potable (OMS)

### Elementos tóxicos

Elementos	Concentración límite
Arsénico (en As)	0,05 mg/L
Cadmio (en Cd)	0,01 mg/L
Cromo hexavalente (en Cr)	0,05 mg/L
Cianuros (en CN <sup>-</sup> )	0,05 mg/L
Plomo (en Pb)	0,1 mg/L a 0,3 mg/L después de 16 h. de contacto con las canalizaciones
Selenio (en Se)	0,05 mg/L

### Elementos a controlar

Elementos	Concentración límite recomendada (mg/L)
Amoníaco (en NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,05
Anhídrido carbónico libre	0 para el anhídrido carbónico agresivo
Cloruros (en Cl)	350
Cobre (en Cu)	0,05 mg/L en la estación de bombeo o 3 mg después de 16 h de contacto con las canalizaciones
Dureza total (en CaCO <sub>3</sub> )	Entre 100 y 500
Hierro total (en Fe)	0,1
Flúor (en F)	1,5
Magnesio (en Mg)	30
Manganeso (en Mn)	0,05
Nitratos (en NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50
Oxígeno disuelto	(aceptable de 50 a 100)
Fenol	Mínimo 5
Sulfatos (en SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0,001
Sulfuros (en H <sub>2</sub> S)	250
Detergentes aniónicos	0,05
Cinc (en Zn)	0,2
	5



### II.3 Francia

#### Normas francesas de calidad del agua potable

##### Caracteres físicos

Temperatura	15°C
Coloración	20 unidades (platino-cobalto)
Turbidez	15 gotas de sol. al 1% mástique en 50 mL de agua
Poder colmatante	0,1

##### Concentraciones tolerables para las sustancias tóxicas o indeseables

Substancias	Aguas de aducción colectiva (mg/L)	Aguas de mesa embotelladas (mg/L)
Plomo (en Pb)	0,1	0,1
Selenio (en Se)	0,05	0,05
Fluoruros (en As)	1,0	1,0
Arsénico (en As)	0,05	0,05
Cromo hexavalente } Cianuros }	Dosis Inferiores al umbral de determinación analítica	
Cobre (en Cu)	1,0	1,0
Hierro (en Fe)	0,2	0,1
Manganeso (en Mn)	0,1	0,05
Cinc (en Zn)	5,0	5,0
Compuestos fenólicos (en fenol)	Nada	Nada
Mineralización total	2000	2000
Nitratos (en N) <sup>(1)</sup>		10

<sup>(1)</sup> No se ha fijado ningún límite para las aguas de aducción colectiva, pero se debe recordar que un contenido superior a 10 mg/L (en N) es susceptible de provocar trastornos, principalmente en los lactantes.

##### Concentraciones máximas deseables

Magnesio (en Mg <sup>2+</sup> )	125 mg/L
Cloruros (en Cl <sup>-</sup> )	250 mg/L
Sulfatos (en SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	250 mg/L

Es deseable que el grado hidrotimétrico total sea inferior a 30°f (el óptimo se sitúa entre 12°f y 15°f).

El tratamiento químico de una agua, cuando se impone, no debe modificar desfavorablemente la composición inicial. En particular no se debe encontrar, después del tratamiento con sulfato de alúmina, más iones de aluminio que en el agua bruta. En las condiciones normales de explotación, no se debería dejar subsistir a la salida de distribución más de 0,10 mg de cloro libre por litro.

## II.4 Estados Unidos

National interim primary drinking water regulation E.P.A. 570/9-76-003  
Productos químicos minerales

Arsénico	0,05 mg/L
Bario	1,00 mg/L
Cadmio	0,01 mg/L
Cianuro	0,20 mg/L
Cromo	0,05 mg/L
Flúor a 12°C y por debajo	2,40 mg/L
de 12,1°C a 14,6°C	2,20 mg/L
de 14,7°C a 17,6°C	2,00 mg/L
de 17,7°C a 21,4°C	1,80 mg/L
de 21,5°C a 26,2°C	1,60 mg/L
de 26,3°C a 32,5°C	1,40 mg/L
Mercurio	0,002 mg/L
Nitratos (en nitrógeno)	10,00 mg/L
Plata	0,05 mg/L
Plomo	0,05 mg/L
Selenio	0,01 mg/L

### Productos químicos orgánicos

Pesticidas	0,70 mg/L
Hidrocarburos clorados	
clordán	0,003 mg/L
endrín	0,0002 mg/L
heptacloro	0,0001 mg/L
heptacloro epóxido	0,0001 mg/L
lindano	0,004 mg/L
toxafeno	0,005 mg/L
metoxiclolo	0,10 mg/L
Epóxido de clorofenol	
ácido diclorofenoxiacético (2,4 D)	0,10 mg/L
ácido diclorofenoxipropiónico (2,4,5, T.P.)	0,01 mg/L

### Radiactividad

Radiactividad $\alpha$ total (Ra 226 incluido, Rn y U excluidos)	15 pCi/L
Radio 226 y Radio 228	5 pCi/L
Radiactividad $\beta$ , $\gamma$ : la dosis recibida por todo el organismo y por todo el órgano interno no debe sobrepasar.	4 mrem/año

pCi/L = pico curio por litro

## II.5 Canadá

### Normas físicas propuestas relativas a las aguas tratadas

Parámetro	Concentraciones máximas (mg/L)	
	Aceptables	Recomendadas
Color <sup>(1)</sup>	15	< 5
Turbidez <sup>(2)</sup>	5	< 1
Olor <sup>(3)</sup>	4	1
Sabor	Límite subjetivo de aceptación	Límite subjetivo de aceptación
Temperatura (°C)	< 10	11 – 15
pH	—	6,5 – 8,3

- (1) Escala al platino-cobalto
- (2) Escala de la sílice.
- (3) Número umbral del olor.

### Normas químicas propuestas relativas al agua de bebida

Substancias tóxicas:

Substancias	Concentraciones máximas (mg/L)		
	Recomendables	Aceptables	Admisibles
Plata (en Ag)	< 0,05	< 0,05	0,05
Arsénico (en As)	Inapreciable	0,01	0,05
Bario (en Ba)	Inapreciable	< 1,0	1,0
Boro (en B)	—	< 5,0	5,0
Cadmio (en Cd)	Inapreciable	< 0,01	0,01
Cromo (en Cr <sup>+6</sup> )	Inapreciable	< 0,05	0,05
Cianuro (en CN)	Inapreciable	0,01	0,20
Nitrato (en N) + Nitrito (en N)	< 10,0	< 10,0	10,0
Plomo (en Pb)	Inapreciable	< 0,05	0,05
Selenio (en Se)	Inapreciable	< 0,01	0,01
Uranilo (en UO <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	—	< 5,0	5,0

**II.6 INDECOPI-NTP-ITINTEC 214.024: Aguas minerales de bebida**

<u>Características organolépticas</u>	
Olor y sabor	: Característico, no desagradable
Color	: Incoloro
Aspecto	: Límpido, carece de sedimentos perceptibles
<u>Requisitos físico-químicos</u>	
Valores máximos permisibles en mg/L (ppm):	
Cobre	1
Manganeso	2
Zinc	5
Borato (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	30
Materia orgánica (O <sub>2</sub> )	3
Arsénico	0,05
Bario	1
Cadmio	0,01
Cromo (VI)	0,05
Plomo	0,05
Mercurio	0,001
Selenio	0,01
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	2
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	45
Sulfuro (H <sub>2</sub> S)	0,05
<u>Contaminantes</u>	
Valor máximo permisible en mg/L (ppm):	
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	0,01
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,01
No deberá contener compuestos fenólicos, agentes tensoactivos, plaguicidas y bifenilos policlorados, aceite mineral, hidrocarburos aromáticos polinucleares.	
<u>Requisitos parasitológicos</u>	
Ausencia de huevos, quistes, larvas y formas adultas de parásitos.	
<u>Requisitos microbiológicos</u>	
Valores máximos permisibles:	
- Numeración de microorganismos aerobios mesófilos, ufc/mL	500
- Coliformes totales	Ausencia
- Coliformes fecales	Ausencia
- Enterococos fecales	Ausencia
- Pseudomona aeruginosa	Ausencia
- Esporas de bacterias anaerobias sulfito – reductoras	Ausencia
ufc = unidades formadoras de colonias	

## II.7

## LÍMITES DE DETECCIÓN

Es la concentración mas pequeña que produce una señal doble del ruido de fondo.

Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad de medida	Método de análisis	Límite de detección
Color	UC	2120 C	0,10
Temperatura	°C	2550 B	0,10
pH	Unidades	4500 – H <sup>+</sup> B	0,01
Conductividad iónica	mS/m	2510 B	0,01
ST a 105 °C	mg/L	2540 B	5,00
STD a 180 °C	mg/L	2540 C	5,00
Turbidez	UT	2130 B	0,01
A F	mg CaCO <sub>3</sub> /L	2320 B	1,00
AAM	mg CaCO <sub>3</sub> /L	2320 B	1,00
DT	mg CaCO <sub>3</sub> /L	2340 C	1,00
DCa	mg CaCO <sub>3</sub> /L	3500 Ca D	1,00
DMg	mg CaCO <sub>3</sub> /L	3500 Mg E	1,00
Potencial redox	mV(UH/Pt)	Potenciométrico	0,10

Fuente: APHA. UC = Unidad de color , UT = Unidad turbidimétrica

## Elementos metálicos

Elemento	Longitud de onda (nm)	Llama	Método de análisis	Límite de detección (mg/L)
Li	670,8	A-Ac	EEF	0,001
K	766,5	A-Ac	EEF	0,10
Na	589,0	A-Ac	EEF	0,005
Al	309,3	N-Ac	EAA	0,03
Cd	228,8	A-Ac	EAA	0,001
Co	240,7	A-Ac	EAA	0,01
Cu	324,7	A-Ac	EAA	0,002
Fe	248,3	A-Ac	EAA	0,004
Mn	279,5	A-Ac	EAA	0,002
Ag	328,1	A-Ac	EAA	0,002
Pb	283,3	A-Ac	EAA	0,03
Zn	213,9	A-Ac	EAA	0,002
Ca	-----	-----	3500 Ca D*	0,10
Mg	-----	-----	3500 Mg E*	0,05

Fuente: - Analytical methods for Atomic Absorption Spectrophotometry, Perkin Elmer (Manual)

- UV-VIS Spectrophotometer Hitachi, Perkin Elmer 139 (Manual)

\* APHA, A-Ac = Aire – acetileno, N-Ac = Oxido nitroso-acetileno

Elementos inorgánicos no metálicos

Elemento	Unidad de medida	Método de análisis	Límite de detección
F-F <sup>-</sup>	mg F <sup>-</sup> /L	Colorimétrico, sfadns :4500-F <sup>-</sup> D	0,10
Cl- Cl <sup>-</sup>	mg Cl <sup>-</sup> /L	Argentométrico: 4500- Cl <sup>-</sup> B	1,00
Br-Br <sup>-</sup>	mg Br <sup>-</sup> /L	Colorimétrico, rojo de fenol: 4500-Br <sup>-</sup> B	0,10
I- I <sup>-</sup>	mg I <sup>-</sup> /L	Colorimétrico, Red. Catalítica: 4500-I <sup>-</sup> C	0,01
C-HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	Volumétrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *	1,00
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	Colorimétrico, salicilato sódico*	0,01
C-CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L	Volumétrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *	1,00
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	Gravimétrico, combustión de residuo:4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> C	10,0
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg P/L	Colorimétrico, ácido ascórbico: 4500-P E	0,01
Si-SiO <sub>2</sub>	mg SiO <sub>2</sub> /L	Colorimétrico, molibdosilicato: 4500-Si D	1,00
B-HBO <sub>2</sub>	µg B/L	Colorimétrico, carmín: 4500-B C	2,00

Fuente: APHA y \* Rodier.

Gases libres

Gas libre	Unidad de medida	Método de análisis	Límite de detección
C O <sub>2</sub>	mg CO <sub>2</sub> /L	Volumétrico, NaOH	1,00
H <sub>2</sub> S	mg H <sub>2</sub> S/L	Volumétrico, yodométrico	1,00

Fuente: Rodier y APHA.

**ANEXO III**

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LAS FUENTES TERMOMINERALES  
SEGÚN ZAPATA, (16) Y FORMATO DE INFORME PARA AGUAS  
MINERALES**

## III.1 Fuente termomineral El Pato

Toribio Córdova S.  
Rómulo Zapata Valle

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		CARACTERES FÍSICOS DEL AGUA			
Departamento	Ancash	Color	Incolora		
Provincia	Huaylas	Olor	Inodora		
Distrito	Caraz	Sabor	Metálico –agradable		
Lugar del Muestreo	Hda. El Pato	Aspecto	Límpida		
Nombre	Baños termales ferruginosos	Depósito	Sales de hierro		
	El Pato	Gases	No contiene		
Latitud Sur	8°55'	Algas	No contiene		
Longitud Oeste	77°55'	pH	6,8		
Altura sobre n/m.	No determinada				
MUESTREO		COMPOSICIÓN SALINA PROBABLE			
Fecha	1 943	Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	323,512 mg/L		
Hora	No informada	Mg (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	81,050 mg/L		
Temp. del agua	No informada	Mg SO <sub>4</sub>	3,613 mg/L		
Temp. ambiente	No informada	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	258,128 mg/L		
		Na Cl	218,058 mg/L		
		K Cl	21,548 mg/L		
		Li Cl	7,733 mg/L		
CATIONES		mg/L	mval/L	% Equi.	mmol/L
Na <sup>+</sup>	169,400	7,365	48,16	7,365	
K <sup>+</sup>	11,300	0,289	1,89	0,289	
Li <sup>+</sup>	1,200	0,172	1,12	0,172	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
Ca <sup>++</sup>	80,000	3,992	26,10	1,996	
Mg <sup>++</sup>	14,200	1,167	7,63	0,583	
Fe <sup>+++</sup>	trazas	0,000	0,00	0,000	
Al <sup>+++</sup>	20,700	2,302	15,05	0,767	
Mn <sup>++</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	
	<b>296,900</b>	<b>15,290</b>	<b>100,00</b>	<b>11,173</b>	
ANIONES					
Cl <sup>-</sup>	212,700	5,998	40,55	5,998	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	trazas	0,000	0,00	0,000	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	311,00	5,098	34,47	5,098	
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	177,400	3,693	24,98	1,846	
PO <sub>4</sub> <sup>----</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
	<b>998,100</b>	<b>14,789</b>	<b>100,00</b>	<b>24,115</b>	
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (meta)	51,900			0,664	
HBO <sub>2</sub> (meta)	2,400			0,077	
	<b>1053,400</b>			<b>24,856</b>	
	0,000			0,000	
CO <sub>2</sub> (libre)	0,000			0,000	
H <sub>2</sub> S (libre)	<b>1053,400</b>			<b>24,856</b>	
<b>CLASIFICACIÓN QUÍMICA DEL AGUA:</b> De acuerdo al contenido de sus principales radicales, le corresponde la siguiente clasificación: SÓDICA – CLORURADA – BICARBONATADA – CÁLCICA – SULFATADA.					
<b>OBSERVACIONES:</b> La Hacienda El Pato, queda al sur de Caraz y a la orilla derecha del río Huaraz. El afloramiento tiene un débito muy reducido.					



**III.2 Fuente termomineral de Chancos**

Toribio Córdova S.  
Rómulo Zapata Valle

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		DATOS FÍSICOS EN EL MANANTIAL			
Departamento	Ancash	Color	Incolora		
Provincia	Huaraz	Olor	Inodora		
Distrito	Marcará	Sabor	Agradable		
Lugar del Muestreo	Chancos	Aspecto	Cristalina		
Nombre	Agua mineral de Chancos	Depósito	Escaso		
Latitud Sur	9°31'	Gases	Contiene		
Longitud Oeste	77°30'	Algas	Contiene (Tiófagas)		
Altura sobre n/m.	2 828 metros	pH	6,8		
MUESTREO		COMPOSICIÓN SALINA PROBABLE			
Fecha	29 de Marzo 1 948	Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1260,410 mg/L		
Hora	09:30 a.m.	Ca SO <sub>4</sub>	183,980 mg/L		
Temp. del agua	72°C	Ca CL <sub>2</sub>	318,980 mg/L		
Temp. ambiente	20°C	Mg CL <sub>2</sub>	126,180 mg/L		
		Na Cl	2043,100 mg/L		
		K Cl	213,950 mg/L		
CATIONES		mg/L	mval/L	% Equi.	mmol/L
Na <sup>+</sup>	803,800	34,949	53,94	34,949	
K <sup>+</sup>	112,200	2,868	4,43	2,868	
Li <sup>+</sup>	1,500	0,216	0,33	0,216	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
Ca <sup>++</sup>	480,800	23,996	37,03	11,998	
Mg <sup>++</sup>	31,800	2,615	4,04	1,307	
Fe <sup>+++</sup>	2,790	0,150	0,23	0,050	
Al <sup>+++</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
Mn <sup>++</sup>	trazas	0,000	0,00	0,000	
	<b>1432,890</b>	<b>64,794</b>	<b>100,00</b>	<b>51,388</b>	
ANIONES					
Cl <sup>-</sup>	1644,060	46,362	71,75	46,362	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	129,870	2,704	4,18	1,352	
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	948,800	15,551	24,07	15,551	
	<b>4155,620</b>	<b>64,617</b>	<b>100,00</b>	<b>114,653</b>	
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (meta)	48,000			0,615	
HBO <sub>2</sub> (meta)	0,000			0,000	
	<b>4203,620</b>			<b>115,268</b>	
CO <sub>2</sub> (libre)	968,000			22,002	
H <sub>2</sub> S (libre)	0,000			0,000	
	<b>5171,620</b>			<b>137,270</b>	
<b>CLASIFICACIÓN QUÍMICA DEL AGUA:</b> Agua de base aniónica ordenada de acuerdo a sus principales radicales como: CLORURADA – SÓDICA – CÁLCICA – BICARBONATADA.					
<b>OBSERVACIONES:</b> Este manantial tiene en sus bordes formaciones de CaCO <sub>3</sub> y queda a la entrada de los baños. De los manantiales cercanos es el que tiene más volumen de agua, y desde aquí mismo se alimenta a los baños de los cuartos más pequeños y la misma piscina se alimenta con el agua de dicho manantial. Todas las demás vertientes son relativamente pequeñas; convergen subterráneamente, pero después afloran como un solo manantial en otro sitio.					

### III.3 Fuente termomineral de Monterrey

Toribio Córdova S.  
Rómulo Zapata Valle

Terma de Monterrey

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		DATOS FÍSICOS EN EL AGUA DEL MANANTIAL			
Departamento	Ancash	Color	Incolora		
Provincia	Huaraz	Olor	Inodora		
Distrito	Carhuaz	Sabor	Agradable ligeramente picante.		
Lugar del Muestreo	Hotel Monterrey	Aspecto	Límpida		
Nombre	Termas de Monterrey	Depósito	Escaso (sales de fierro)		
Latitud Sur	9°31'	Gases	Contiene		
Longitud Oeste	77°30'	Algas	No contiene		
Altura sobre n/m.	2 800 metros	pH	6,8		
MUESTREO		COMPOSICIÓN SALINA PROBABLE			
Fecha	29 de Marzo 1 948	Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	435,53 mg/L		
Hora	04:25 p.m.	Mg (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	142,35 mg/L		
Temp. del agua	48°C	Na HCO <sub>3</sub>	159,07 mg/L		
Temp. ambiente	20°C	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	9,17 mg/L		
		Na Cl	2067,70 mg/L		
		K Cl	709,36 mg/L		
CATIONES		mg/L	mval/L	% Equi.	mmol/L
Na <sup>+</sup>	860,000	37,392	66,62	37,392	
K <sup>+</sup>	372,000	9,512	16,95	9,512	
Li <sup>+</sup>	12,700	1,830	3,26	1,830	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,500	0,028	0,05	0,028	
Ca <sup>++</sup>	107,700	5,375	9,58	2,687	
Mg <sup>++</sup>	23,400	1,924	3,43	0,962	
Fe <sup>+++</sup>	1,800	0,097	0,11	0,032	
Al <sup>+++</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
Mn <sup>++</sup>	trazas	0,000	0,00	0,000	
	<b>1738,100</b>	<b>56,158</b>	<b>100,00</b>	<b>52,443</b>	
ANIONES					
Cl <sup>-</sup>	1681,500	47,418	83,32	47,418	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,000	0,145	0,26	0,145	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
I <sup>-</sup>	0,660	0,005	0,00	0,005	
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	6,200	0,129	0,22	0,064	
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	562,300	9,216	16,20	9,216	
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	0,000	0,000	0,00	0,000	
	<b>3637,760</b>	<b>56,913</b>	<b>100,00</b>	<b>109,291</b>	
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (meta)	14,000			0,179	
HBO <sub>2</sub> (meta)	0,000			0,000	
	<b>3651,760</b>			<b>109,470</b>	
CO <sub>2</sub> (libre)	206,000			4,680	
H <sub>2</sub> S (libre)	0,000			0,000	
	<b>3857,760</b>			<b>114,150</b>	
<b>CLASIFICACIÓN QUÍMICA DEL AGUA:</b> Agua de base aniónica ordenada de acuerdo a sus principales radicales como: CLORURADA – SÓDICA.					
<b>OBSERVACIONES:</b> Este manantial está situado a orillas del río que desciende de los nevados y que va hacia el N.E. de Huaraz. Actualmente las aguas provenientes de varios ojos de esta misma zona han sido canalizados, reuniéndolas en un canal que se encuentra a un costado del Hotel y frente a la piscina principal. En los bordes de este Manantial se aprecian los depósitos ocrosos característicos de las aguas que abandonan su fierro por pérdidas de CO <sub>2</sub> .					

### III.4 Formato de informe para aguas minerales

#### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Departamento :  
 Provincia :  
 Distrito :  
 Lugar de muestreo :  
 Nombre :  
 Latitud :  
 Longitud :  
 Altura sobre el nivel del mar :

#### MUESTREO

Fecha :  
 Hora :  
 Temperatura ambiente :

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y DE AGREGACIÓN

Color :  
 Olor :  
 Sabor :  
 Depósito :  
 Densidad :  
 Temperatura de efloración :  
 pH :  
 Conductividad :  
 Sólidos totales secados a 103 – 105 °C :  
 Sólidos totales disueltos, secados a 180 °C :  
 Turbidez :  
 Alcalinidad a la fenoltaleína :  
 Alcalinidad al anaranjado de metilo :  
 Dureza total :  
 Dureza cálcica :  
 Dureza magnésica :  
 Potencial redox :  
 Caudal :

#### METALES

iones	mg/L	m mol/L	meq-g/L	% meq
Li <sup>+</sup>	-	-	-	-
Na <sup>+</sup>	-	-	-	-
K <sup>+</sup>	-	-	-	-
Ag <sup>+</sup>	-	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Zn <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Cd <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Mn <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Cu <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Pb <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Co <sup>2+</sup>	-	-	-	-
Fe <sup>3+</sup>	-	-	-	-
Al <sup>3+</sup>	-	-	-	-

**CONSTITUYENTES INÓRGANICOS NO METÁLICOS**

iones	mg/L	m mol/L	meq-g/L	% meq
F <sup>-</sup>	-	-	-	-
Cl <sup>-</sup>	-	-	-	-
Br <sup>-</sup>	-	-	-	-
I <sup>-</sup>	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	-	-	-

**COMPUESTOS NO DISOCIADOS**

Si como SiO <sub>2</sub>	-	-	-	-
B como HBO <sub>2</sub>	-	-	-	-

**GASES LIBRES**

CO <sub>2</sub>	-	-	-	-
H <sub>2</sub> S	-	-	-	-

**CLASIFICACIÓN QUÍMICA DEL AGUA**

.....

.....

**OBSERVACIONES**

.....

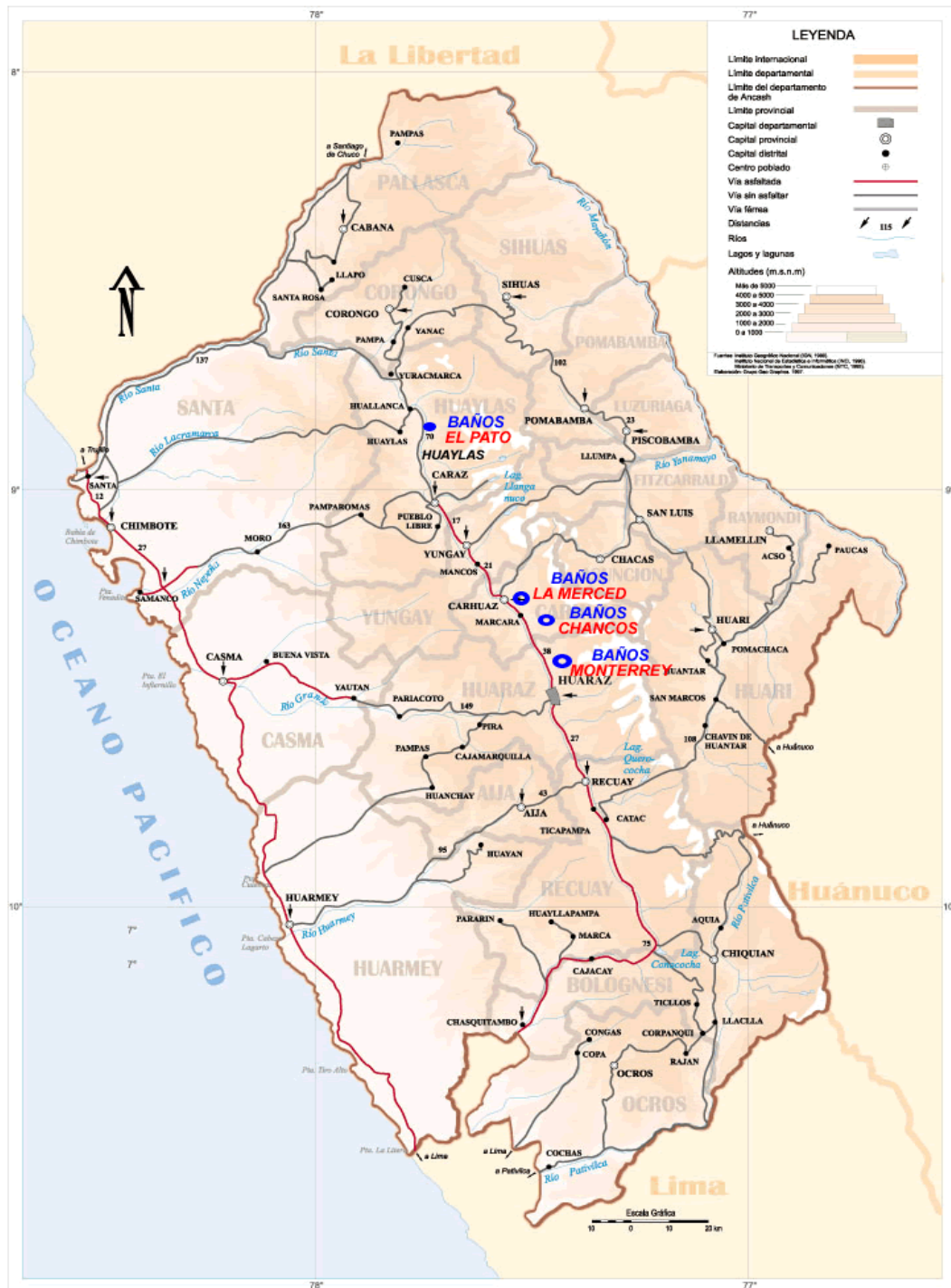
.....



#### IV.1. Ubicación del departamento de Ancash en el Perú



### IV.2. Ubicación de las fuentes termominerales en el departamento de Ancash





ANEXO V

**FOTOGRAFÍAS DE LAS FUENTES TERMOMINERALES Y OTROS**



## V.1 FOTOGRAFÍAS DE LA FUENTE TERMOMINERAL EL PATO



Fotografía 1. Lugar donde emerge el agua termomineral



Fotografía 2. Vista de la piscina y alrededores

V.2 FOTOGRAFÍAS DE LA FUENTE TERMOMINERAL LA MERCED



Fotografía 3. Lugar de emergencia del agua termomineral



Fotografía 4. Vista del lugar de emergencia e infraestructura abandonada

### V.3 FOTOGRAFÍAS DE LA FUENTE TERMOMINERAL DE CHANCOS



Fotografía 5. Vista de uno de los puntos de emergencia del agua termomineral



Fotografía 6. Vista de los tres puntos de emergencia del agua termomineral



Fotografía 7. Vista de los tres puntos de emergencia remodelados



Fotografía 8. Vista de las cuevas (saunas naturales) de Chancos

#### V.4 FOTOGRAFÍAS DE LA FUENTE TERMOMINERAL DE MONTERREY



Fotografía 9. Lugar de emergencia del agua termomineral



Fotografía 10. Vista del lugar de emergencia, hotel y piscina de Monterrey

## V.5 FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE LABORATORIO



Fotografía 11. Trabajo en el laboratorio de análisis



Fotografía 12. Trabajo con el espectrofotómetro UV-V (Spectronic 20D)