

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**CARACTERIZACIÓN DE AGUAS TERMALES MEDIANTE ANÁLISIS
FISICOQUÍMICO EN EL CASERÍO DE CHOTÉN - DISTRITO DE SAN
JUAN.**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

BACH. CARMEN D'ANE ROJAS VÁSQUEZ

Asesor

MCS.ING. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

Cajamarca, diciembre del 2017

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Cajamarca y a los docentes de la escuela académico profesional de Ingeniería Geológica que han contribuido a mi formación profesional y personal. A ellos mi admiración, respeto y mi infinito agradecimiento.

Al Msc.Ing ingeniero Zenón Quispe Mamani, por su apoyo incondicional como amigo y docente a lo largo de mi carrera profesional y en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Al Ingeniero Hugo Mosqueira Estraver por su asesoramiento y apoyo.

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mis padres Lidia y Hugo que son la razón de mi existencia, lo más valioso que tengo, les debo mi felicidad y esas ganas de luchar por ser mejor cada día.

A mi abuelita Carmen el ángel que le da luz a mi vida.

A mis hermanos Marcela y Rodrigo que son la inspiración para seguir adelante

A mis tíos Lupe y Jorge, por ser mi apoyo y ejemplo a seguir.

A mis primos Milagros y Adrián, hermanos de corazón

A mis amigas que han estado presentes en todos los buenos y malos momentos.

A un hombre admirable como profesional y como persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE FOTOS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes teóricos de la investigación	3
2.2 Bases teóricas	4
2.2.1 Ciclo hidrológico	4
2.2.2 Aguas subterráneas	6
2.2.3 Clasificación de aguas subterráneas	6
2.2.4 Constituyentes químicos de aguas subterráneas	7
2.2.5 Factores que determinan la composición y evolución química de las aguas minerales	7
2.2.5.1 Principios químico-físicos	7
2.2.5.2 Factores geológicos	7
2.2.5.3 Factores hidrogeológicos	8
2.2.5.4 Factores de tipo geomorfológico	8

	Pág.
2.2.5.5 Tipo pedológicos	8
2.2.5.6 Factores climáticos	9
2.2.6 Principios químico físicos	9
2.2.6.1 Disolución congruente e incongruente de los minerales	9
2.2.6.2 El ph del agua	9
2.2.6.3 Equilibrio de los carbonatos	10
2.2.6.4 Sistemas abierto y cerrado respecto al CO ₂	10
2.2.6.5 Efecto de ión común y efecto salino.....	10
2.2.6.6 Potencial de oxidación-reducción.....	10
2.2.6.7 Intercambio iónico y adsorción	11
2.2.7 Evolución geoquímica de las aguas subterráneas.....	11
2.2.7.1 Precipitaciones.....	11
2.2.7.2 Evolución en el suelo.....	11
2.2.7.3 Evolución en los acuíferos.....	12
2.2.7.4 Secuencia de chevotareb.....	12
2.2.7.5 Esquema de domenico (1972).	13
2.2.8 Constituyentes de aguas subterráneas.....	14
2.2.8.1 Constituyentes mayoritarios o principales.....	14
2.2.8.2 Constituyentes secundarios	14
2.2.8.3 Constituyentes menores	14
2.2.8.4 Microconstituyentes.....	14
2.2.9 Origen de las aguas termales	15
2.2.10 Aguas de origen magmático	15
2.2.11 Fuentes termales	16
2.2.12 Mecanismos de surgencia de las aguas termales	17
2.2.13 Aguas minerales y mineromedicinales	19
2.2.14 Clasificación de aguas termales.....	19
2.2.14.1 De acuerdo a su temperatura	19
2.2.14.2 De acuerdo a su mineralización.....	19
2.2.15 Análisis químico de las aguas minerales	21
2.2.16 Representación gráfica de la composición química de las aguas minerales.....	22
2.2.16.1 Diagrama de Hill- Piper.....	22
2.2.16.2 Resultados del diagrama de Hill-Pipper.....	23

	Pág.
2.2.16.3 Diagrama de Stiff	25
2.2.16.4 Diagrama de Shoeller Bekford	25
2.2.17 Unidades mayores ambiente estructural	26
2.2.18 Unidades menores ambiente denudacional	26
2.3 Definición de términos básicos.....	27
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 Ubicación de la investigación.....	31
3.1.1 Ubicación geográfica.....	31
3.1.2 Ubicación política.....	31
3.1.3 Accesibilidad	31
3.1.4 Geomorfología.....	32
3.1.4.1 Unidades mayores ambiente estructural	32
3.1.4.2 Unidades menores ambiente denudacional	33
3.1.4.3 Hidrología.....	34
3.2 Procedimiento	34
3.2.1 Metodología.....	34
3.2.1.1 Tipo y método de investigación.....	34
3.2.1.2 Población de estudio	34
3.2.1.3 Muestra	35
3.2.1.4 Unidad de análisis.....	35
3.2.2 Definición de variables.....	35
3.2.3 Técnicas	35
3.2.3.1 Etapa preliminar de gabinete	35
3.2.3.2 Etapa de campo.....	36
3.2.3.3 Etapa de gabinete.....	37
3.2.4 Instrumentos y equipos.....	37
3.3 Marco geológico.....	38
3.3.1 Geología estructural.....	38
3.3.2 Litoestratigrafía	40
3.3.2.1 Formación Chimú.....	40
3.3.2.2 Formación Carhuaz	41

	Pág.
3.3.2.3 Formación Farrat	41
3.3.2.4 Formación Santa	42
3.3.3 Estratigrafía	42
3.3.3.1 Estructuras sedimentarias	42
3.4 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.	44
3.4.1 Determinación de caudal	44
3.4.2 Análisis fisicoquímico	45
3.4.2.1 Análisis fisicoquímico muestra M1	45
3.4.2.2 Análisis fisicoquímico muestra M2	47
3.4.2.3 Análisis fisicoquímico muestra M3	49
3.4.2.4 Análisis fisicoquímico muestra M4	51
3.4.2.5 Análisis fisicoquímico muestra M5	53
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
4.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos	56
4.1.1 Caudal (Q)	56
4.1.2 Temperatura (T°)	56
4.1.3 Potencial hidrógeno (pH)	57
4.1.4 Conductividad eléctrica (CE)	59
4.1.5 Sólidos totales disueltos (SDT)	60
4.1.6 Sólidos en suspensión (SS).....	61
4.1.7 Dureza calcio (CaCO ₃)	62
4.1.8 Dureza de magnesio (CaMgO ₃).....	63
4.1.9 Turbidez.....	63
4.1.10 Oxígeno disuelto(O ₂).....	64
4.1.11 Alcalinidad CaCO ₃	64
4.1.12 Calcio Ca ²⁺	65
4.1.13 Magnesio	66
4.1.14 Dureza total.....	66
4.1.15 Sodio –potasio	67
4.1.16 Cloruros	69
4.1.17 Sulfatos	70
4.1.18 Carbonatos y bicarbonatos.....	71

	Pág.
4.1.19 Fósforo.....	73
4.1.20 Constituyentes menores.....	73
4.1.21 Nitrito(NO ₂) ¹⁻	75
4.1.22 Selenio (Se).....	75
4.1.23 Arsénico –Plomo.....	75
4.1.24 Concentración de iones en %.....	75
4.1.24.1 Muestra M1.....	75
4.1.24.2 Muestra M2.....	76
4.1.24.3 Muestra M3.....	77
4.1.24.4 Muestra M4.....	78
4.1.24.5 Muestra M5.....	79
4.1.25 Clasificación de las muestras de aguas según contenido iónico.....	81
4.1.25.1 Diagrama de Piper muestra M1.....	81
4.1.25.2 Diagrama de Piper muestra M2.....	82
4.1.25.3 Diagrama de Piper muestra M3.....	83
4.1.25.4 Diagrama de Piper muestra M4.....	85
4.1.25.5 Diagrama de Piper muestra M5.....	86
4.1.26 Comparación de resultados de parámetros fisicoquímicos 2014-2017.....	90
4.1.26.1 M1 Y M3.....	90
4.1.26.2 M2 Y M5.....	94
4.2 Contrastación de la hipótesis.....	97
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
5.1 CONCLUSIONES.....	98
5.2 RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación Esquemática Del Sistema Global Del Ciclo Hidrológico. (Breña Y Jacobo 2006).....	5
Figura 2.Secuencia de Chevotareb.	12
Figura 3.El sondeo del punto A capta un flujo regional mientras que el sondeo B interpreta un flujo local, de modo que su química puede ser muy diferente (Sánchez,2012).	14
Figura 4. Esquema del origen meteórico de las aguas termales (Espejel,2004).....	15
Figura 5. Esquema del origen mixto de las aguas termales (Espejel,2004).	17
Figura 6. Propiedades terapéuticas atribuibles a diferentes tipos de agua, (Reyes,2015)	21
Figura 7.Representación cationes y aniones en el rombo para análisis de agua (Sánchez,2012).	23
Figura 8. Características químicas del agua subterránea según la posición de su representación en el Diagrama de Hill-Pipper (Singhal y Gupta,2010). (Gidahatari, s.f.)	23
Figura 9.Facies del Diagrama Triangular de Piper.....	24
Figura 10.Representación de diagrama de Stiff.	25
Figura 11.Equilibrio trifásico en sistema CO ₂ /carbonato (Rebollo s.f)	71

INDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1.Kilómetro 3,camino de acceso a zona de aguas termales de Chotén	32
Foto 2.Crestas estructurales SW-NE vistas desde el camino al río Chotén.	32
Foto 3.Colinas de la Formación Farrat SW-NE vistas desde el camino al río Chotén...	33
Foto 4.Terraza al borde del río Chotén.....	33
Foto 5.Valle fluvial en V, vista NW-SW desde el camino al río Chotén.....	34
Foto 6. Flanco del anticlinal ubicado en el Fm Chimú ubicado en el camino al río Chotén, formado por estratos de areniscas y lutitas.....	39
Foto 7.Fracturas en los estratos de areniscas debido a que las lutitas metamorfizadas han sido erosionadas por su baja resistencia al intemperismo y agentes externos, ubicado en el camino al río Chotén	39
Foto 8.Intensa perturbación que sufrieron los estratos plegando y metamorfizando las rocas especialmente aquellas de menor dureza como las lutitas ,ubicado en el camino al río Chotén.	40
Foto 9. Areniscas blancas de grano fino, su ubicación es Este: 774829; Norte: 9198396; Cota:2577.	40
Foto 10.Areniscas blancas de grano medio, con presencia de óxidos, pertenecen a la Formación Carhuaz, el estrato se encuentra ubicadas en. Este: 774222; Norte: 9199246; Cota: 2888.	41
Foto 11.Areniscas de la Formación Farrat ubicadas en Este:775932, Norte: 9197296 ,Cota : 2977.....	41
Foto 12.Estratos de calizas margosas .Este:774416 ,Norte:9199021,.....	42
Foto 13.Marcas de corriente en el borde del río	42
Foto 14.Estructura sedimentaria tipo flysh ,entre areniscas blancas y lutitas grises.	43
Foto 15.Estratificación horizontal en estratos de areniscas blancas al borde del río.....	43
Foto 16.Medición de caudal de cada punto de muestreo por el método volumétrico. ...	45
Foto 17.Punto de muestra M1, ubicada en las coordenadas 774233E 9198332N.....	45
Foto 18.Punto de muestra M2,ubicada en las coordenadas 774230E 9198354N.....	47
Foto 19.Punto de muestreo M3,ubicada en las coordenadas 774231E 9198345N.....	49
Foto 20. Punto de muestreo M4, ubicada en las coordenadas 774238E 9198358N.....	51
Foto 21.Punto de muestreo M5,ubicada en las coordenadas 774238E 9198358N.....	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1.Caudal ml/s por muestra.....	56
Gráfico 2.Temperatura por muestra.....	57
Gráfico 3.Comparación de ph por muestra.....	58
Gráfico 4.Variación de pH y Temperatura de las muestras de agua.	59
Gráfico 5.Valores de conductividad eléctrica en las muestras tomadas	60
Gráfico 6.Sólidos totales disueltos por muestra.	61
Gráfico 7.Comparación de sólidos en suspensión por muestra.	61
Gráfico 8.Comparación de dureza de calcio por cada muestra.	62
Gráfico 9.Comparación de dureza de magnesio por cada muestra.....	63
Gráfico 10.Comparación de turbidez de cada muestra.....	64
Gráfico 11. Comparación de oxígeno disuelto por muestra.	64
Gráfico 12.Variación de alcalinidad en ppm de muestras de agua	65
Gráfico 13.Concentración de Ca^{2+} de las muestras	65
Gráfico 14.Contenido de magnesio en ppm de muestras	66
Gráfico 15.Variación de contenido de dureza total de las muestras	67
Gráfico 16.Contenido de sima de sodio y potasio en muestras	67
Gráfico 17.Variación de la concentración de sodio en muestras	68
Gráfico 18.Variación de concentración de potasio en muestras	69
Gráfico 19.Comparación de concentraciones de cloruros por muestra.	70
Gráfico 20. Comparación del contenido de sulfatos por cada muestra.	71
Gráfico 21.Contenido de bicarbonatos en ppm en muestras.	72
Gráfico 22.Comparación de contenido de fósforo por muestra.....	73
Gráfico 23.Comparación de contenido de aluminio por muestra.....	74
Gráfico 24.Comparación de contenido de hierro en cada muestra	74
Gráfico 25.Contenido de cobre por muestra	74
Gráfico 26.Comparación de contenido de selenio por muestra.....	75
Gráfico 27.Concentración de iones en porcentaje de meq/l de la muestra M1.	76
Gráfico 28.Análisis de iones subdividido en % de meq/l muestra M2.....	77
Gráfico 29. Análisis de iones subdividido en % de meq/l muestra M3.....	78
Gráfico 30.Análisis de iones subdividido en % de meq/l muestra M4.....	79
Gráfico 31.Análisis de iones subdivididos en % de meq/l muestra M5.....	80

	Pág.
Gráfico 32.Diagrama de piper ,concentración de iones de muestra M1.....	82
Gráfico 33.Diagrama de piper ,concentración de iones ,muestra M2	83
Gráfico 34.Diagrama de piper, concentración de iones de muestra M3.....	84
Gráfico 35.Diagrama de piper, concentración de iones , muestra M4.	86
Gráfico 36.Diagrama de piper, concentración de iones de muestra M5.....	87
Gráfico 37.Diagrama de Stiff de muestras de agua	88
Gráfico 38.Diagrama de Schoeller	89
Gráfico 39.Variación de contenido de oxígeno disuelto en M1 y M3	90
Gráfico 40.Variación de pH de M1 y M3.....	91
Gráfico 41.Variación de turbidez M1 y M3.	91
Gráfico 42.Variación de conductividad a 20°C Us/cm M1 y M3.	92
Gráfico 43.Variación de std y ss en ppm de M1 y M3.....	92
Gráfico 44.Variación de contenido de iones y sales en ppm M1 y M3.....	93
Gráfico 45.Variación de oxígeno disuelto de M2 y M5	94
Gráfico 46.Variación de ph de M2 y M5.....	94
Gráfico 47.Variación de turbidez de M2 y M5	95
Gráfico 48.Variación de conductividad eléctrica a 20 °C M2 y M5	95
Gráfico 49.Variación de STD y SS muestras M2 y M5	95
Gráfico 50.Variación de iones y sales M2 y M5	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Vías de accesibilidad al caserío Chotén	31
Tabla 2.Caudal de cada punto de muestreo	44
Tabla 3. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M1.....	46
Tabla 4.Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M2.....	48
Tabla 5. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M3.....	50
Tabla 6.Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M4.....	52
Tabla 7.Resultados de análisis de muestra M5.....	54
Tabla 8.pH y Temperatura por muestra.....	58
Tabla 9.Clasificación de dureza de agua según OMS	62
Tabla 10. Dureza de magnesio por muestra	63
Tabla 11. Contenido de dureza total en ppm en función de Ca^{2+} y Mg^{2+}	66
Tabla 12.Cálculo de Sodio y Potasio en función de constantes.	68
Tabla 13.Cálculo de meq/l de $(\text{CO}_3)^{-2}$ a partir de $(\text{HCO}_3)^{-1}$	72
Tabla 14.Porcentaje de concentración de iones de muestra M1	76
Tabla 15.Porcentaje de concentración de iones de muestra M2.....	77
Tabla 16.Porcentaje de concentración de iones muestra M3.	78
Tabla 17.Porcentaje de concentración de iones muestra M4.	79
Tabla 18. Porcentaje de concentración de iones muestra M5	80
Tabla 19.Porcentaje de concentración de cationes de muestra M1	81
Tabla 20.Porcentaje de concentración de aniones de muestra M1	81
Tabla 21.Porcentaje de concentración de cationes de muestra M2	82
Tabla 22.Porcentaje de concentración de aniones de muestra M2.....	83
Tabla 23.Porcentaje de concentración de cationes en muestra M3	84
Tabla 24.Porcentaje de concentración de aniones en muestra M3.....	84
Tabla 25.Porcentaje de concentración de cationes de muestra M4	85
Tabla 26.Porcentaje de concentraciones de aniones de muestra M4.....	85
Tabla 27.Porcentaje de concentración de cationes de muestra M5.	86
Tabla 28.Porcentaje de concentración de aniones de muestra M5.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

Meq: miliequivalentes

Ppm: partes por millón

Ph: Potencial de hidrógeno

Mg: miligramos

l: litro

Q: caudal

C.E: conductividad eléctrica

STD: sólidos totales disueltos

SS: sólidos en suspensión

RESUMEN

Las características fisicoquímicas del agua son el resultado de procesos de interacción del agua con el medio donde circulan e intervienen diversos factores que determinan la composición mineral la cual es importante ya que son usadas en medicina y terapéutica en bien del ser humano. Por tal motivo el objetivo principal de esta investigación es caracterizar las aguas termales ubicadas en el caserío de Chotén –distrito de San Juan mediante análisis fisicoquímico de cinco muestras de agua ,dos correspondientes a la confluencia de aguas termales y aguas del río Chotén y tres extraídas directamente de los afloramientos, las cuales son procesadas en laboratorio y los resultados han sido interpretados en gráficos para determinar la variación de concentraciones e interrelación de parámetros fisicoquímicos, así mismo se han realizado diagramas hidroquímicos para determinar el tipo de agua e interpretar la evolución de su composición química .Se determinó tres clases de agua según su temperatura:frías,hipotermas ,e hipertermas. El pH es ácido y básico, las cinco muestras extraídas son moderadamente duras. El sodio es el catión dominante y el sulfato el anión dominante. El tipo de facie hidroquímica es sulfatadas y/o cloruradas cálcicas. Por el contenido de sulfatos se determinó que las aguas termales son aguas subterráneas profundas que se encontrarían en una zona intermedia. En el año 2014 se determinó que hubo una mayor concentración de sedimentos y sales en comparación al 2017, así mismo la concentración de sulfatos fue mayor por lo que se deduce que hubo una mayor permanencia en el acuífero.

Palabras claves: Aguas termales. Fisicoquímica. Análisis. Iones. Temperatura. Ph, permanencia,acuífero.

ABSTRACT

The physicochemical characteristics of the water are the result of processes of interaction of the water with the environment where they circulate and they intervene diverse factors that determine the mineral composition which is important since they are used in medicine and therapeutics in good of the human being. For this reason the main objective of this research is to characterize the thermal waters located in the hamlet of Chotén -district of San Juan by physicochemical analysis of five samples of water, two corresponding to the confluence of hot springs and waters of the Chotén river and three extracted directly from outcrops, which are processed in the laboratory and the results have been interpreted in graphs to determine the variation of concentrations and interrelation of physicochemical parameters, as well as hydrochemical diagrams to determine the type of water and interpret the evolution of its chemical composition. Three types of water were determined according to their temperature: cold, hypothermal, and hyperthermal. The pH is acid and basic, the five samples drawn are moderately hard. Sodium is the dominant cation and sulfate is the dominant anion. The type of hydrochemical facie is sulfated and / or chlorinated calcium. From the sulfate content it was determined that the thermal waters are deep underground water that would be in an intermediate zone. In 2014, it was determined that there was a higher concentration of sediments and salts compared to 2017, and the sulfate concentration was higher, so it was concluded that there was a longer permanence in the aquifer.

Keywords: Hot springs. Physical chemistry. Analysis. Ions. Temperature. Ph, permanence, aquifer.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Las características fisicoquímicas de las aguas termales; temperatura, conductividad, dureza, pH, aniones y cationes dominantes, son el resultado de procesos de la interacción del agua con el medio donde estas circulan e intervienen diversos factores, es importante conocer la composición mineral ya que se las puede utilizar en bien del ser humano, ya que ayuda a minimizar dolencias hepáticas, estimular secreciones digestivas y estados de acidez gástrica y son usadas en terapéutica. Por tal motivo el desarrollo del presente proyecto busca realizar una caracterización fisicoquímica de las aguas termales que afloran en el caserío de Choten, en el distrito de San Juan con la finalidad de conocer sus propiedades para aprovecharlas en bien de la población, y se formula la siguiente pregunta: ¿cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas termales en el caserío de Choten –distrito de San Juan?, para tal interrogante se plantea la siguiente hipótesis: la caracterización de las aguas termales mediante análisis fisicoquímicos en el caserío de Chotén –distrito de San Juan, tienen relación con los factores de iones dominantes Na^{+1} , Ca^{+2} , Mg^{+2} y cationes dominantes $(\text{HCO}_3)^{-1}$, Cl^{-1} , $(\text{SO}_4)^{-2}$, temperatura, conductividad, dureza, pH. Esta investigación tiene como finalidad conocer las características fisicoquímicas de las aguas termales del caserío de Chotén, distrito de San Juan, para conocer las concentraciones de iones y los factores que hacen variar su concentración, para ser utilizadas en bien de la población por su uso terapéutico y medicinal. Como objetivo general se ha planteado caracterizar las aguas termales mediante análisis fisicoquímico, del caserío de Choten –Distrito de San Juan. Los específicos son: clasificar las aguas según los tipos de factores dominantes, comparar las características fisicoquímicas

de las aguas termales y las aguas del río Chotén, elaborar diagramas hidroquímicos de acuerdo a la composición de las aguas termales y del río Choten.

En el capítulo II se describe los antecedentes, las bases teóricas y definiciones de términos básicos para construir el conocimiento; en el capítulo III se describe la ubicación, los procedimientos, metodología , definiciones de variables, técnicas así como los instrumentos y equipos que se han utilizado en la investigación, tratamiento y análisis de los datos y presentación de resultados que se necesita como base de cada proyecto; en el capítulo IV se presentan los análisis de resultados y en el capítulo V se conocen las conclusiones en base a los objetivos planteados y algunas recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Sánchez et al (2010). Caracterización fisicoquímica preliminar de fuentes de aguas minerales de Colombia. Se presenta la caracterización de un conjunto de muestras obtenidas in situ de la localidad de Santa Rosa y San Vicente el cual permitió obtener valiosa información sobre la calidad de esta agua, su clasificación y comprar las mismas con normas nacionales e internacionales, aspectos de este interés para el conocimiento de los recursos hidrotermales colombianos.

Huaccán et al (1999). Aguas termales y minerales en el centro del Perú, boletín N° 21. En el que realizaron un estudio en donde se exponen las fuentes termales más representativas de los sectores Norte y Centro del país, se han evaluado las posibilidades de su aprovechamiento con fines de uso como baños termales locales y turísticos, para lo cual se han considerado a aquéllas que muestran buena ubicación, y que además las aguas de las fuentes cuenten con altas temperaturas y caudal suficiente.

Huaccán (2000). Aguas termales y minerales en el norte del Perú, boletín N° 22. En base a los contenidos de elementos, traza en las aguas y el nivel estratigráfico de su afloramiento se asume que las aguas termales son alimentadas por acuíferos. Respecto al desarrollo y uso de las fuentes termales en el área estudiada, se puede manifestar que; sobre la energía geotérmica las bajas temperaturas y bajos caudales de los reservorios, las fuentes termales en la región estudiada no ofrecen suficiente potencial geotérmico para la generación de electricidad, algunas de ellas tan sólo

muestran posibilidades para el suministro de agua caliente. Por estar ubicadas cerca de pueblos y/o carreteras.

Vargas (2008) Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los Rios Jequetepeque –Chamán. Tiene como objetivo realizar la caracterización hidrogeológica, así como definir las características químicas de las principales fuentes de agua y plantear propuestas de explotación y recarga de las aguas subterráneas.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Está compuesto por diferentes variables, las cuales se relacionan entre sí por medio de los procesos hidrológicos. En general, se entiende por proceso a una serie de acciones que producen un cambio o desarrollo en un sistema y para el caso particular de la Hidrología, los procesos están asociados con aquellos fenómenos que intervienen tanto en el movimiento del agua como en los cambios que sufre ésta en sus características físicas, químicas y biológicas al desplazarse por diversos medios. se puede representar como un sistema, es decir, como una estructura o volumen en el espacio, delimitada por una frontera, cuyos componentes internos interactúan entre sí o con otros sistemas adyacentes (Chow et al, 1988). Los componentes del sistema serán las variables hidrológicas y los procesos que las relacionan entre sí; los sistemas adyacentes serán aquellos que tienen como límites comunes las capas altas de la atmósfera y los sistemas geológicos profundos. Al considerar una escala a nivel planeta, el ciclo hidrológico se denomina global. Este sistema global se puede subdividir en tres: en un subsistema atmosférico, en un subsistema de agua superficial y en un subsistema de agua subterránea. En cada subsistema se presentará una capacidad de retención de volúmenes de agua, en cualquiera de sus fases, durante un determinado intervalo de tiempo. La capacidad de retención en un medio también recibe el nombre de almacenamiento y el intervalo de tiempo que permanece un volumen recibe el nombre de tiempo de residencia. (Breña y Jacobo 2006)

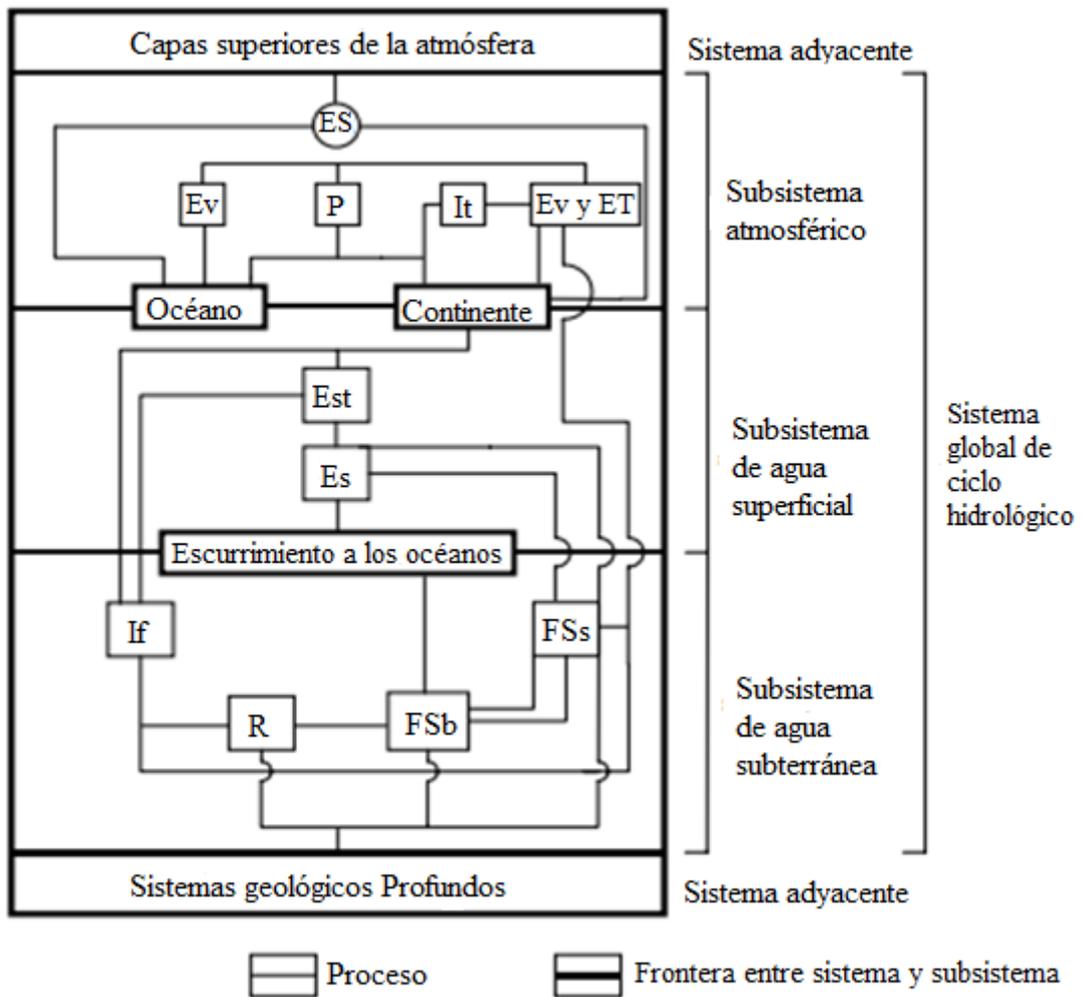


Figura 1. Representación esquemática del sistema global del ciclo hidrológico. (Breña y Jacobo 2006)

El significado de cada componente del ciclo hidrológico representado en la figura 1 es:

ES, Energía solar de los estratos superiores de la atmósfera;

Ev, Evaporación;

ET, Evapotranspiración;

It, Intercepción;

P, Precipitación;

Est, Esgurrimiento superficial sobre el terreno;

Es, Esgurrimiento superficial;

If, Infiltración.

FSs, Flujo subsuperficial.

R, Recarga.

FSb, Flujo subterráneo.

2.2.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Son aguas que se encuentran saturando los poros, grietas, cavidades del material consolidado y no consolidado, ubicados bajo la superficie terrestre. Desde el punto de vista geológico es un agente de gradación, pues ejercen en su marcha por el subsuelo acciones de erosión, transporte y sedimentación, a la vez que actúa químicamente sobre las rocas a su paso con fenómenos de disolución, sustitución y precipitación, efectos que generalmente no se observan en la superficie.

El agua subterránea compensa el flujo de esorrentía, es pues, una forma de almacenamiento que mantiene las corrientes fluviales durante los períodos de ausencia de precipitaciones. (Rebollo,s.f.).

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

De acuerdo a su origen

- a) Meteóricas o aguas de infiltración. -originadas por la percolación o infiltración a profundidad de las aguas meteóricas derivadas de la atmósfera, que se filtran de acuerdo a la permeabilidad del terreno. Por su volumen es la fuente más importante de las aguas subterráneas.
- b) Congénitas o aguas fósiles. -son captadas por los sedimentos en los espacios libres entre partículas en el momento que se depositan en los fondos marinos y se conservan después del proceso de diagénesis contienen sales disueltas. Las aguas fósiles que contienen alto contenido de sales se denominan salmueras, que están asociadas a depósito de petróleo.
- c) Magmáticas o aguas juveniles. -Son aquellas derivadas de cuerpos magmáticos profundos, los cuales pueden contener aproximadamente el 10% de los magmas.

Durante este proceso, estas aguas pueden transportar iones de cobre, plomo, zinc, plata, etc., que pueden dar lugar a depósitos minerales. Las aguas termales y los géiseres en áreas de actividad volcánica pueden ser parcialmente de origen magmática. (Rebollo,s.f.).

2.2.4 CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La presencia de los constituyentes químicos en las aguas subterráneas se debe a varios factores: la naturaleza y composición de los materiales que atraviesan, el tiempo de residencia del agua en el subsuelo, los procesos físico-químicos que se producen tanto en la zona no saturada como en la zona de saturación, la posible mezcla de diferentes tipos de agua, la existencia de yacimientos minerales, la contaminación por actividades humanas. (Rebollo,s.f.).

2.2.5 FACTORES QUE DETERMINAN LA COMPOSICIÓN Y EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS MINERALES.

La composición de aguas minerales por lo general no refleja las propiedades del material acuífero de la zona de alimentación, sino más bien, las características del propio acuífero confinado, de las capas confinantes y de los flujos hidrotermales. (Fagundo,1990).

2.2.5.1 Principios químico-físicos

Los principios químico-físicos están regidos por las leyes termodinámicas que controlan la disolución de los minerales, estos factores desempeñan un papel importante en la forma en que las aguas naturales adquieren su composición química. Entre estos se destacan: la solubilidad de los minerales, el contenido de gases disueltos, las condiciones del sistema (abierto o cerrado) en que la disolución tiene lugar, el pH, el potencial redox, el efecto salino o de fuerza iónica, el efecto de ion común y otros. (Fagundo,1990)

2.2.5.2 Factores geológicos

Se relacionan con la litología (composición de los minerales de las rocas), el estado de valencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el agrietamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímicas dominantes en una región determinada, es decir, el tipo de agua. Los aspectos vinculados al agrietamiento y porosidad de las rocas influyen de manera determinante en el estado de división de las partículas, mientras más pequeña sea

ésta, poseerá mayor superficie y se facilitará la disolución del mineral. (Fagundo,1990)

2.2.5.3 Factores hidrogeológicos

Están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua. Todos estos aspectos inciden en el tiempo de contacto entre el agua y el mineral, por ejemplo, si el flujo tiene lugar en condiciones difusas a través de las rocas, el tiempo de interacción del agua con los minerales es más lento y, por tanto, la cantidad de minerales disueltos es mayor que si las condiciones de flujo son turbulentas a través de grietas más o menos amplias. (Fagundo,1990)

2.2.5.4 Factores de tipo geomorfológico

Influyen en la composición química de las aguas, en especial, el escarpe de los macizos, el tipo de vegetación, el grado de erosión de los terrenos y la naturaleza de las propias formas del relieve. A pesar de que las formas de adsorción (dolinas, sumideros, etc.), se pueden considerar el resultado de los procesos cársticos, una vez creadas esas formas, éstas facilitan o limitan la ulterior acción de corrosión química sobre el medio, lo cual se refleja en la composición química de las aguas. (Fagundo,1990).

2.2.5.5 Tipo pedológicos

Los cuales están asociados al tipo de suelo que yace sobre las secuencias estratigráficas El suelo puede ser el resultado del intemperismo de la roca o tratarse de una cobertura de origen fluvial, pluvial o glaciario; su espesor puede variar desde un grosor apreciable hasta llegar a ser muy escaso o ausente. De sus características y condiciones pedoclimáticas depende la actividad microbiológica asociada, así como de la producción de gases y ácidos disponibles, que luego son arrastrados por las lluvias o las nieves al fundirse, haciendo posible la disolución de los minerales que forman parte del paquete de rocas subyacentes. En el caso de un macizo desnudo, el agua de las precipitaciones puede adquirir el CO₂ directamente de la atmósfera, pero en una proporción menor que la que se produce en el suelo. La microflora del suelo está compuesta de poblaciones de algas, actinomicetos, bacterias nitrificantes, desnitrificantes, desintegrantes de la celulosa, sulfobacterias y productoras de pigmentos, hongos y protozoos. (Fagundo,1990)

2.2.5.6 Factores climáticos

Intervienen de forma activa en la dinámica de la meteorización mecánica y química de los macizos, al permitir en el primer caso la fragmentación, traslado y acarreo de los minerales lejos del lugar de origen, así como facilitar en el segundo caso, la disolución de los minerales de las rocas. Mientras más intensa sea la acción mecánica, más facilitar al agua su acción corrosiva. Los elementos del clima más determinantes en el modo en que las aguas adquieren su composición química son: la temperatura, humedad relativa, intensidad y duración de las precipitaciones, intensidad y duración de las radiaciones, velocidad del aire, entre otros. Por último, se debe destacar el papel que desempeña el factor antrópico en la composición química de las aguas. (Fagundo,1990)

2.2.6 PRINCIPIOS QUÍMICO FÍSICOS

2.2.6.1 Disolución congruente e incongruente de los minerales

Cuando los productos de una reacción de disolución son todas especies iónicas, se dice que la disolución es congruente. Cuando, por el contrario, la disolución de un mineral da lugar a especies iónicas y moléculas no solubles, se dice que la disolución es incongruente. Este último es el caso de muchos aluminosilicatos. (Fagundo,1990).

2.2.6.2 El pH del agua

Un agua pura disuelve con facilidad sólo aquellos minerales solubles como los de tipo salino o los sulfatos. En la mayoría de los casos, sin embargo, la solubilidad de un mineral se incrementa considerablemente en presencia de ácidos. La medida del grado de acidez del agua es el pH, el cual se define como el logaritmo inverso de la actividad del ion hidrógeno o hidronio (H^+ o H_3O^+) que resulta de la ionización de un ácido cualquiera.

El valor del pH de muchas aguas naturales que interactúan con los minerales varía en un estrecho intervalo, por lo general entre 6 y 9, lo cual entre otras causas se debe a la gran distribución de las rocas carbonatadas y al carácter ácido-básico de las mismas, a través del sistema de equilibrios químicos que se establecen entre CO_2 , HCO_3^- y CO_3^{2-} . (Fagundo,1990)

2.2.6.3 Equilibrio de los carbonatos

La disolución de los minerales constitutivos de las rocas carbonatadas comprende una serie de procesos físicos y químicos donde intervienen estados gaseosos, líquidos y sólidos a través de interfases aire-agua-roca y un sistema de equilibrios químicos. (Fagundo,1990).

2.2.6.4 Sistemas abierto y cerrado respecto al CO₂

Si en el proceso de disolución de los minerales carbonatados por las aguas naturales existe un suministro abundante de CO₂, que puede considerarse constante durante la reacción, éste procede rápidamente hasta la saturación. En este caso la reacción tiene lugar en condiciones de sistema abierto respecto al CO₂. Si, por el contrario, la disolución de los carbonatos por las aguas naturales se produce en virtud del suministro inicial de CO₂, que luego no se repone en el transcurso de la reacción, ésta se produce en condiciones de sistema cerrado respecto al CO₂. (Fagundo,1990).

2.2.6.5 Efecto de ión común y efecto salino

Cuando un agua natural pasa por un terreno donde existen minerales con iones comunes a los que ésta lleva disuelto en su seno, disminuye su capacidad para disolver esos minerales. Si se compara la solubilidad de los minerales en agua pura con la de un agua que contiene iones no comunes al proceso de disolución de ese mineral, se demuestra que la salinidad incrementa la solubilidad del mismo. Esto se debe a que, como consecuencia del incremento de la concentración, aumenta la fuerza iónica y se produce una disminución del coeficiente de actividad. (Fagundo,1990).

2.2.6.6 Potencial de oxidación-reducción

Muchas reacciones químicas que tienen lugar en el medio acuático y en especial en el sistema de las aguas subterráneas, implica transferencia de electrones entre constituyentes disueltos, gases o sólidos. Como resultados de estas transferencias se producen cambios en los estados de oxidación-reducción de los reaccionantes y los productos. Los elementos de valencia múltiples son susceptibles de intervenir en las reacciones de oxidación-reducción, mediante las cuales una molécula se reduce (oxidante) al tomar los electrones que le cede la otra (reductora), la cual se oxida. (Fagundo,1990)

2.2.6.7 Intercambio iónico y adsorción

Los materiales geológicos porosos están compuestos de un porcentaje apreciable de partículas de tamaño coloidal que tienen la capacidad de intercambiar iones adsorbidos en su superficie. Como resultado del proceso de intemperismo de las rocas por los agentes exógenos se originan los suelos, constituidos por minerales de tipo arcilloso. Estos minerales se subdividen en cinco grupos: caolinita, montmorillonita, illita, clorita y vermiculita; los cuales se caracterizan por presentar tamaños de partículas del orden de los coloides, que originan procesos de intercambio iónico entre las arcillas de la zona del suelo y las aguas que discurren a través de las mismas. (Fagundo,1990).

2.2.7 EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

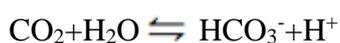
Para explicar la presencia de elementos químicos en el agua, se reseñan aspectos fundamentales como:

2.2.7.1 Precipitaciones

El agua de la lluvia, tiene pequeñas sustancias disueltas procedentes del polvo atmosférico; en áreas costeras el Na⁺ puede llegar a unos pocos mg/l por el aerosol de agua marina. Un caso especial lo constituyen las lluvias ácidas que contienen azufre, por lo tanto, algunos de los iones en agua subterránea son adquiridos del suelo y de la atmósfera. (Sánchez,2012).

2.2.7.2 Evolución en el suelo

La etapa de infiltración a través del suelo es importante para la composición química, gran parte se adquiere en los primeros metros de recorrido, aunque después haya recorrido varios metros de subsuelo, debido a que el agua en el suelo es ácida por la reacción del CO₂ con el agua (los poros del suelo presentan una elevada concentración en este gas):



Esta acidez hace que el agua sea muy agresiva con silicatos y carbonatos. Si el agua permanece en el suelo, siempre hay CO₂ presente y recupera, mediante la reacción, la acidez que ha consumido la alteración. Esto mantendrá su agresividad mientras permanezca en el suelo, pero si ya ha llegado a un acuífero, en el medio saturado normalmente no hay aportes de acidez, luego el agua se hace básica y pierde su capacidad de disolver carbonatos y alterar silicatos. (Sánchez,2012).

2.2.7.3 Evolución en los acuíferos.

Desde que el agua alcanza la superficie freática más próxima hasta que sale al exterior en un río, manantial o captación, pueden transcurrir unos días o miles de años en el recorrido puede ser de unos metros o de varios kilómetros. Por tanto, la evolución química del agua dependerá de los minerales con los que entre en contacto y de la duración de dicho contacto, que a su vez depende de la velocidad del flujo subterráneo. Si el agua atraviesa yesos se obtendrán SO_4^{2-} y Ca^{2+} , si encuentra niveles salinos, con sales cloruradas adquirirá Cl^- y Na^+ , y si atraviesa formaciones calizas adquirirá HCO_3^- y Ca^{2+} , en los casos citados hablaríamos, respectivamente, de aguas sulfatadas cálcicas, cloruradas sódicas y bicarbonatadas cálcicas. (Sánchez,2012).

2.2.7.4 Secuencia de Chevotareb

Aunque las reacciones y procesos químicos que se desarrollan son muy variados, como norma general se observa que las aguas subterráneas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo son generalmente bicarbonatadas, Después predomina el sulfato, y las aguas más salinas son cloruradas. Esta evolución se denomina secuencia de Chevotareb.

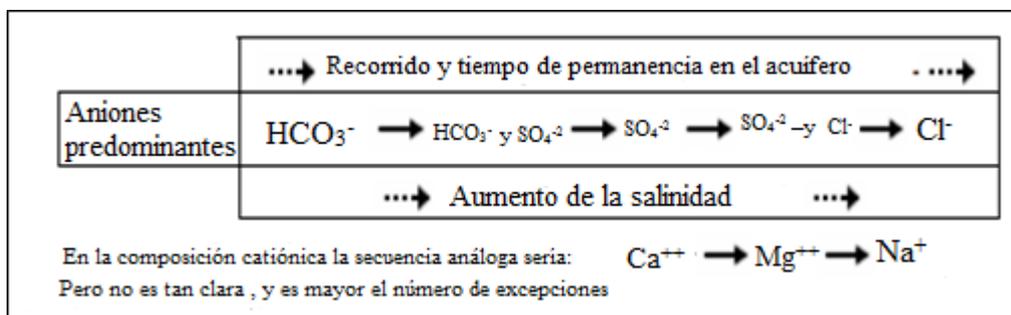


Figura 2.Secuencia de Chevotareb.

Esta secuencia se debe a la solubilidad y abundancia en el subsuelo de las distintas sales, el agua disuelve o altera los minerales que encuentra si tiene tiempo suficiente, hasta que se alcanza el tope marcado por la constante de equilibrio correspondiente. Ya no disolverá más ese mineral, continuará disolviendo otros minerales con una constante más elevada hasta que de nuevo se alcance el equilibrio y así sucesivamente. (Sánchez,2012).

- a) Solubilidad; de los carbonatos es mucho más baja que de los sulfatos que a su vez son menos solubles que los cloruros, por tanto, primero se alcanza el tope para los

bicarbonatos, después (raramente) para los sulfatos y finalmente (casi nunca: la solubilidad es muy elevada) para los cloruros.

- b) Abundancia; se refiere a la diferente probabilidad que existe de que un agua encuentre minerales que le aporten bicarbonatos, sulfatos o cloruros. Si un agua estuviera en contacto simultáneamente desde su infiltración con minerales que desde el primer momento, las aguas serían cloruradas, puesto que son las sales más solubles. Pero en la realidad, la disponibilidad de las distintas sales es así: siempre existe un aporte de bicarbonatos (el CO₂ del suelo, cuando no existan sales carbonatas, normalmente calcite, también muy abundante). En Segundo lugar, los yesos (sulfato cálcico) son relativamente frecuentes en series sedimentarias. Y finalmente, las sales cloruradas son las menos abundantes. (Sánchez, 2012).

2.2.7.5 Esquema de Domenico (1972).

Describe la distribución geoquímica del agua en el subsuelo de una región. En las grandes cuencas sedimentarias, distingue tres zonas en profundidad.

- a) Zona superior; con flujo activo, generalmente recorridos cortos y tiempos de permanencia de años o docenas de años. Aguas bicarbonatadas y poco salinas.
- b) Zona intermedia; con flujo menos activo, recorridos más largos y tiempos de permanencia de cientos a miles de años. Aguas más salinas y el anión predominante será el sulfato.
- c) Zona inferior; con flujo muy lento, cuando no estancado, largos recorridos y tiempos de miles a millones de años. La salinidad es elevada y el agua es clorurada.

Esto explica que en una misma área pueden extraerse aguas de composición muy distintas, aunque la litología sea relativamente homogénea. (Sánchez, 2012).

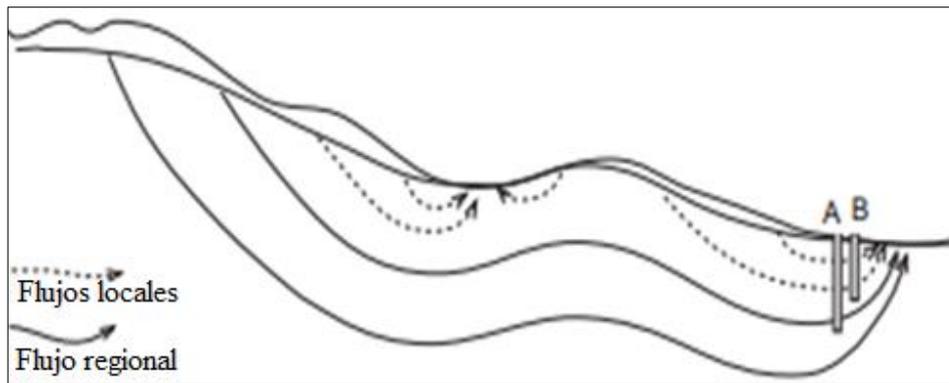


Figura 3. El sondeo del punto A capta un flujo regional mientras que el sondeo B interpreta un flujo local, de modo que su química puede ser muy diferente (Sánchez, 2012).

2.2.8 CONSTITUYENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

2.2.8.1 Constituyentes mayoritarios o principales

(De 1 a 1.000 ppm)

Cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+

Aniones: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}

Coloides: SiO_2 .

Constituyen en torno al 90-95% de los sólidos totales (Rebollo, s.f.)

2.2.8.2 Constituyentes secundarios

(De 0,01 a 10 ppm)

Cationes: K^+ , Sr^{2+} , Fe^{2+} , B^{3+}

Aniones: CO_3^{2-} , NO_3^- , F^- (Rebollo, s.f.)

2.2.8.3 Constituyentes menores

(< 0,1 ppm)

Br^- , Li^+ , Al^{3+} , Mn^{2+} (Rebollo, s.f.)

2.2.8.4 Microconstituyentes

(< 0,001 ppm) (Rebollo, s.f.)

2.2.9 ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES

Las aguas de origen meteórico que se infiltran en el subsuelo descienden por gravedad hacia capas más profundas, elevando su temperatura en el curso de su circulación subterránea. Estas aguas pueden ascender posteriormente hasta la superficie, a través de las fisuras y fracturas existentes en las rocas, gracias a ciertos mecanismos de surgencia. Este es sin lugar a dudas el origen más frecuente de las aguas termales, denominándose comúnmente origen geotérmico. Las características físico-químicas de estas aguas vienen dadas por la de los terrenos de donde provienen. Por ello, su contenido en sales, su temperatura y las características hidrológicas son muy variables. No obstante, su temperatura en el punto de surgencia raramente supera los 35-40 °C, En algunos casos, sin embargo, la sola circulación de las aguas de origen meteórico en profundidad no permite explicar satisfactoriamente las características físico-químicas de las aguas termales, debiéndoles atribuir un origen endógeno, es decir magmático, volcánico y químico (Espejel,2004)

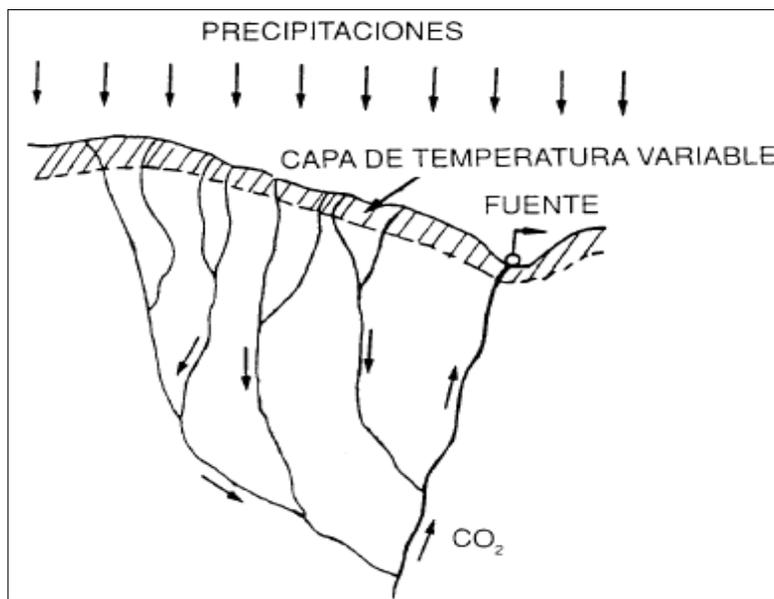


Figura 4. Esquema del origen meteórico de las aguas termales (Espejel,2004).

2.2.10 AGUAS DE ORIGEN MAGMÁTICO

Se puede afirmar que existe la posibilidad de que como consecuencia de la cristalización de los magmas se liberen constituyentes volátiles que pueden escaparse en forma de fumarolas, compuestas esencialmente de hidrógeno y vapor de agua, junto con elementos como flúor, cloro, azufre, carbono, fósforo y boro.

Así, se ha calculado que al fundirse un km³ de granito se liberarían 26 millones de toneladas de agua (1 kg de granito produce 10 gr. de agua). Según los estudios de Sosman, confirmados por S. Geze, una intrusión magmática con una potencia de 1000 metros contendría un 5% en peso de agua y al enfriarse lentamente podría producir durante un millón de años una cantidad de agua de unos 23,8 litros de agua por minuto y por kilómetro cuadrado. La composición en sales y la temperatura de estas aguas termales de origen endógeno, con independencia de la roca de la que proceden, son relativamente constantes y de carácter hipertermal. De forma análoga, las aguas juveniles o endógenas pueden también proceder de la consolidación de lavas y de vapor de agua de origen volcánico, acompañados generalmente de gases como el anhídrido carbónico, nitrógeno, sulfhídrico, fluorhídrico, etc. Ciertas reacciones químicas de carácter intenso en el seno de la corteza terrestre pueden liberar agua, y que algunos sedimentos al depositarse sobre los fondos marinos dan lugar a un proceso de oclusión de parte del agua de arrastre, originando las denominadas aguas fósiles, particularmente ricas en cloruro sódico (Na Cl), bromo (Br) y Yodo (I). No obstante, las aguas termales pueden tener también un origen mixto, por mezcla de aguas meteóricas de infiltración reciente con aguas endógenas o fósiles. (Espejel,2004).

2.2.11 FUENTES TERMALES

Están unidas esencialmente al concepto de «ascensión» de aguas profundas. Esta condición, que evidencia el importante papel de las fracturas abiertas, limita los tipos de surgencias a estructuras muy particulares, que admiten menos variaciones que las de las aguas subterráneas en general. Entre los accidentes geológicos que favorecen la circulación del agua se pueden citar

Las diaclasas y fisuras finas

Las fallas y zonas de milonitización

Los contactos geológicos

Los filones y diques eruptivos

Los filones metalíferos

Es necesario que estos accidentes se encuentren abiertos, he ahí la noción de "fisuración activa".

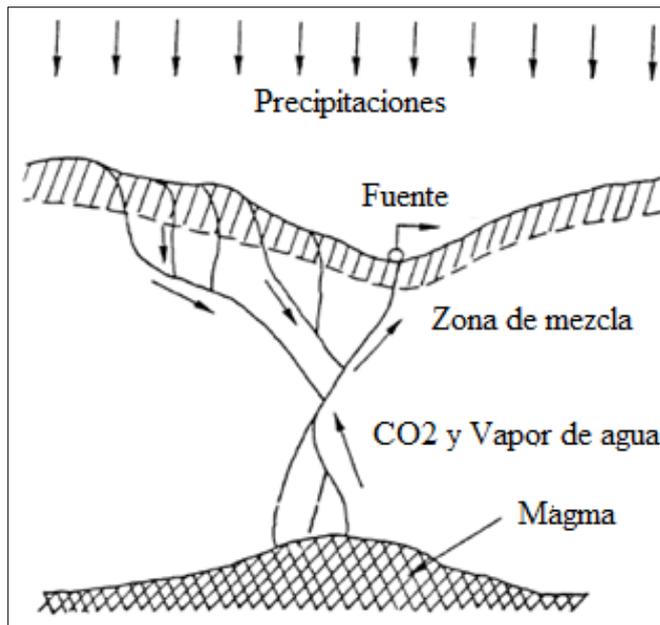


Figura 5. Esquema del origen mixto de las aguas termales (Espejel,2004).

Las surgencias termales vienen determinadas por dos tipos de condicionantes principales:

Una fracturación intensa con una o varias fases tectónicas, de las que la última, debida a movimientos recientes, está a veces acentuada por algún tipo de actividad volcánica.

La presencia de valles o depresiones.

No obstante, las rocas fisuradas del sustrato de donde emergen las aguas termales están cubiertas con cierta frecuencia, por formaciones sedimentarias más recientes, que enmascaran auténticos termosifones. En otros casos, puede llegar a existir precipitados que cimentan y colmatan los terrenos permeables que recubren el sustrato, formando una verdadera capa protectora que es preciso perforar para proceder a las captaciones. (Espejel,2004).

2.2.12 MECANISMOS DE SURGENCIA DE LAS AGUAS TERMALES

Los sistemas de aguas termales dan lugar al nacimiento de fuentes bajo la influencia de factores hidrogeológicos y físicos de los que unos, como el gradiente hidráulico son comunes a todo tipo de circulación subterránea, y otros, son particulares de las aguas termales profundas. Entre estos últimos, se pueden citar:

Gradiente hidráulico. Es el factor principal que afecta a la circulación de las aguas subterráneas, termales o no. Su acción implica zonas de alimentación o recarga más elevada que las zonas de emergencia o acumulación.

Expansión del vapor de agua. Este factor juega un papel esencial en el funcionamiento de los géiseres, fumarolas y en la surgencia de las fuentes hipertermales. Cuando el agua entra en contacto con rocas a alta temperatura, se producen dos acciones físicas: la de la vaporización del agua y la de SU disociación con la fijación de oxígeno

Acción de los gases ocluidos y disueltos. Los gases ocluidos y disueltos tienen una doble acción física y dinámica ya que, por un lado, rebajan el peso específico del agua, y por otro, la presión de los gases emulsiona el agua y provoca su ascenso. Los gases disueltos y ocluidos actúan sobre la densidad, que a su vez influye sobre la velocidad de flujo, y sobre la relación entre los caudales del gas y del líquido, modificando, por tanto, la carga hidráulica. El papel principal lo juegan dos tipos de gases: el anhídrido carbónico y el vapor de agua, siendo la influencia del primero más importante que la del segundo. Los carbura de hidrógeno intervienen a veces en zonas particulares, como las regiones petrolíferas.

Acción de la temperatura. La temperatura actúa variando la masa específica del agua y su viscosidad, de forma que si el gradiente de temperatura supera el límite conocido como gradiente adiabático el fluido existente en el acuífero se hace inestable y tiende a fluir por convección térmica hacia superficie. A su vez, la diferencia de densidad entre el agua fría y caliente provoca un fenómeno típico de termosifón, que crece con el caudal.

La acción de la viscosidad parece que influye en general en la velocidad de circulación del agua (La viscosidad del agua disminuye al aumentar la temperatura por lo que el coeficiente de permeabilidad aumenta al hacerlo la velocidad de circulación).

Fracturación de las rocas, por movimientos tectónicos recientes. Las zonas «libres», así producidas, permiten el ascenso rápido de las aguas profundas, cuyo origen es la infiltración y a veces su relación con fenómenos endógenos. En la mayoría de los casos, se suelen producir fenómenos de mezcla de aguas superficiales con aguas hipertermales profundas, vapor de agua o gases, entre los

que cabe destacar el anhídrico carbónico por el papel primordial que juega en este tipo de sistemas. De esta forma, las aguas termales marcan un estadio particular del ciclo del agua, desarrollándose en las capas profundas del subsuelo. Las condiciones químico físicas del medio son el origen de su composición química y de su temperatura. El estudio de la mineralización y la circulación de las aguas termales permiten también comprender mejor la formación de los filones metalíferos, aportando pruebas que apoyan la hipótesis de su origen hidrotermal. (Espejel,2004)

2.2.13 AGUAS MINERALES Y MINEROMEDICINALES

Dentro de las aguas naturales deben destacarse las denominadas aguas minerales. Se distinguen del resto de las aguas naturales en que poseen prácticamente invariables su caudal, temperatura y composición química y bacteriológica. Cuando presentan reconocida acción terapéutica estas aguas se denominan mineromedicinales. Las aguas minerales poseen una constancia probada en relación con la temperatura, el caudal, la microflora (saprofitica) y la composición química. Las normas de agua mineral establecen por lo general, que éstas deben poseer.

2.2.14 CLASIFICACIÓN DE AGUAS TERMALES

2.2.14.1 De acuerdo a su temperatura

Con frecuencia se encuentran clasificadas las aguas, por su temperatura, como sigue en (Armijo- Valenzuela y San Martín,1994)

Frías: menos de 20 °C.

Hipotermas: entre 20 y 35 °C.

Mesotermas: entre 35 y 45 °C.

Hipertermas: de más de 45 y hasta 50 °C. (Reyes,2015)

2.2.14.2 De acuerdo a su mineralización

Las clasificaciones de mayor aceptación en todo el mundo son las basadas en la mineralización predominante y especial que pueden contener las aguas. En todas ellas se considera la mineralización total, la predominante y también la especial, dándose carácter de predominante a aquellos gases, aniones o cationes que representan más del 20 % de la masa iónica correspondiente, expresada en mili equivalentes (Valenzuela y San Martín,1994):

Siguiendo estas normas, que podemos considerar internacionales, podemos clasificar las aguas minerales como sigue:

Aguas con más de un gramo por litro de sustancias mineralizantes:

Sulfatadas: con más de 1(g/l) de sustancias mineralizantes, donde predomina el anión sulfato y están influidas fuertemente en sus propiedades terapéuticas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro.

Cloruradas: con más de 1(g/l) de sustancias mineralizantes, donde el ion cloruro suele estar acompañado de sodio en proporción semejante. La composición de este tipo de agua refleja un origen profundo y la presencia de mares pretéritos. La ocurrencia de fallas y grietas facilita su ascenso a la superficie. Se subdividen en: fuentes (más de 50 g/l), medianas (entre 10 y 50 g/l) y débiles (menos de 10 g/l)

Bicarbonatadas: con más de 1(g/l) de sustancia mineralizante, donde el ion bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros. Estas aguas cuando poseen gran cantidad de ácidos libres (CO_2 mayor de 250 mg/L), también se denominan carbónicas o carbo gaseosas. (Reyes,2015)

Aguas con mineralización inferior a un gramo por litro.

Se conocen como aguas oligominerales. En ellas la mineralización es inferior a 1 g/l, aunque pueden poseer abundante cantidad de los microelementos: cobalto, vanadio, molibdeno, silicio, fósforo, germanio, etc. Se admiten dos subgrupos, uno de débil mineralización (menos de 0.2 g/l) y otro de mediana mineralización (0.2-1 g/l), pero sin considerárseles factores mineralizantes especiales. En este último grupo, atendiendo a su temperatura, pueden admitirse dos grupos principales:

Acratopegas: con menos de 20 °C.

Acratotermas: con más de 20 °C.

Grupos balneológicos de agua mineromedicinales

Algunos especialistas han propuesto clasificaciones de las aguas mineromedicinales atendiendo a sus acciones terapéuticas. (Armijo y San Martín, 1974). Sin embargo, en muchos países se han establecido clasificaciones mixtas de aguas mineromedicinales, los cuales toman en cuenta tanto la composición química como las acciones terapéuticas de las mismas. (Reyes,2015)

TIPO DE AGUA	ACCIÓN TERAPÉUTICA
Sulfuradas	Antialérgicas,desintoxicantes,antiflogísticas,antirrumática
Cloruradas	Anticatarrales, antiinflamatorias
Sulfatadas	Colagogas , purgantes
Cálcicas	Antialérgicas, sedantes ,antiinflamatorias
Ferruginosas	Antianémicas y reconstituyentes
Radiactivas	Equilibradoras ,sedantes
Oligométalicas	Diuréticas

Figura 6. Propiedades terapéuticas atribuibles a diferentes tipos de agua, (Reyes,2015)

2.2.15 Análisis químico de las aguas minerales

Tiene que incluir necesariamente, los valores cuantitativos de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de las sustancias presentes, magnitudes necesarias para poder clasificarla inequívocamente en un grupo definido (Armijo-Castro, 1994a).

Es por esto que se debe realizar un correcto análisis de los componentes de dichas aguas, teniendo en cuenta primeramente una adecuada toma de muestras (se deben tomar 2 y 2.5 l). (Reyes 2015)

El análisis cuantitativo se compone:

Determinaciones organolépticas: olor, sabor, turbidez.

Determinaciones físico-químicas en la fuente: conductividad, pH, potencial redox, temperatura.

Determinación de sustancias ionizadas:

Elementos mayoritarios indispensables cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio.

Otros elementos mayoritarios; nitratos, potasio.

Elementos traza: hierro, litio, fluoruros, azufre reducido (sulfuros y sulfhidratados).

Determinación de gases: anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno y oxígeno disuelto.

Determinación de elementos no ionizantes: sílice.

Determinaciones auxiliares: residuo seco, dureza, alcalinidad, acidez.

2.2.16 Representación gráfica de la composición química de las aguas minerales.

La representación gráfica de los datos hidrogeoquímicos constituye una herramienta de trabajo muy eficiente en la interpretación de las propiedades de un agua, así como para hacer comparaciones. también permite ver con facilidad el comportamiento y evolución de un agua en un territorio determinado y a través del tiempo (Fagundo 1996). Entre los métodos gráficos más utilizados se destacan los siguientes: diagrama de barra, diagrama circular, diagrama de Stiff, diagrama triangular, diagrama vertical. (Reyes ,2015)

2.2.16.1 Diagrama de Hill- Piper

Consiste en dos campos triangulares en los que se representan los aniones y los cationes por separado, además de un rombo. En este los valores de cada eje corresponden al porcentaje que representa la especie en la suma total de cationes y aniones. En el campo de los cationes se representan el Mg^{2+} y el Ca^{2+} por separado. El Na^+ y el K^+ se presentan agrupados. En el campo de los aniones se representan el Cl^- y el SO_4^{2-} por separado.

El Carbono inorgánico (alcalinidad) se presenta agrupado como $HCO_3^-+CO_3^{2-}$, los datos de partida deben ser meq/L de cada ión, y es preciso calcular los porcentajes, considerando separadamente:

cationes = 100 (para el triángulo izquierdo)

aniones = 100 (para el triángulo derecho).

Posterior a su ubicación en cada campo, los puntos se proyectan hacia el rombo hasta donde se intersecten las líneas de proyección. (Sánchez,2011).

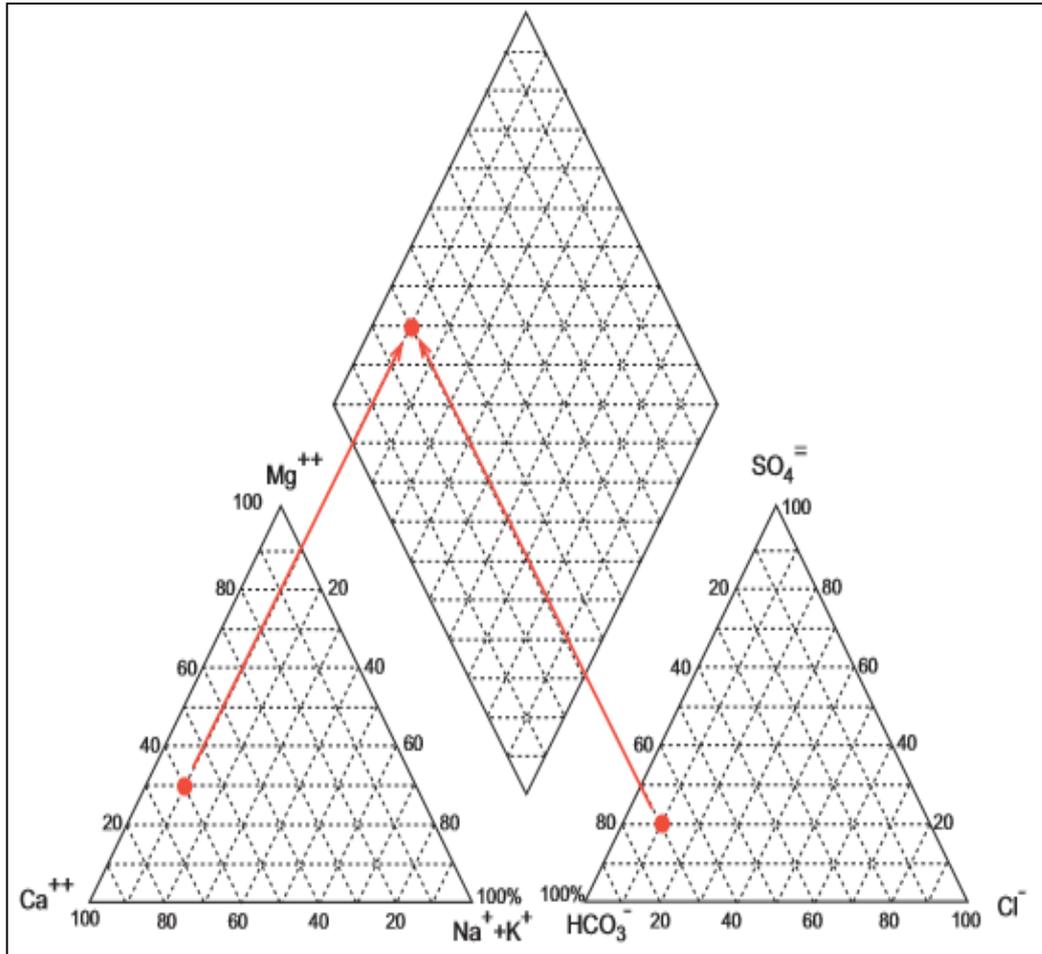


Figura 7. Representación cationes y aniones en el rombo para análisis de agua (Sánchez, 2012).

2.2.16.2 Resultados del Diagrama de Hill-Pipper

a) Ubicación de los puntos hacia el rombo.

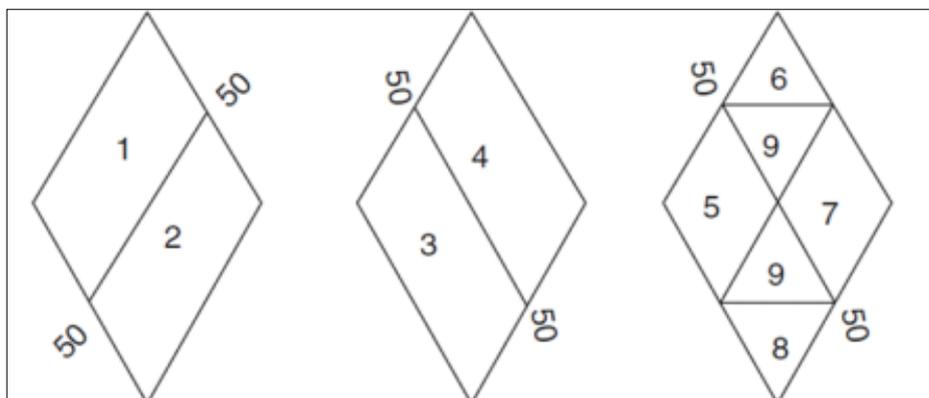


Figura 8. Características químicas del agua subterránea según la posición de su representación en el Diagrama de Hill-Pipper (Singhal y Gupta, 2010). (Gidhatari, s.f.)

Área 1: las tierras alcalinas exceden los elementos alcalinos; Área 2: los elementos alcalinos exceden la tierra alcalina; Área 3: los ácidos débiles exceden los ácidos fuertes; Área 4: los ácidos fuertes exceden los ácidos débiles; Área 5: dureza Cálctica. (Alcalinidad Secundaria) Las propiedades del agua están dominadas por los ácidos débiles y las tierras alcalinas. Excede 50%; Área 6: dureza Magnésica. (salinidad Secundaria) Excede el 50%; Área 7: alcalinidad no Carbonácea (salinidad primaria) Excede el 50%. Propiedades químicas dominadas por elementos alcalinos y ácidos fuertes. Aquí por lo general se representa el agua salada; Área 8: alcalinidad Carbonácea (Alcalinidad primaria) excede el 50%. Aguas subterráneas con poca dureza en proporción a la cantidad de sólidos disueltos; Área 9: ningún Cation o Anion excede el 50%. (Singhal & Gupta,2010). (Gidahatari, s.f.)

b) Facies Hidroquímicas

Los resultados del Diagrama de Hill-Pipper pueden ser interpretados con relación a la ubicación espacial del análisis conforme a relaciones de predominancia.(Singhal & Gupta,2010). (Gidahatari s.f.)

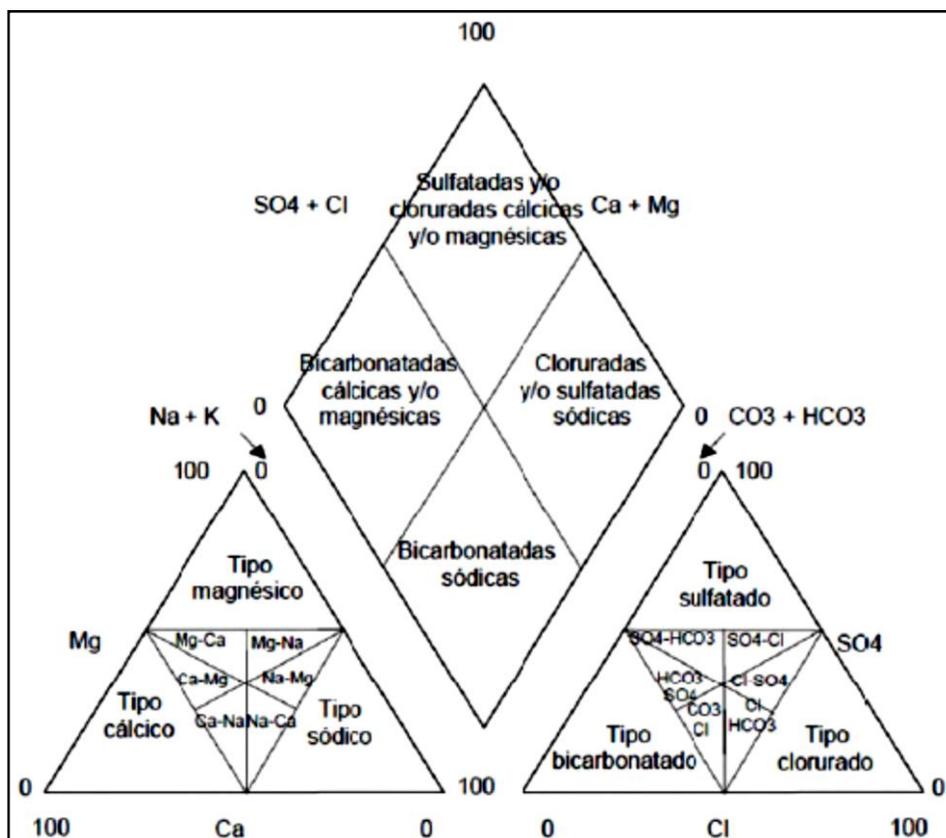


Figura 9. Facies del Diagrama Triangular de Piper

2.2.16.3 Diagrama de Stiff

Son polígonos (uno para cada análisis) que normalmente se situarán sobre un mapa para mostrar la distribución geográfica de la composición de las aguas. En su forma más sencilla (y mejor) se forman con 3 ejes paralelos hacia la izquierda (cationes) y otros tres hacia la derecha (aniones). La distancia entre los ejes horizontales es arbitraria, simplemente estética, y la escala elegida en horizontal (1,2,3,... ó bien 5, 10, 15,...) dependerá de la salinidad de las aguas de la región estudiada. La longitud y escala se establecerán a partir del análisis de concentraciones más elevadas. Se sitúan las concentraciones en cada uno de los seis ejes (en meq/L) y después se unen formando un polígono. (Sánchez,2011).

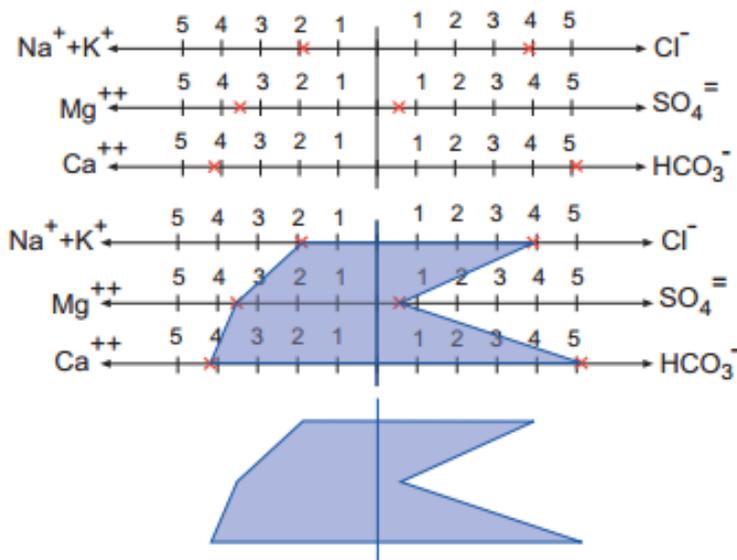


Figura 10. Representación de diagrama de Stiff.

2.2.16.4 Diagrama de Shoeller Bekford

Presenta en el eje horizontal a las especies iónicas y en el vertical una escala logarítmica en la que se representan los eq-gr de cada ion. Para graficar la concentración de cada ion se emplearía la expresión:

$$z = \log[Y]$$

Donde:

[X]: concentración de la especie iónica X en meq-gr/L

El diagrama permite la superposición de los análisis y por lo tanto comparar variaciones de la composición química entre muestras. (Gidahatari, s.f.)

2.2.17 UNIDADES MAYORES AMBIENTE ESTRUCTURAL

El ambiente estructural corresponde a las zonas dominadas por los bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y los macizos ígneos – metamórficos sin geoformas marcadas de otros ambientes. En este contexto, tanto la litología como la estructura de deformación de las rocas inciden para favorecer una disección distintiva de los bloques levantados y plegados. Mientras el grado de plegamiento de las rocas sedimentarias favorece geoformas específicas tales como mesetas y crestas estructurales, la tendencia masiva de las rocas ígneas metamórficas tiende a generar la formación de cuchillas con pendientes similares y patrones de drenaje en función de los sistemas de diaclasas y fallas geológicas. Por tales motivos, los criterios de clasificación se agrupan principalmente en las diferencias litológicas y los controles estructurales de plegamiento y fallamiento que presentan las zonas levantadas. En las rocas sedimentarias plegadas se presentan tres geoformas clásicas en función del buzamiento de las capas de rocas competentes, mesetas, crestas (laderas estructurales). (Robertson, 2013)

2.2.18 UNIDADES MENORES AMBIENTE DENUDACIONAL

La disección de los paisajes por los procesos exógenos se manifiesta en procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de los dos. Bajo condiciones climáticas secas, las formas erosivas relacionadas con disección y pérdida del suelo generan fenómenos de erosión en forma laminar, surcos y cárcavas, es decir terrenos eriales. En cambio, condiciones húmedas favorecen la meteorización del subsuelo y los movimientos gravitatorios con sus deslizamientos y flujos de suelos y escombros. Indudablemente, los dos procesos interactúan para producir un sinnúmero de combinaciones. Aun así, los procesos erosivos hídricos y de remoción en masa, constituyen los dos subambientes dominantes del Ambiente Denudacional. Dentro del Subambiente de Remoción en Masa se distinguen las laderas erosionales con escarpes estrechos, a veces representado en forma lineal y las laderas coluviales con remoción en masa más o menos activa. También son notorios los flujos torrenciales en la forma de vegas y conos de estabilidad variable, a veces difíciles de distinguir de los depósitos de ladera salvo por su forma típicamente de relleno y pendiente menor. Esta morfología también se

relaciona con un drenaje complejo de dos o tres cauces secundarios separados por los flujos recientes dentro del mismo valle menor. (Robertson,2013)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Acuífero. Roca porosa y permeable que permite la retención del agua en cantidades suficientes para su posterior extracción en beneficio del hombre. (Dávila,2011)

Agua termal. Agua que se encuentra a cierta profundidad de la superficie y surge a ésta por medio de fuentes debido a las fuertes presiones hidrostáticas existentes en el subsuelo y presenta temperaturas superiores a las del medio ambiente. (Dávila,2011)

Alcalinidad. Es una medida de la capacidad que tiene el agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH (capacidad para neutralizar ácidos). Las sustancias que le imparten alcalinidad al agua son fundamentalmente, los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Algunos otros materiales también le imparten alcalinidad a el agua, como son los silicatos, boratos y fosfatos, pero su contenido en las aguas naturales es generalmente insignificante y su efecto puede ignorarse. (Barba ,2002)

Aluminio(Al^{3+}). Es el elemento metálico más abundante y constituye alrededor del 8% de la corteza terrestre. (OMS,2003)

Calcio. Elemento químico, metal blanco muy alterable, es uno de los elementos más abundantes, sobre todo $CaCO_3$. (Dávila,2011)

Carbonatos. Son los materiales más comunes precipitados directamente, o en algunos casos con la intervención de organismos. (Pettijohn,1980)

Caudal. Cantidad de agua que avanza en una unidad de tiempo (Rojas,2006)

Cloro. Cuerpo simple gaseoso, verde amarillento, olor fuerte posee gran afinidad con el hidrógeno, descompone las sustancias orgánicas. (Dávila,2011)

Conductividad eléctrica (CE). Capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Mantiene una buena correlación con TDS y con otros índices (cloruros, sulfatos y dureza total). (Rebollo, s.f.)

Dureza. La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico. (OMS,2003)

Fósforo. Es un metaloide, se presenta como fósforo blanco, de aspecto céreo, cristalino, tóxico se lo encuentra en la naturaleza como fosfatos. (Dávila,2011)

Hidrogeoquímica. Rama de la geología dedicada al estudio del agua subterránea, en sus parámetros iónico, fisicoquímico, bacteriológico y su relación con la roca. (Dávila,2011)

Hierro(Fe). El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/l (OMS,2003)

Nitrato y Nitrito. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. Las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito (OMS,2003)

Oxígeno disuelto(O₂). Procede de la disolución del oxígeno atmosférico y de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos (Rebollo,2007)

Potasio. Metal blanco, se oxida fácilmente, reacciona enérgicamente con el agua, inflamándose el hidrogeno desprendido, muy difundido en la naturaleza (Dávila,2011).

Potencial hidrógeno (pH). Grado de acidez/basicidad del agua. (Rebollo, s.f.)

Sedimentos. Material fragmentado, originado por la erosión y/o alteración de las rocas pre-existentes, susceptible de ser transportado y depositado (Dávila,2011)

Selenio. Está presente en la corteza terrestre, generalmente en asociación con minerales que contienen azufre (OMS,2003)

Sodio. Metal color parecido al de la plata, blando como la cera descompone el agua a la temperatura ordinaria abunda en la naturaleza formando compuestos, como el cloruro de sodio (Dávila,2011)

Sólidos en suspensión (SS). Cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno (Rebollo,2007)

Solubilidad. Propiedad de los minerales de disolverse ante la presencia de ciertos líquidos, solubles en el agua, en los ácidos, en el agua regia, etc. (Dávila,2011)

Sulfatos. Se conocen tres sulfatos en las rocas minerales en las rocas sedimentarias; yeso, anhidrita y baritina. El yeso y la anhidrita pueden aparecer en estado relativamente puro como depósitos químicos de potencia considerable. Por su parte la baritina se presenta como nódulos o como cemento antiguo en cantidades menores de algunas areniscas, en las areniscas, la anhidrita también es común. (Pettijohn,1980)

Temperatura (T°). Propiedad básica de un equilibrio térmico medido por varias escalas (Celsius, Kelvin, Fahrenheit, Rankin), basados en los cambios de volumen, resistencia eléctrica, fuerza termal electromotora o longitud. Sistemas que se hallan en equilibrio termal en cada una de las escalas que tienen la misma temperatura. (Dávila,2011)

Total, de Sólidos Disueltos (TSD). Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Las sales empleadas en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también contribuyen a aumentar el contenido de SDT en el agua de consumo. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de SDT en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras. (OMS,2003)

Turbidez. Está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la suspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse

a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución (OMS,2003)

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio se encuentra ubicada en Perú, en la parte norte y occidental de América del sur, coordenadas: 773833E 9198681N, 774576E 9198681N, 774576E 9197953N, 773833E 9197953N, DATUM WGS 84. (Anexo 4: plano de ubicación)

3.1.2 UBICACIÓN POLÍTICA

El área estudiada se encuentra enclavada en la cordillera occidental de los Andes, parte norte del Valle de Cajamarca, específicamente en: departamento y provincia de Cajamarca, distrito de San Juan y caserío, Chotén.

3.1.3 ACCESIBILIDAD

La zona cuenta con una carretera asfaltada principal; carretera Cajamarca-San Juan, tiene diversos caminos de herradura y trochas carrozables las cuales son utilizados por los pobladores.

Tabla 1. Vías de accesibilidad al caserío Chotén

TRAMO	TIPO DE VIA	TIEMPO
Cajamarca- Caserío Chotén	Carretera Asfaltada	45 minutos
Caserío Chotén –Agua termales	Carretera sin Asfaltar	40 minutos



Foto 1. Kilómetro 3, camino de acceso a zona de aguas termales de Chotén

3.1.4 GEOMORFOLOGIA

3.1.4.1 UNIDADES MAYORES AMBIENTE ESTRUCTURAL

a) Cresta estructural

La principal unidad geomorfológica de la zona es la cordillera de los andes, que presenta crestas estructurales en la zona de estudio formadas por estratos de areniscas del grupo Goyllarisquizga que se encuentran en el cerro Yumagual.



Foto 2. Crestas estructurales SW-NE vistas desde el camino al río Chotén.

3.1.4.2 UNIDADES MENORES AMBIENTE DENUDACIONAL

a) Colinas

Camino al río Chotén se observan colinas con elevaciones que no pasan de 70 u 80 m, con pendientes que van de 20 a 50%, formadas en el grupo Goyllarisquizga, en el cerro Chotén.



Foto 3. Colinas de la Formación Farrat SW-NE vistas desde el camino al río Chotén.

a) Terrazas

Se encuentran en los márgenes del río Chotén ocupando gran parte por los depósitos fluviales y aluviales reciente con pendientes inferiores a 5 % que son susceptibles a cambios morfológicos por efectos de inundación, estos suelos en su mayoría son utilizados como terrenos agrícolas y pastizales.



Foto 4. Terraza al borde del río Chotén.

b) Valle fluvial

Se observa un valle fluvial formado entre los cerros CHotén y Yumagual camino al río Chotén que ha sido formado por el efecto choque sobre el lecho del río de los cantos rodados y demás materiales y por acción erosiva de la corriente de agua que va erosionando el cauce. Asimismo, la meteorización de las paredes por el agua de la lluvia va ensanchando su perfil transversal, adoptando la forma de la "V".



Foto 5. Valle fluvial en V, vista NW-SW desde el camino al río Chotén.

3.1.4.3 HIDROLOGÍA

El área donde se encuentran ubicadas las muestras es el río Chotén que confluye con el aporte de tres afloramientos de aguas termales.

3.2 PROCEDIMIENTO

Los procedimientos y técnicas de recopilación de datos inician en la etapa preliminar de gabinete con la compilación de la información y tecnología disponible, etapa de campo y etapa de gabinete, las cuales son descritas en los ítems 3.2,3.3 y 3.4.

3.2.1 METODOLOGÍA

3.2.1.1 TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación es descriptiva. Por otro lado, los métodos de investigación utilizados son: Descriptiva, analítica, comparativa y deductiva.

3.2.1.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Río Choten, Caserío de Choten, distrito de San Juan.

3.2.1.3 MUESTRA

Representa muestras obtenidas de aguas dulces y aguas termales del Río Chotén.

3.2.1.4 UNIDAD DE ANÁLISIS

Se analiza la composición de las aguas termales: Temperatura, conductividad, dureza, composición química del agua, PH, residuo seco, cationes dominantes Na, Ca, Mg; aniones dominantes como HCO_3 , Cl, SO_4 , para su caracterización fisicoquímica

3.2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para la investigación se han determinado las siguientes variables; variables independientes, parámetros fisicoquímicos, litología, estructuras, porosidad y permeabilidad

Las variables dependientes que son como efecto de causa son, aguas termales y la geología.

3.2.3 TÉCNICAS

Las técnicas empleadas para el acopio de la información son: Observación, tomas fotográficas, llenado de fichas de campo y análisis Fisicoquímicos, descritos en los ítems 3.2.3.1,3.2.3.2,3.2.3.3,3.2.3.4.

3.2.3.1 ETAPA PRELIMINAR DE GABINETE

a) Compilación Bibliográfica

Referente al área de estudio, primero se recopiló información en la biblioteca de la Escuela académico profesional de Ingeniería Geológica de la UNC, informes y/o tesis realizadas en el distrito de San Juan caserío de Chotén.

Se investigó en diversas fuentes, estudios que comprendan el mismo fundamento a nivel nacional y en otras partes del mundo.

b) Diseño

Consiste en la elaboración del plano de ubicación satelital y geológico para ubicar los puntos de muestreo en campo, así como el reconocimiento de la geología del área.

En suma, a ello se realizó un cuadro de caracterización física para la recolección de muestras de agua en el río; el llenado de esta ficha consiste en; localizar un punto de muestreo de aguas termales y registrar las coordenadas, luego extraer la muestra

realizar una descripción de las características físicas como color, olor y aspecto, tomar los datos del caudal de cada punto de muestreo

3.2.3.2 ETAPA DE CAMPO

En el plano satelital, se reconoce el área de estudio; los accesos, Caminos, ríos, quebradas, pueblos cercanos para tener acceso al área.

La recolección de muestras de agua a lo largo del río Chotén se realizará en 5 puntos de muestreo, para ello primero se determinó extraer 3 muestras (M2, M3, M4) en los estratos donde aflora el agua termal y 2 muestras (M1, M5) en donde confluyen las aguas termales y el agua del río Chotén, la diferencia entre estos puntos es la distancia del río al afloramiento de aguas termales, la vegetación y las características litológicas que podrían influir en los resultados de los análisis fisicoquímicos para una clasificación óptima según los iones dominantes.

Una vez identificado cada punto se procede a tomar la temperatura in situ del agua, así como la descripción física de cada muestra y el llenado del formato de muestreo de aguas termales. (Ver Anexo 1)

Para la extracción de la muestra se utilizan frascos de 1 lt y medio de capacidad debidamente esterilizados, la muestra se extrae primero de los extremos del área con un recipiente, en este caso se hace uso de una botella de 600 ml, llenando hasta la mitad el frasco, luego se coloca dos gotas de ácido nítrico diluido para conservar 5 días la muestra y se vuelve a extraer de la parte del medio del área hasta llenar el frasco completamente.

Para determinar el caudal del río se recurrirá el método volumétrico, se emplea para caudales pequeños, el cual consiste en dividir el volumen de agua que se recoge en un recipiente del cual se conoce su capacidad, siendo para este caso 600 ml, entre el tiempo que transcurre en recolectar dicho volumen. Para obtener un cálculo aproximado del caudal, se realizarán 3 medidas en cada uno de los puntos de muestreo para calcular un promedio final.

$$Q = V/T$$

DONDE

$$Q = \text{Caudal } m^3/s$$

$$V = \text{Volumen en } m^3$$

T=Tiempo en segundos

3.2.3.3 ETAPA DE GABINETE

Las muestras de rocas, son descritas macroscópicamente mediante tablas y diagramas para clasificarlas y reconocer la formación geológica de la que fueron extraídas.

Los datos obtenidos como rumbos, buzamientos y litología son procesados mediante el software Arcgis 10.3 para la elaboración del plano geológico.

Se realiza el plano hidroquímico en el software Arcgis 10.3, con las coordenadas de los puntos de muestreo de las aguas termales a lo largo del río.

Las muestras de aguas termales son analizadas en el laboratorio GINGECONSULT, para el análisis fisicoquímico de cada una de ellas, una vez obtenidos estos resultados (Anexo 2): se clasifican las aguas según su composición mineralógica mediante diagramas en el software Diagrammes y se realiza una comparación de todos los datos obtenidos.

3.2.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Imagen satelital (Escala: 1/3700), coordenadas UTM WGS 84, se utilizó al inicio para reconocer el área de estudio, así como los accesos, caminos y pueblos que existan en la zona. (Anexo 5)

Plano geológico (Escala: 1/3700), coordenadas UTM WGS 84, se usó para ubicar las formaciones geológicas y los puntos donde se recogió las muestras de agua. (Anexo 6)

GPS Garmin navegador Mal 60 Cx, se usa para tomar las coordenadas de las muestras de agua del río Chotén que son ubicadas en el plano satelital y geológico. (Ver anexo 2 y 3)

Brújula brunton, se utiliza para medir los rumbos y buzamientos de las estructuras geológicas.

Picota ESTWING Mango Largo o Martillo de Geólogo, se utilizó para extraer muestras del macizo rocoso de las distintas formaciones para la clasificación de las rocas de acuerdo a su geología local.

Lupa 20X-10X Baush & Lamp, para visualizar los componentes de cada muestra de roca que se extraiga.

Lápiz de dureza Carbide (Rayador), se utilizó para calcular la dureza de los minerales que se encuentren en las muestras de rocas que se extraigan en campo, para clasificarlas de acuerdo a su composición

Ácido clorhídrico, para observar si la roca contiene carbonato de calcio en su composición.

Libreta de campo, para registrar las observaciones que se hagan en la zona de estudio.

Frascos para muestreo, se usó para extraer las muestras de agua del área de estudio y para enviarlas al laboratorio donde se realizarán los análisis fisicoquímicos.

Bolsas de muestreo, se usó para guardar las muestras extraídas en campo, para luego analizarlas y clasificarlas en gabinete.

Ácido nítrico diluido, se colocaron dos gotas en cada muestra para preservar los días que se realicen los análisis.

Cámara fotográfica digital de 8 mega pixeles, se usó para tomar las fotos en la zona de estudio, formaciones geológicas, estructuras, puntos de las muestras de agua.

3.3 MARCO GEOLÓGICO.

Se puede notar la presencia de grandes estructuras de carácter regional, las cuales se manifiestan en el grado de deformación que han sufrido los estratos de la formación Chimú.

3.3.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras principales están relacionadas directamente con la fase incaica del ciclo andino. Como estructura principal en Chotén encontramos un anticlinal en la formación Chimú, formado por estratos de areniscas y lutitas.

Así mismo se encuentra una falla inferida en la formación Carhuaz, en la cual el buzamiento varía entre 39° y 60° SW.



Foto 6. Flanco del anticlinal ubicado en el Fm Chimú ubicado en el camino al río Chotén, formado por estratos de areniscas y lutitas.



Foto 7. Fracturas en los estratos de areniscas debido a que las lutitas metamorizadas han sido erosionadas por su baja resistencia al intemperismo y agentes externos, ubicado en el camino al río Chotén .



Foto 8. Intensa perturbación que sufrieron los estratos plegando y metamorfizando las rocas especialmente aquellas de menor dureza como las lutitas, ubicado en el camino al río Chotén.

3.3.2 LITOESTRATIGRAFÍA

3.3.2.1 Formación Chimú

En el área de estudio se encuentran estratos de areniscas de color blanco de grano fino con cierta presencia de óxidos en la superficie, intercaladas con areniscas cuarzosas, lutitas y delgadas capas de carbón, afloramiento ubicado en la parte superior del río Chotén.



Foto 9. Areniscas blancas de grano fino, su ubicación es Este: 774829; Norte: 9198396; Cota: 2577.

3.3.2.2 Formación Carhuaz

Se caracteriza por estratos de areniscas arcillosas con un color gris tiene un grano fino y una matriz arcillosa, con intercalaciones de lutitas grises y presencia de óxidos de hierro que varían de un color rojo a uno naranja en la superficie de la roca. Son afloramientos que se encuentran ubicados camino al río Chotén.



Foto 10. Areniscas blancas de grano medio, con presencia de óxidos, pertenecen a la Formación Carhuaz, el estrato se encuentra ubicada en. Este: 774222; Norte: 9199246; Cota: 2888.

3.3.2.3 Formación Farrat

En el área de estudio se encuentran estratos de rocas de color blanco, grano fino a medio, con presencia de óxidos color rojo y amarillo en la superficie. Son afloramientos que pueden observarse a unos metros del camino al río Chotén.



Foto 11. Areniscas de la Formación Farrat ubicadas en Este:775932, Norte: 9197296 ,Cota : 2977.

3.3.2.4 Formación Santa

Estratos de calizas margosas color gris oscuro, se encuentran intercaladas con lutitas y calizas; estos afloramientos se observan en la parte superior del río Chotén,



Foto 12. Estratos de calizas margosas .Este:774416 ,Norte:9199021, Cota:2822.

3.3.3 ESTRATIGRAFÍA

3.3.3.1 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

a) Marcas de corriente

Se encuentran en el borde del río en estratos de areniscas blancas de grano medio de la formación Carhuaz, que han sido afectadas por la corriente y ha producido este tipo de estructura.



Foto 13. Marcas de corriente en el borde del río

b) Flysh

Se observa una intercalación de estratos de areniscas de grano fino con lutitas grises fisuradas de la formación Chimú. N 9198344/ E774225 N 145/60.



Foto 14. Estructura sedimentaria tipo flysch, entre areniscas blancas y lutitas grises.

c) Estratificación horizontal

Se observa la estratificación horizontal en estratos de areniscas blancas de grano medio de la formación Carhuaz, las cuales se encuentran en el borde del río



Foto 15. Estratificación horizontal en estratos de areniscas blancas al borde del río.

3.4 TRATAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

En cada punto de muestreo se registró la temperatura in situ, así como la descripción física de cada muestra, y registro del caudal de cada punto de muestreo según el formato elaborado por el tesista.

3.4.1 DETERMINACIÓN DE CAUDAL

Para determinarlo en cada punto de muestreo, se ha utilizado el método volumétrico, se emplea para caudales pequeños, el cual consiste en dividir el volumen de agua que se recoge en un recipiente del cual se conoce su capacidad, siendo para este caso 600 ml, entre el tiempo que transcurre en recolectar dicho volumen. Para obtener un cálculo aproximado del caudal, se realizaron 3 medidas en cada uno de los puntos de muestreo y se obtuvo un promedio final.

En los diferentes puntos de muestreo a lo largo del río varia el ancho y la profundidad.

$$Q= V/T$$

DONDE

Q=Caudal m³/s

V=Volumen en m³

T=Tiempo en segundos

Tabla 2.Caudal de cada punto de muestreo

N° MUESTRA	COORDENADAS			CAUDAL ml/s			
	ESTE	NORTE	COTA	Q1	Q2	Q3	Q
1	774233	9198332	2598	86	109	78	91
2	774230	9198354	2621	82	91	72	82
3	774231	9198345	2614	92	99	75	89
4	774238	9198358	2626	41	42	40	41
5	774238	9198358	2626	71	100	92	88



Foto 16. Medición de caudal de cada punto de muestreo por el método volumétrico.

3.4.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

El análisis, consistió en determinar las concentraciones de cloruros, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, magnesio, sodio, potasio, magnesio, manganeso, hierro, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, alcalinidad, y las propiedades físicas como la temperatura, la conductividad eléctrica, el color y la turbidez de las muestras de agua seleccionadas. Las características fisicoquímicas obtenidas son plasmadas en los siguientes cuadros por cada muestra.

3.4.2.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO MUESTRA M1

La muestra N°1 fue extraída del río Chotén de la confluencia de las aguas termales con las aguas del río, la temperatura tomada in situ es de 24°C, en este punto se encuentra abundante vegetación, estratos de areniscas y mantos de carbón, los cuales podrían influir en los parámetros fisicoquímicos para el estudio.



Foto 17. Punto de muestra M1, ubicada en las coordenadas 774233E 9198332N.

Tabla 3. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M1.

N°de orden	Características	Medidas	Resultados
1	Aspecto	-	Transparente
2	Olor	-	Inodoro
3	Sabor	-	Agradable
4	Color	-	Incoloro
5	Conductividad a 20° C	US/CM	85
6	Sólidos disueltos totales	Ppm	72
7	Sólidos en suspensión	Ppm	51
8	Dureza calcio (CaCO ₃)	Ppm	91
9	Dureza de Magnesio	Ppm	61
10	pH	Unid.	7.08
11	Alcalinidad total CaCO ₃	ppm	12.8
12	Turbidez	NTU	1.0
13	Arsénico	Ppm	-
14	Plomo	ppm	-
15	Selenio	Ppm	0.002
16	Fósforo	ppm	0.01
17	Oxígeno disuelto	-	1.1
18	Cloruros (Cl ¹⁻)	Ppm	18.1
19	Aluminio (Al ³⁺)	Ppm	0.01
20	Sulfatos(SO ₄) ²⁻	ppm	27.2
21	Fierro (Fe)	-	0.01

N° de orden	Características	Medidas	Resultados
22	Cobre (Cu)	ppm	0.01
23	Manganeso(Mn)	Ppm	<0.01
24	Nitrito (NO ₂) ³⁻	ppm	<0.01
25	Zinc(Zn)	Ppm	-
26	Nitrato (NO ₃) ¹⁻	ppm	-
27	Cadmio(Cd)	Ppm	-
28	Cromo(Cr)	Ppm	-
29	Fluoruro ¹⁻	ppm	-
30	Ca ²⁺	ppm	
31	Mg ²⁺	ppm	
32	K ⁺ Na ⁺	ppm	
33	HCO ₃	ppm	

3.4.2.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO MUESTRA M2

La muestra N° 2 ha sido extraída de un afloramiento de areniscas blancas de grano fino a 1.5 metros del río Chotén, en el punto de muestreo hay presencia de sedimentos y vegetación, la temperatura tomada in situ es de 51°C,



Foto 18. Punto de muestra M2, ubicada en las coordenadas 774230E 9198354N.

Tabla 4. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M2.

N° de orden	Características	Medidas	Resultados
1	Aspecto	-	Transparente
2	Olor	-	Inodoro
3	Sabor	-	Agradable
4	Color	-	Incoloro
5	Conductividad a 20° C	US/CM	80
6	Sólidos disueltos totales	Ppm	73
7	Sólidos en suspensión	Ppm	47
8	Dureza calcio (CaCO ₃)	Ppm	92
9	Dureza de Magnesio	Ppm	61
10	pH	Unid.	6.93
11	Alcalinidad total CaCO ₃	ppm	11.5
12	Turbidez	NTU	1.0
13	Arsénico	Ppm	-
14	Plomo	ppm	-
15	Selenio	Ppm	0.001
16	Fósforo	ppm	0.01
17	Oxígeno disuelto	-	1.1
18	Cloruros (Cl ¹⁻)	Ppm	17.2
19	Aluminio (Al ³⁺)	Ppm	0.01
20	Sulfatos (SO ₄) ²⁻	ppm	28.2
21	Fierro (Fe)	-	0.01
22	Cobre (Cu)	ppm	0.01

N° de orden	Características	Medidas	Resultados
23	Manganeso(Mn)	Ppm	<0.01
24	Nitrito (NO ₂) ³⁻	ppm	<0.01
25	Zinc(Zn)	Ppm	-
26	Nitrato (NO ₃) ¹⁻	ppm	-
27	Cadmio(Cd)	Ppm	-
28	Cromo(Cr)	Ppm	-
29	Fluoruro ¹⁻	ppm	-
30	Ca ²⁺	Ppm	
31	Mg ²⁺	Ppm	
32	K ⁺ Na ⁺	Ppm	
33	HCO ₃	Ppm	

3.4.2.3 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO MUESTRA M3

El punto de muestreo N°3, se encuentra en la dirección de la corriente del río, el agua aflora por los estratos de areniscas blancas, hay presencia de musgos, la temperatura tomada in situ es de 53°C,



Foto 19. Punto de muestreo M3, ubicada en las coordenadas 774231E 9198345N

Tabla 5. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M3.

N°de orden	Características	Medidas	Resultados
1	Aspecto	-	Transparente
2	Olor	-	Inodoro
3	Sabor	-	Agradable
4	Color	-	Incoloro
5	Conductividad a 20° C	US/CM	81
6	Sólidos disueltos totales	Ppm	70
7	Sólidos en suspensión	Ppm	47
8	Dureza calcio (CaCO ₃)	Ppm	89
9	Dureza de Magnesio	Ppm	64
10	pH	Unid.	6.10
11	Alcalinidad total CaCO ₃	ppm	12.3
12	Turbidez	NTU	1.0
13	Arsénico	Ppm	-
14	Plomo	ppm	-
15	Selenio	Ppm	0.001
16	Fósforo	ppm	0.01
17	Oxígeno disuelto		1.1
18	Cloruros (Cl ¹⁻)	Ppm	17.1
19	Aluminio (Al ³⁺)	Ppm	0.01
20	Sulfatos(SO ₄) ²⁻	ppm	28.8
21	Fierro (Fe)	-	0.01
N°de orden	Características	Medidas	Resultados

22	Cobre (Cu)	ppm	0.01
23	Manganeso(Mn)	Ppm	<0.01
24	Nitrito (NO ₂) ³⁻	ppm	<0.01
25	Zinc(Zn)	Ppm	-
26	Nitrato (NO ₃) ¹⁻	ppm	-
27	Cadmio(Cd)	Ppm	-
28	Cromo(Cr)	Ppm	-
29	Fluoruro ¹⁻	ppm	-
30	Ca ²⁺	Ppm	
31	Mg ²⁺	Ppm	
32	K ⁺ Na ⁺	Ppm	
33	HCO ₃	Ppm	

3.4.2.4 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO MUESTRA M4

El punto de muestreo N°4 se caracteriza porque es un afloramiento de agua termal en areniscas blancas que se encuentran en el río Chotén, hay presencia de vegetación, la temperatura tomada in situ es de 51°C,



Foto 20. Punto de muestreo M4, ubicada en las coordenadas 774238E 9198358N

Tabla 6. Resultados de análisis fisicoquímico de muestra M4.

N° de orden	Características	Medidas	Resultados
1	Aspecto	-	Transparente
2	Olor	-	Inodoro
3	Sabor	-	Agradable
4	Color	-	Incoloro
5	Conductividad a 20° C	US/CM	89
6	Sólidos disueltos totales	Ppm	66
7	Sólidos en suspensión	Ppm	44
8	Dureza calcio (CaCO ₃)	Ppm	89
9	Dureza de Magnesio	Ppm	58
10	pH	Unid.	6.17
11	Alcalinidad total CaCO ₃	ppm	11.9
12	Turbidez	NTU	1.0
13	Arsénico	Ppm	-
14	Plomo	ppm	-
15	Selenio	Ppm	0.001
16	Fósforo	ppm	0.01
17	Oxígeno disuelto		1.1
18	Cloruros (Cl ¹⁻)	Ppm	16.9
19	Aluminio (Al ³⁺)	Ppm	0.01
20	Sulfatos (SO ₄) ²⁻	ppm	29.7
21	Fierro (Fe)	-	0.01
22	Cobre (Cu)	ppm	0.01

N°de orden	Características	Medidas	Resultados
23	Manganeso(Mn)	Ppm	<0.01
24	Nitrito (NO ₂) ³⁻	ppm	<0.01
25	Zinc(Zn)	Ppm	-
26	Nitrato (NO ₃) ¹⁻	ppm	-
27	Cadmio(Cd)	Ppm	-
28	Cromo(Cr)	Ppm	-
29	Fluoruro ¹⁻	ppm	-
30	Ca ²⁺	Ppm	89
31	Mg ²⁺	Ppm	64
32	K ⁺ Na ⁺	Ppm	142
33	HCO ₃	Ppm	17.8

3.4.2.5 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO MUESTRA M5

El punto de muestreo N°5 se encuentra a 1 metro donde se inicia la confluencia con las aguas del río Chotén, y donde hay otro aporte de aguas termales que afloran de estratos de areniscas blancas, la temperatura tomada in situ es de 19°C,



Foto 21. Punto de muestreo M5, ubicada en las coordenadas 774238E 9198358N.

Tabla 7.Resultados de análisis de muestra M5

N°de orden	Características	Medidas	Resultados
1	Aspecto	-	Transparente
2	Olor	-	Inodoro
3	Sabor	-	Agradable
4	Color	-	Incoloro
5	Conductividad a 20° C	US/CM	88
6	Solidos disueltos totales	Ppm	68
7	Sólidos en suspensión	Ppm	62
8	Dureza calcio (CaCO ₃)	Ppm	87
9	Dureza de Magnesio	Ppm	58
10	pH	Unid.	7.51
11	Alcalinidad total CaCO ₃	ppm	12.8
12	Turbidez	NTU	1.0
13	Arsénico	Ppm	-
14	Plomo	ppm	-
15	Selenio	Ppm	0.001
16	Fósforo	ppm	0.01
17	Oxígeno disuelto		1.1
18	Cloruros (Cl ¹⁻)	Ppm	17.4
19	Aluminio (Al ³⁺)	Ppm	0.01
20	Sulfatos(SO ₄) ²⁻	ppm	28.6
21	Fierro (Fe)	-	0.01
22	Cobre (Cu)	ppm	0.01
23	Manganeso(Mn)	Ppm	<0.01
24	Nitrito (NO ₂) ³⁻	ppm	<0.01

N°de orden	Características	Medidas	Resultados
25	Zinc(Zn)	Ppm	-
26	Nitrato (NO ₃) ¹⁻	ppm	-
27	Cadmio(Cd)	Ppm	-
28	Cromo(Cr)	Ppm	-
29	Floruro ¹⁻	ppm	-
30	Ca ²⁺	Ppm	87
31	Mg ²⁺	Ppm	58
32	K ⁺ Na ⁺	Ppm	130
33	HCO ₃	Ppm	14

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

4.1.1 CAUDAL (Q)

La variación de caudal en los 5 puntos de muestreo se debe a que en las muestras M2 y M4 han sido tomadas en afloramientos de agua termal donde la cantidad de agua es menor ya que fue extraída del afloramiento de areniscas, en comparación a los puntos de muestreo donde confluyen el agua del río Chotén y el agua termal, las aguas del río Chotén presentan un caudal mayor debido a las precipitaciones de la estación del año.

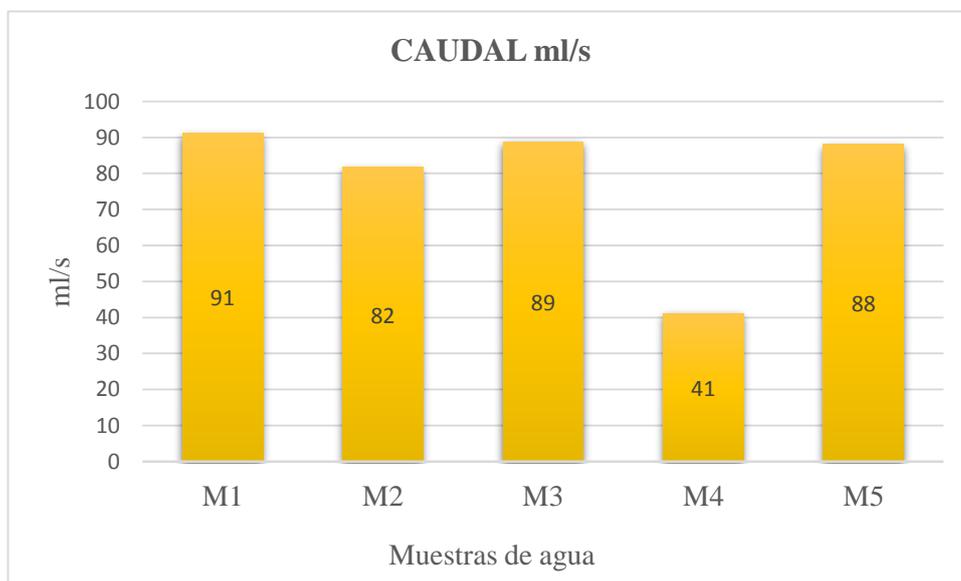


Gráfico 1. Caudal ml/s por muestra.

4.1.2 TEMPERATURA (T°)

La temperatura varía notablemente en cada punto de muestreo; la muestra M1 y M5 presentan temperaturas de 24 °C y 19 C respectivamente debido a que confluyen las aguas termales con el río Chotén. sin embargo en el punto donde se extrajo la

M1 aportan agua termal 3 afloramientos, a diferencia de la M5 donde sólo confluye un afloramiento con el agua del río Chotén, el agua caliente transfiere calor al agua fría buscando un equilibrio termodinámico. Las muestras M2, M3, M4 son extraídas de afloramientos de areniscas, donde la temperatura es mayor.

La M5 clasificaría como agua fría, mientras que la M1 un agua hipotermal, las M2, M3, M4 son aguas hipertermales.

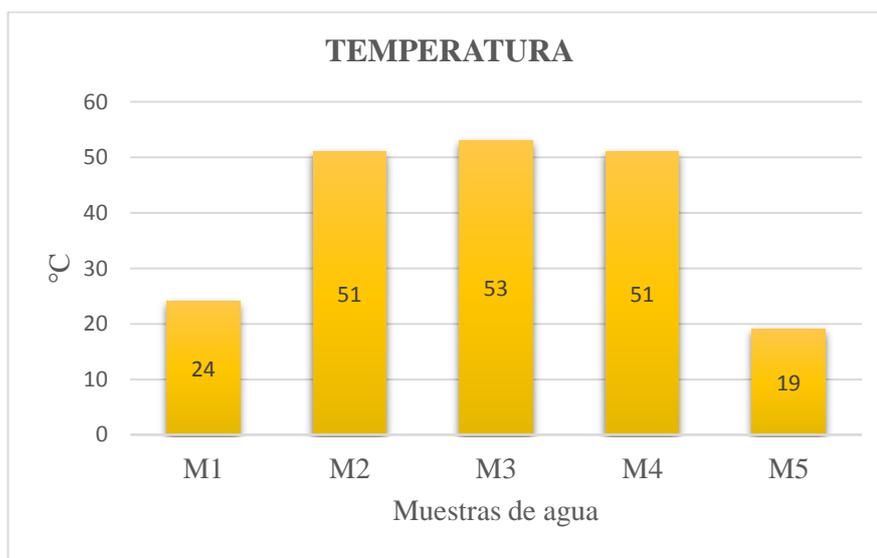


Gráfico 2. Temperatura por muestra

4.1.3 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

El pH de las muestras M1 y M5 tiene carácter básico, mientras que el pH de las muestras M2, M3, M4 es ácido debido a que cuando la temperatura del agua sube, el pH disminuye, y cuando la temperatura del agua disminuye el pH aumenta. La razón por la que la temperatura afecta el pH del agua es que las moléculas de agua tienden a descomponerse en sus constituyentes, el hidrógeno y el oxígeno, al aumentar la temperatura. A medida que aumentan las temperaturas, una mayor proporción de moléculas de agua se rompen, lo que produce más hidrógeno, que luego aumenta el pH del agua.

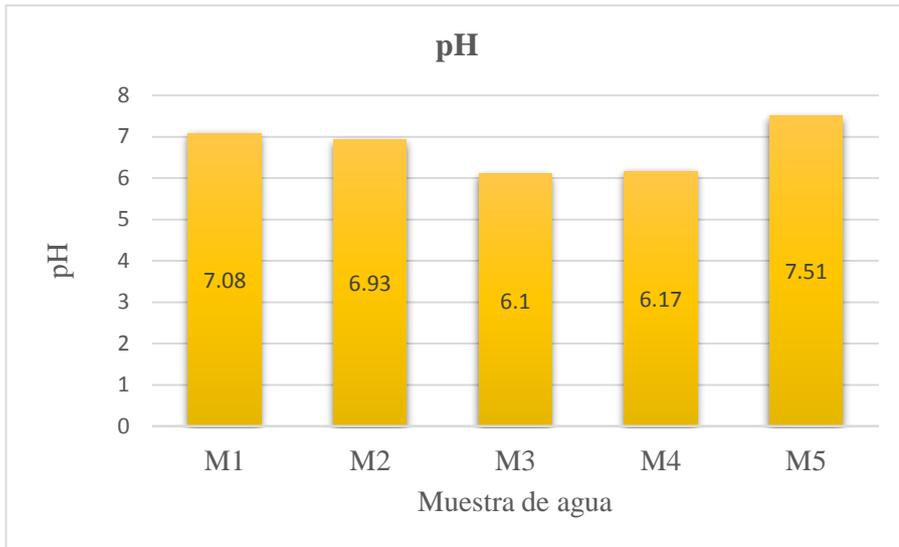


Gráfico 3.Comparación de pH por muestra

Tabla 8.pH y Temperatura por muestra

N° MUESTRA	pH	T°
1	7.08	24
2	6.93	51
3	6.1	53
4	6.17	51
5	7.51	19

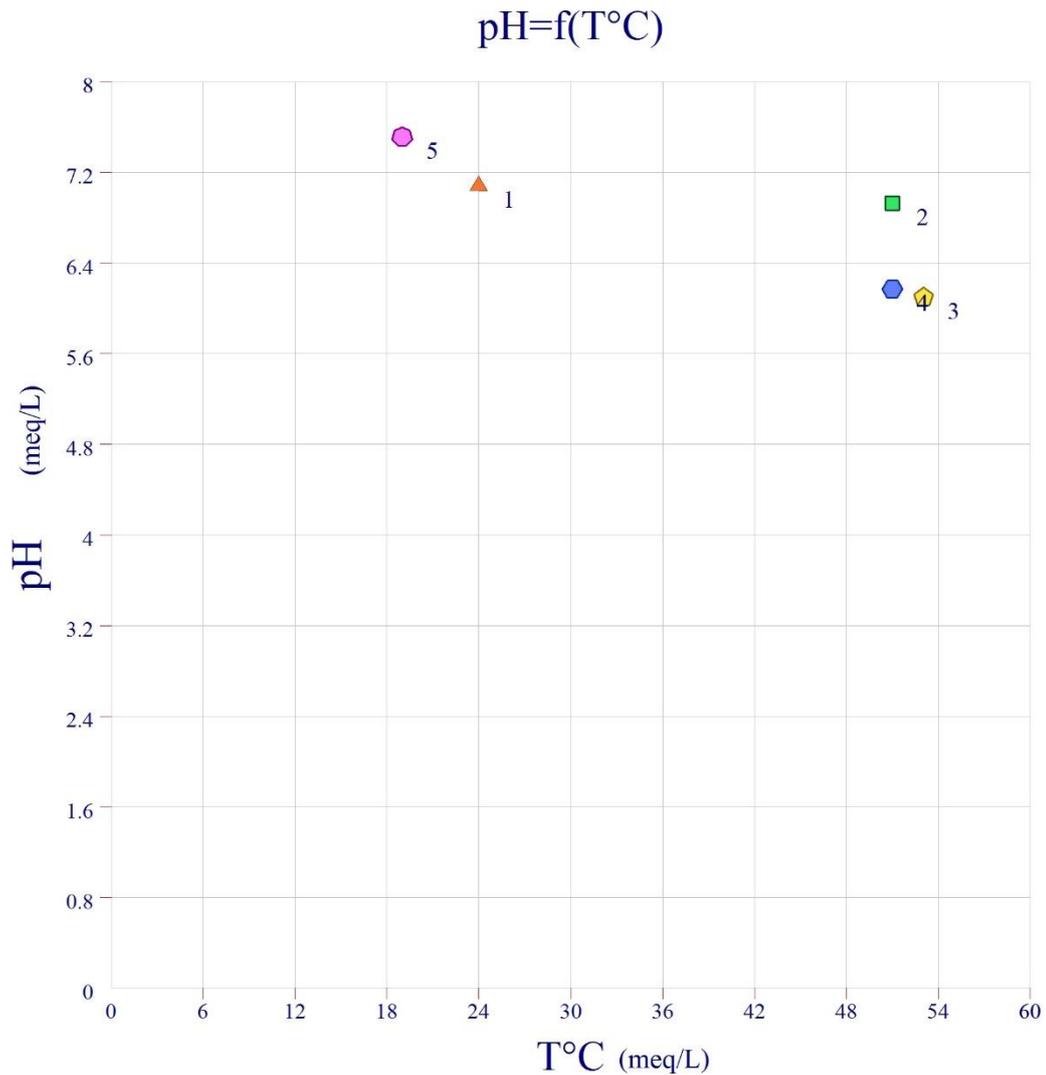


Gráfico 4. Variación de pH y Temperatura de las muestras de agua.

Otro factor que influye en la variación del pH es la concentración de sales, cuando hay mayor concentración de estas el pH se hace neutro, es decir se estabiliza como en las muestras M1 y M2 que sus pH son 7.08 y 6.93 respectivamente, en las muestras M3 y M5 la concentración de sales es menor por lo que el pH tiende a ser ácido y básico respectivamente ,debido a que para algunas sales la solubilidad aumenta con la temperatura.

4.1.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La conductividad eléctrica, varía de 80-89 usm/cm, siendo la muestra M4 el más alto, se debe principalmente al contenido de $(\text{SO}_4)^{2-}$ que define esta variación la cual es mayor en comparación a las otras muestras, sin embargo la M1 presenta

menor contenido de $(\text{SO}_4)^{2-}$ en comparación a la M2 que presenta menor conductividad, esto se debe a la cantidad de iones que se concentran en la muestra M1.

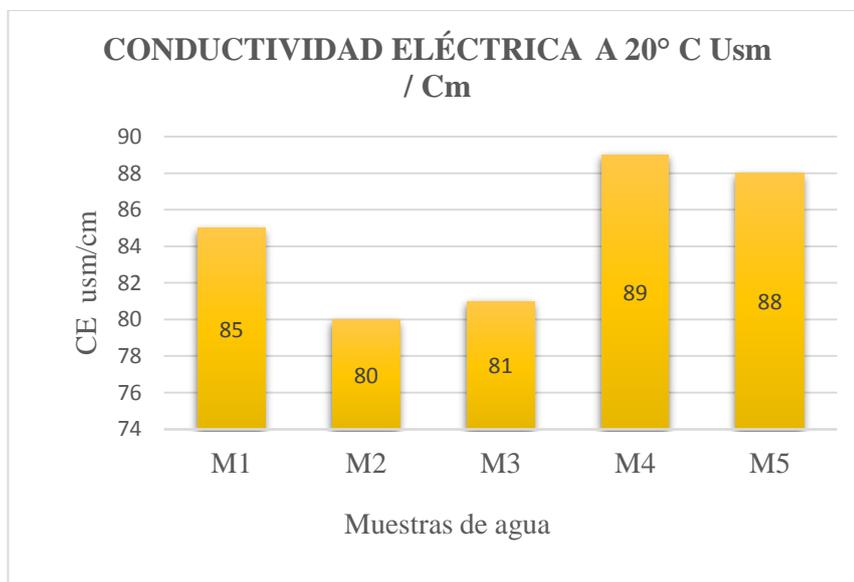


Gráfico 5. Valores de conductividad eléctrica en las muestras tomadas .

4.1.5 SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (SDT)

La muestra M2 tiene mayor concentración de sólidos totales disueltos ,debido a que hay sedimentos provenientes del suelo alcalino donde se encuentra el afloramiento , la M1 ,haciendo referencia a que hubo un deslizamiento que cubre parte del río Chotén, que ha aportado con sedimentos a estas aguas y es por ello que existe mayor concentración de STD, mientras que las muestras M3 y M4 contienen menos, los afloramientos no se encuentran afectados por presencia del suelo , la M5 varía la concentración en comparación a la M4 , debido a que en este punto confluyen las dos aguas termales y del río Chotén ,las segundas aportan sales y generan nuevamente un aumento de STD.

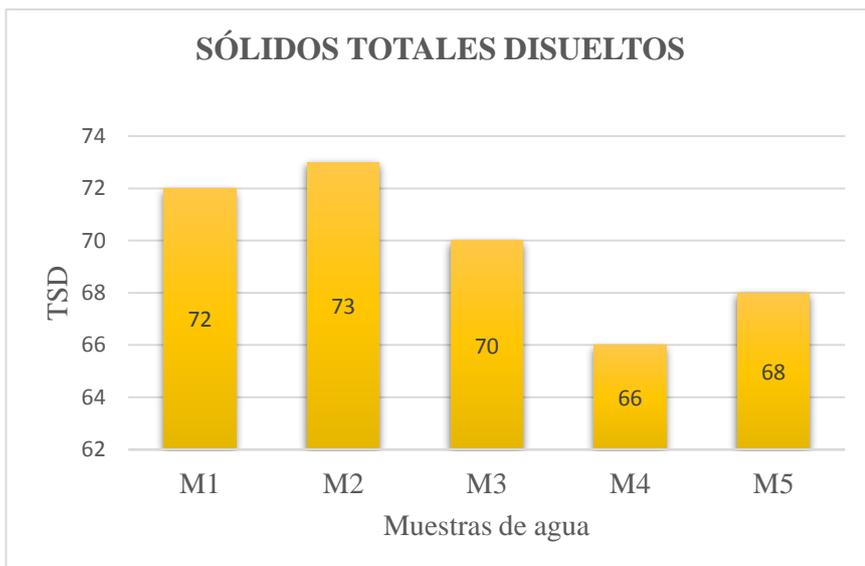


Gráfico 6. Sólidos totales disueltos por muestra.

4.1.6 SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (SS)

Es descriptivo de la materia orgánica e inorgánica existente en el agua (aceites, grasas, arcillas, arenas, fangos). La presencia de sólidos en suspensión participa en el desarrollo de la turbidez y el color del agua, según los resultados obtenidos la muestra con mayor cantidad de sólidos en suspensión es la M5, en este punto se da la confluencia de aguas termales en aguas del río Chotén, por lo que se deduce que el aporte de sedimentos ha sido del río que los transporta.



Gráfico 7. Comparación de sólidos en suspensión por muestra.

4.1.7 DUREZA CALCIO (CaCO₃)

La dureza del agua está controlada, principalmente, litología ,calizas presentes en la zona de estudio que contienen los elementos minerales que la producen y composición del suelo alcalino con mayor concentración de carbonatos , el agua será más o menos dura, es por ello que la muestra M1 tiene más dureza, ya que se encuentra afectada por los sedimentos provenientes del deslizamiento que cubre la zona, así mismo la muestra M2 tiene la concentración más alta, el afloramiento de donde se extrajo esta muestra se encuentra rodeado de suelo y vegetación, otro factor que influye para esta variación es que el carbonato cálcico es uno de los pocos que aumenta su solubilidad cuando baja la temperatura, como se evidencia en las muestras M1, cuya temperatura es de 24°C, sin embargo para la M5 al confluir las aguas termales con el agua del río Chotén se forman sales insolubles.

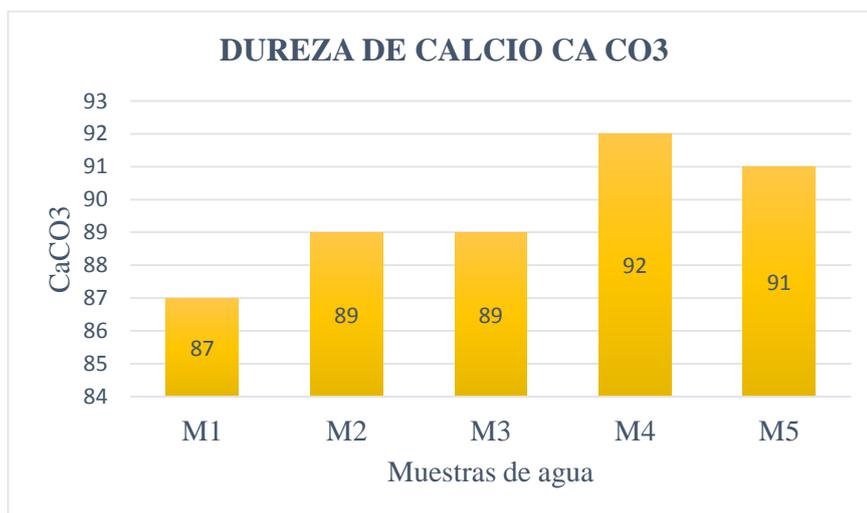


Gráfico 8. Comparación de dureza de calcio por cada muestra.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), clasifica la dureza del agua en ppm de CaCO₃:

Tabla 9. Clasificación de dureza de agua según OMS

Dureza (ppm CaCO ₃)	Tipos de agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy dura

Para la clasificación de las 5 muestras cuyo rango vario de 87-92, el agua termal y las aguas del río Chotén son moderadamente duras.

4.1.8 DUREZA DE MAGNESIO (CaMgO_3)

La variación del CaMgO_3 , se encuentra en un rango de 58-64 ppm, siendo la muestra N°3 con mayor concentración.

Tabla 10. Dureza de magnesio por muestra

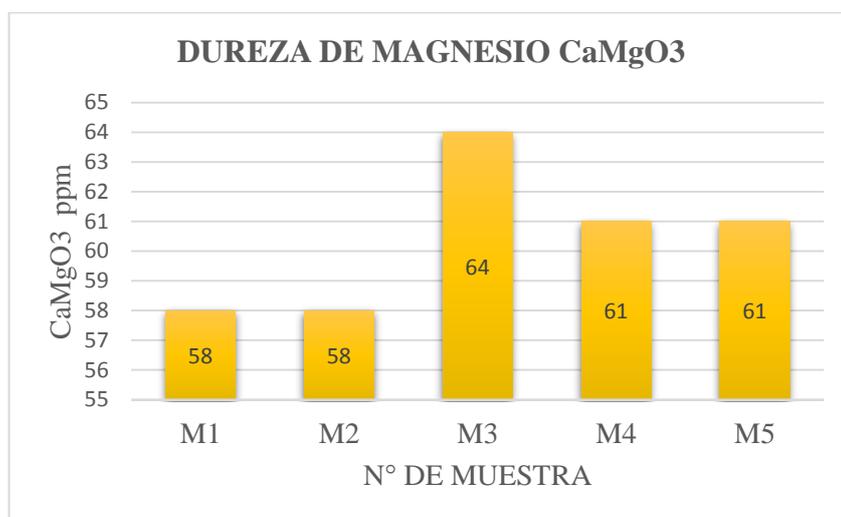


Gráfico 9. Comparación de dureza de magnesio por cada muestra.

4.1.9 TURBIDEZ

La variación de la turbidez depende de factores como la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos, según la OMS, el máximo recomendado es 5, la cantidad de NTU de las muestras analizadas son menores, es un factor ambiental importante en las aguas naturales, ya que no afecta al ecosistema y no interfiere en la actividad fotosintética que depende en gran medida de la penetración de la luz.

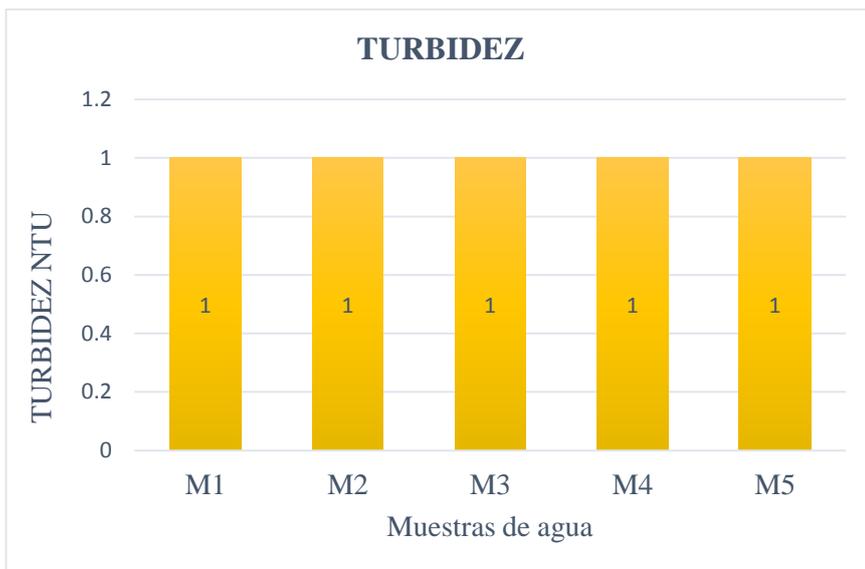


Gráfico 10. Comparación de turbidez de cada muestra.

4.1.10 OXIGENO DISUELTO(O₂)

El oxígeno es moderadamente soluble en agua, dependiendo la solubilidad de la temperatura, la salinidad, la turbulencia del agua y la presión atmosférica: disminuye cuando aumenta la temperatura y la salinidad.

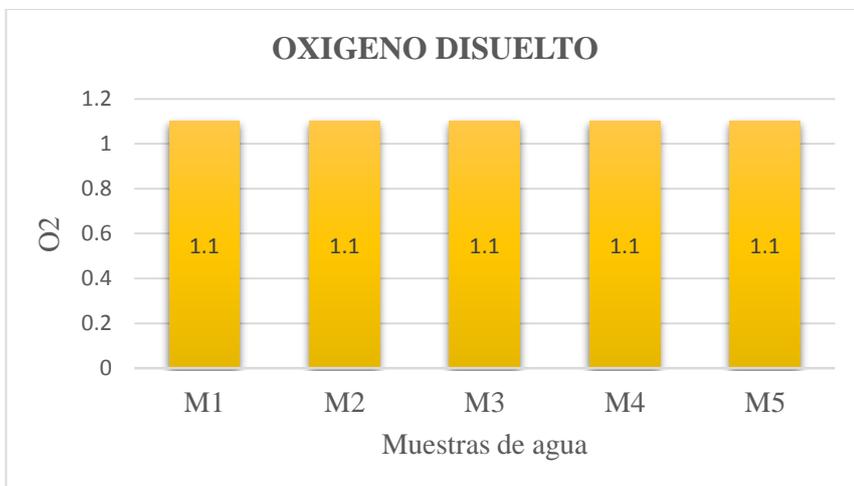


Gráfico 11. Comparación de oxígeno disuelto por muestra.

4.1.11 ALCALINIDAD CaCO₃

Las M1 y M5 presentan una mayor alcalinidad en comparación a las otras muestras, son aguas que contienen carbonatos del agua de río Chotén que al mezclarse con las aguas termales aumentan su concentración, en la M2 que contiene sedimentos

no aumenta la alcalinidad debido a que al aumentar la temperatura los carbonatos son insolubles



Gráfico 12. Variación de alcalinidad en ppm de muestras de agua .

4.1.12 CALCIO Ca²⁺

Proviene como resultado de solubilizar CaCO₃, CaSO₄ o CaMgO₃, la muestra M1, tiene un mayor aporte de sedimentos, la M2 tiene sedimentos sin embargo los carbonatos son insolubles cuando aumenta la temperatura, es por ello que la concentración es menor ya que la temperatura en este punto es mayor en comparación a la M1. En la M5 influyen varios factores como la transferencia de calor y el contenido de sales que contiene las aguas del río Chotén que en su mayoría son carbonatos que al confluir con las aguas termales forman sales insolubles.

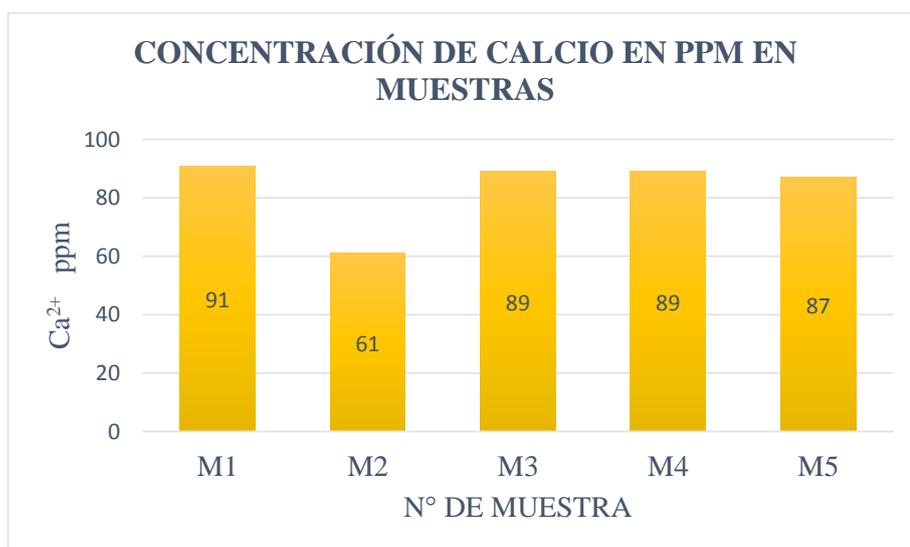
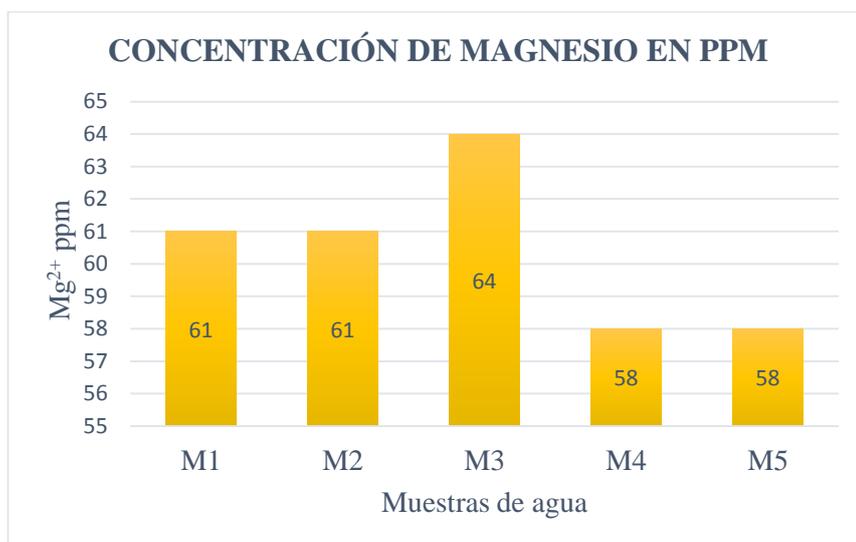


Gráfico 13. Concentración de Ca²⁺ de las muestras .

4.1.13 MAGNESIO

La concentración de Mg^{2+} en las muestras procede de la disolución de rocas carbonatadas (litología del área de estudio) y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de magnesio en las aguas subterráneas como es el caso de las M2, M3, y M4 que se recogieron en la superficie, en ellas, el magnesio es retenido con preferencia al calcio en suelos y rocas.



...

Gráfico 14. Contenido de magnesio en ppm de muestras

4.1.14 DUREZA TOTAL

Para obtener la dureza total del agua se suman las concentraciones en ppm de los iones $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.

Tabla 11. Contenido de dureza total en ppm en función de Ca^{2+} y Mg^{2+}

Nº MUESTRA	ppm Ca^{2+}	ppm Mg^{2+}	DUREZA TOTAL
1	91	61	152
2	61	61	122
3	89	64	153
4	89	58	147
5	87	58	145

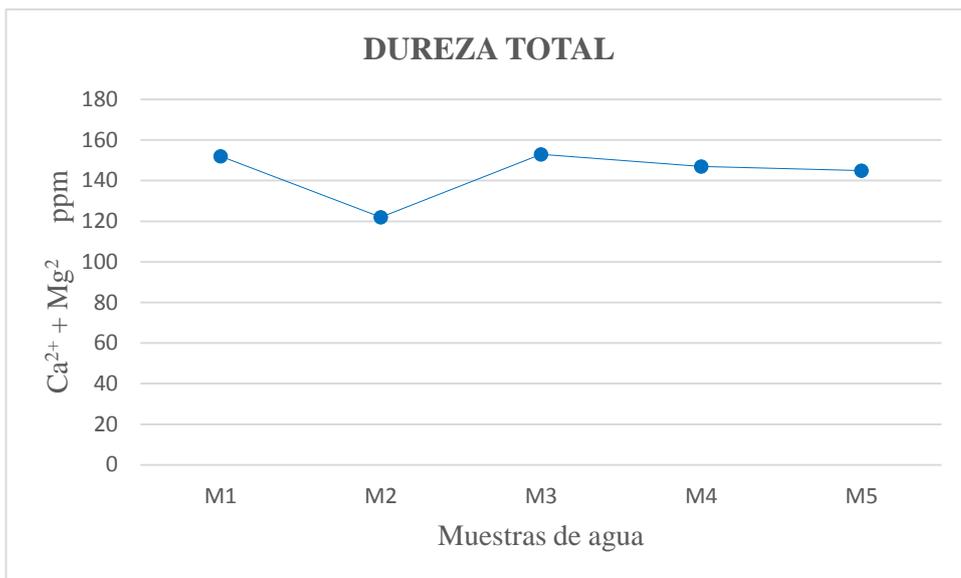


Gráfico 15. Variación de contenido de dureza total de las muestras .

La muestra M2 presenta una menor dureza total porque los carbonatos son insolubles cuando aumenta la temperatura y no se solubilizan los CaCO_3 y CaMgO_3 , para obtener una mayor dureza.

4.1.15 SODIO –POTASIO

Para dar valores de Na^{+1} y K^{+1} , se realiza mediante la suma de ambos, ya que ambos forman cloruros siendo la constante de solubilidad del Na^{+1} menor (cuando más pequeña es la constante de solubilidad es más soluble con el agua), y la diferencia del NaCl con KCl, es el 0.01%,

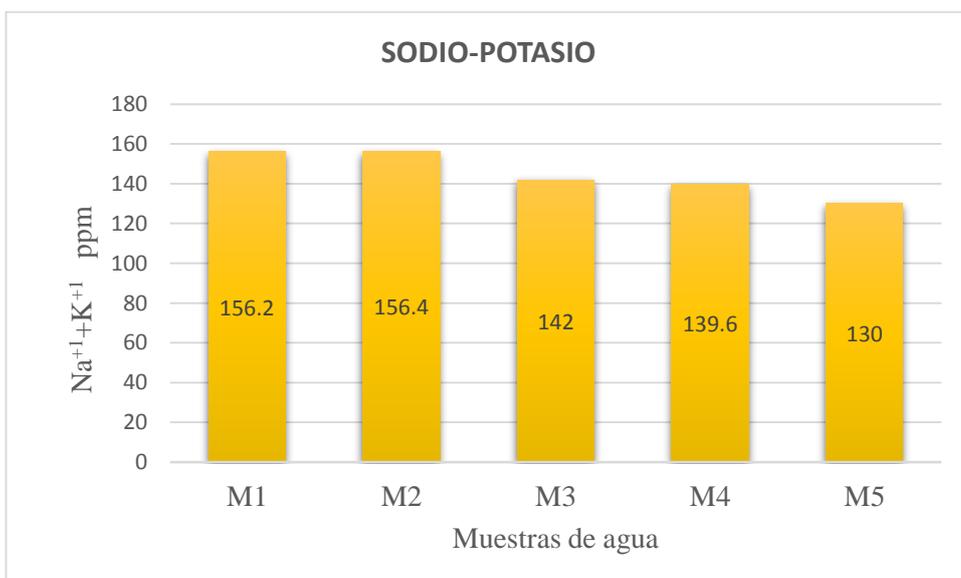


Gráfico 16. Contenido de suma de sodio y potasio en muestras .

Para calcular el porcentaje de concentración de Na^{+1} y K^{+1} se debe multiplicar el valor de cada uno en ppm por una constante el Na^{+1} por 0.75 y el K^{+1} por 0.25.

Tabla 12.Cálculo de Sodio y Potasio en función de constantes.

N° MUESTRA	ppm $\text{Na}^{+1}+\text{K}^{+1}$	ppm Na^{+1}	ppm K^{+1}
1	156.2	117.15	39.05
2	156.4	117.3	39.1
3	142	106.5	35.5
4	139.6	104.7	34.9
5	130	97.5	32.5

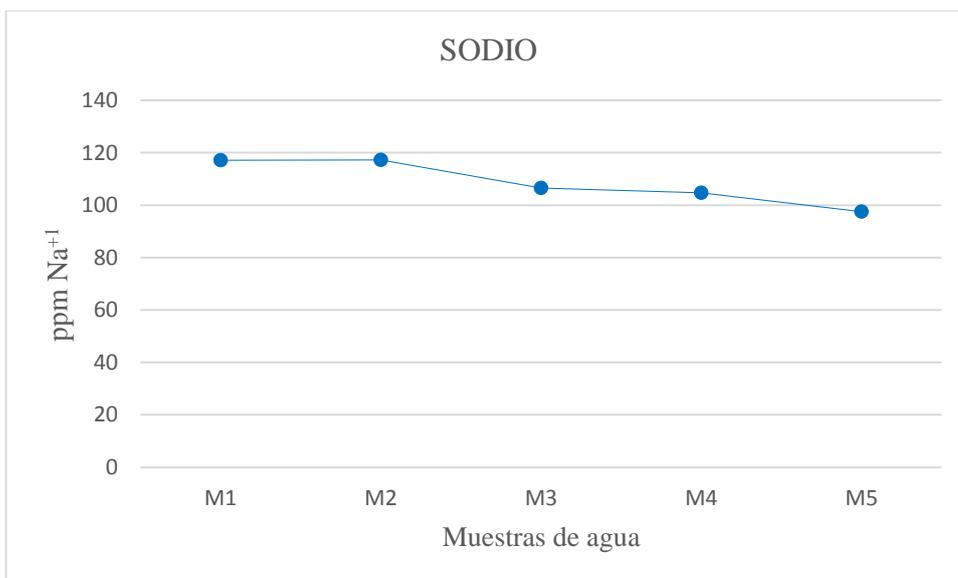


Gráfico 17.Variación de la concentración de Sodio en muestras .

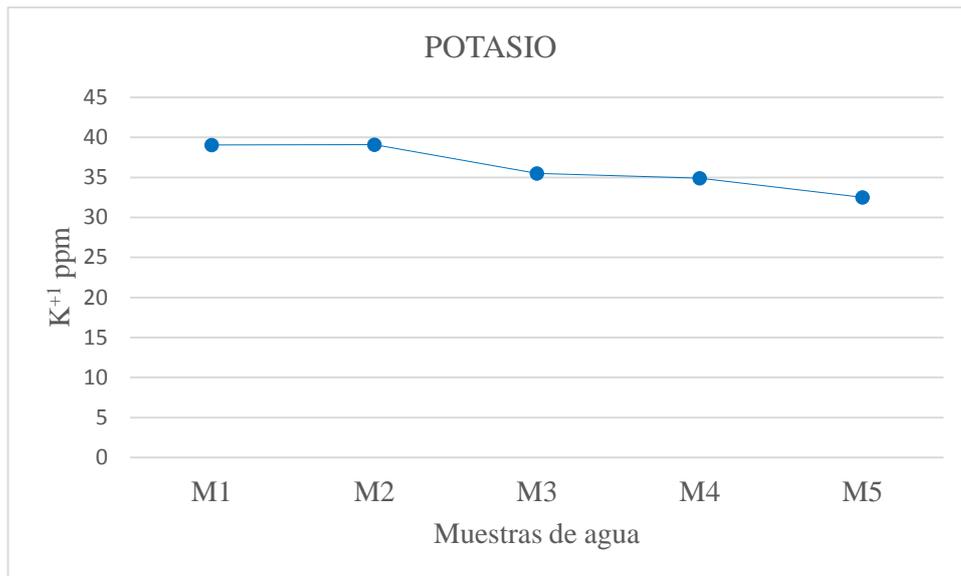


Gráfico 18. Variación de concentración de potasio en muestras .

El contenido del Na^+ en las muestras M1 y M2 es mayor debido a que hay sedimentos del suelo que es alcalino (tiene mayor concentración de Na^+), a este factor se atribuye la variación, mientras que para la M5 que presenta mayor contenido de sólidos en suspensión 51 ppm, el Na^+ es adsorbido en arcillas y puede ser intercambiado con calcio provocando una disminución de la dureza de las aguas, tal como se muestra en los resultados que es 87 ppm de $CaCO_3$. El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales.

4.1.16 CLORUROS

Las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, éstos pasan rápidamente a la fase acuosa por ello a baja concentración en las M2, M3 y M4, sin embargo en la M1 y M5 presentan una mayor concentración ya que forman parte del río Chotén el cual hay concentración de agua de lluvia que es una fuente importante del ión cloruro.

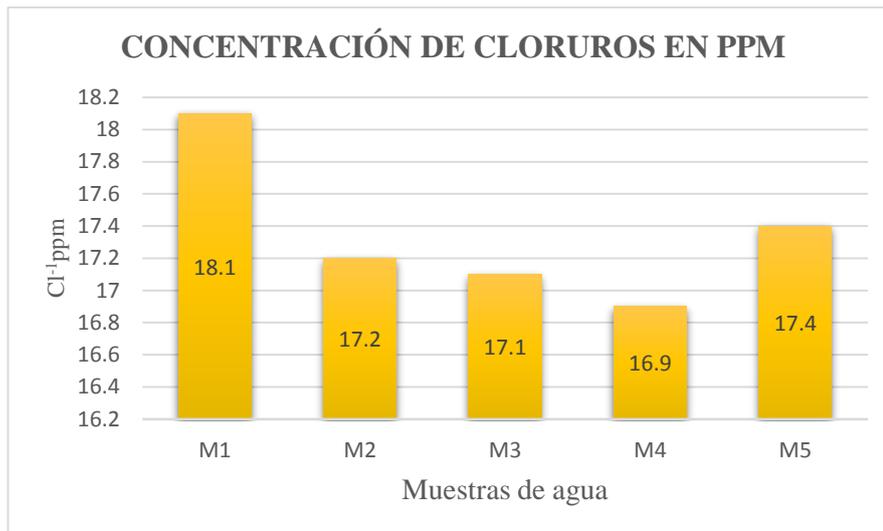


Gráfico 19. Comparación de concentraciones de cloruros por muestra.

4.1.17 SULFATOS

El ión sulfato procede de la oxidación de sulfuros que se encuentran distribuidos en rocas sedimentarias (litología del área de estudio) así como de la descomposición de sustancias orgánicas, la disolución de sales sulfatadas (yeso y anhidrita fundamentalmente) representa el aporte cuantitativamente más importante de este ión a las aguas subterráneas, para las muestras M3 y M4 que son aguas subterráneas recogidas en el afloramiento de areniscas en la superficie que está en contacto con aguas del río Chotén, sin embargo el comportamiento del ión sulfato puede desviarse significativamente del teórico predecible en base a los principios de su disolución, por su tendencia a formar iones complejos con Na^{+1} y Ca^{+2} en el caso de las muestras M1, M2 y M5 disminuye notablemente la concentración de este ión en comparación a las M3 y M4, las primeras están en contacto con sedimentos del suelo y de las aguas del río Chotén, así mismo suele incorporarse a procesos biológicos. El ión sulfato está sujeto a procesos de reducción, especialmente en presencia de bacterias y materia orgánica.

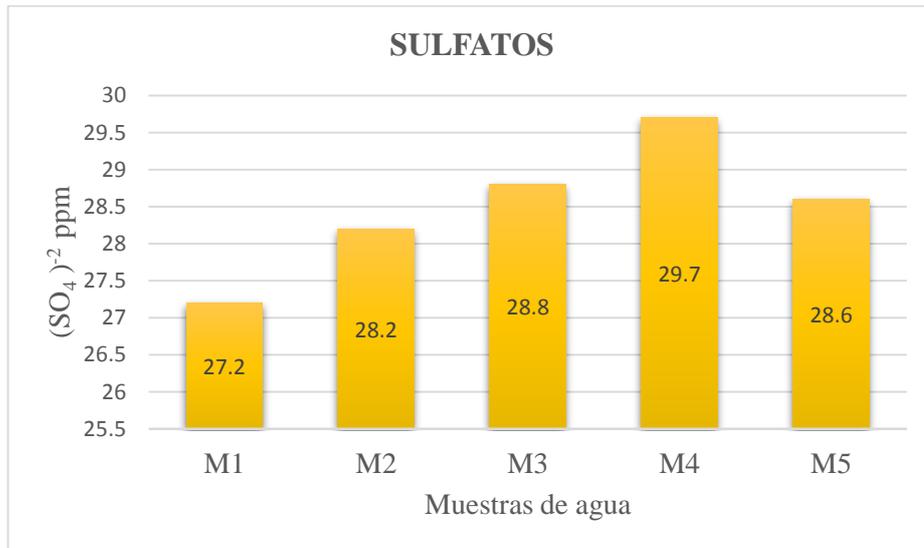


Gráfico 20. Comparación del contenido de sulfatos por cada muestra.

4.1.18 CARBONATOS Y BICARBONATOS

El contenido de $(\text{HCO}_3)^{-1}$ y $(\text{CO}_3)^{-2}$ en las muestras de agua se origina por varias reacciones químicas de carbonatos, procedentes de rocas sedimentarias (litología del área de estudio) y suelo, agua y el CO_2 (disuelto en agua procede fundamentalmente de la zona edáfica respiración de organismos descomposición de la materia orgánica).

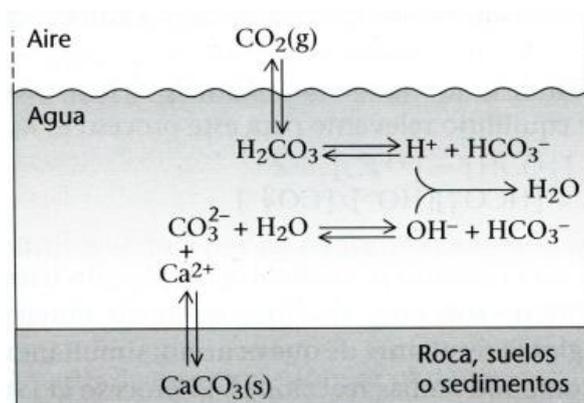


Figura 11. Equilibrio trifásico en sistema CO_2 /carbonato (Rebollo s.f)

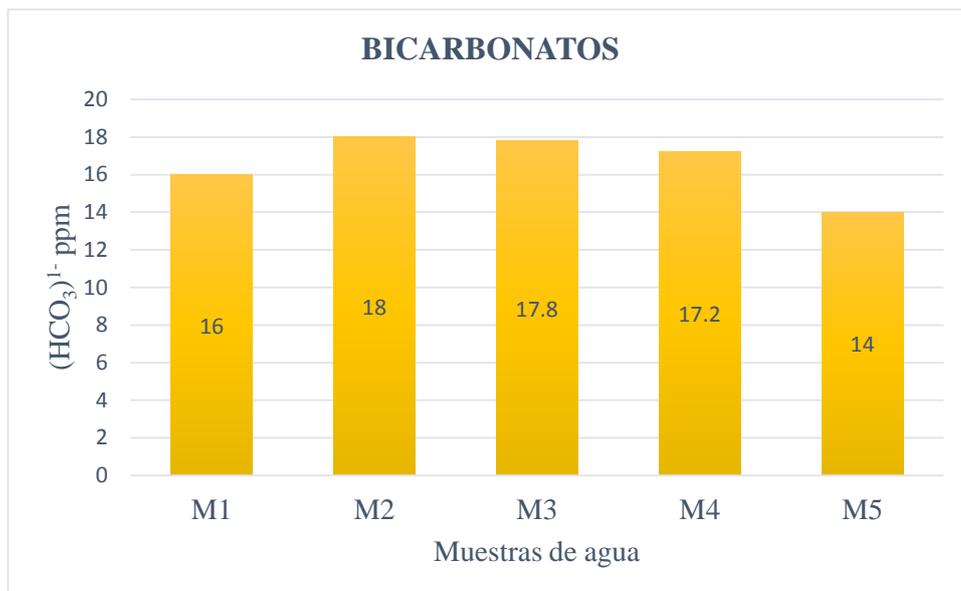


Gráfico 21. Contenido de bicarbonatos en ppm en muestras.

Para calcular la concentración de $(\text{CO}_3)^{-2}$, se realizan cálculos en función a la masa molar de $(\text{HCO}_3)^{-1}$, donde la concentración de meq/l de $(\text{CO}_3)^{-2}$ se obtiene de multiplicar la masa molar de $(\text{CO}_3)^{-2}$ por la cantidad de meq/l de $(\text{HCO}_3)^{-1}$, y este resultado se divide entre la masa molar de $(\text{HCO}_3)^{-1}$, para transformar a ppm se divide entre el factor de conversión 0.05.

Tabla 13. Cálculo de meq/l de $(\text{CO}_3)^{-2}$ a partir de $(\text{HCO}_3)^{-1}$

N° DE MUESTRA	$(\text{HCO}_3)^{-1}$ meq/l	Masa molar gr/mol $(\text{HCO}_3)^{-1}$	Masa molar $(\text{CO}_3)^{-2}$ gr/mol	$(\text{CO}_3)^{-2}$ meq/l	$(\text{CO}_3)^{-2}$ ppm
1	0.80	61	60	0.79	15.74
2	0.90	61	60	0.89	17.70
3	0.89	61	60	0.88	17.51
4	0.86	61	60	0.85	16.92
5	0.70	61	60	0.69	13.77

La variación del contenido de carbonatos y bicarbonatos, en la M2 es por la presencia de sedimentos del suelo del área del afloramiento, para la M1 y M5 que presenta menor concentración es por factores como la solubilidad del carbonato en bajas temperaturas y el aporte de sales del río Chotén al confluir ambos.

4.1.19 FÓSFORO

Se encuentra en concentraciones mucho menores en las muestras, probablemente por su tendencia a formar iones complejos y compuestos de baja solubilidad con un extenso número de metales y por ser adsorbido por sedimentos minerales de la arcilla. en el suelo.

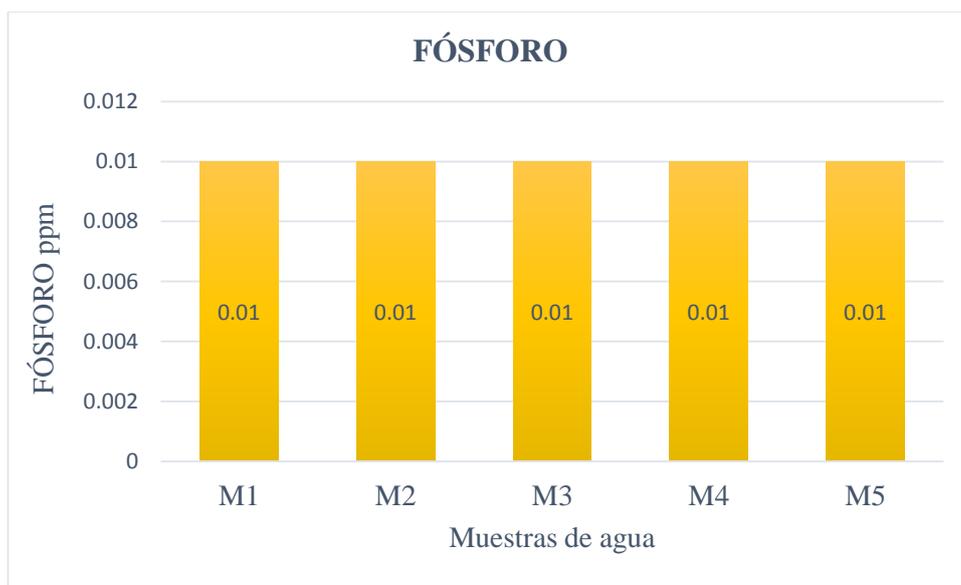


Gráfico 22.Comparación de contenido de fósforo por muestra.

4.1.20 CONSTITUYENTES MENORES

Según los análisis fisicoquímicos la concentración es menor a 0.1 ppm, del aluminio, hierro, cobre y manganeso, debido a que el suelo es alcalino y una característica de este tipo de suelo es que son escasos en estos elementos, es por ello que tanto las aguas termales como las aguas del río Chotén al mezclarse con estas no varía la concentración.



Gráfico 23.Comparación de contenido de aluminio por muestra.

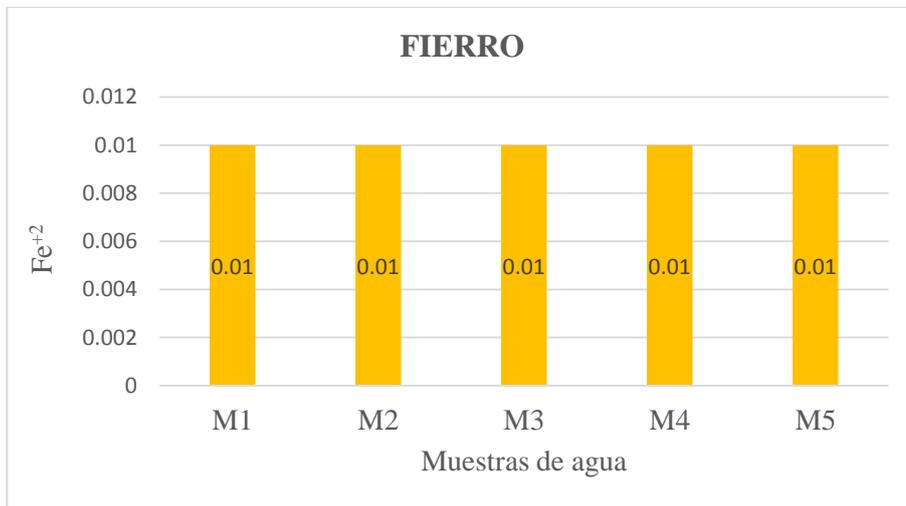


Gráfico 24.Comparación de contenido de hierro en cada muestra .

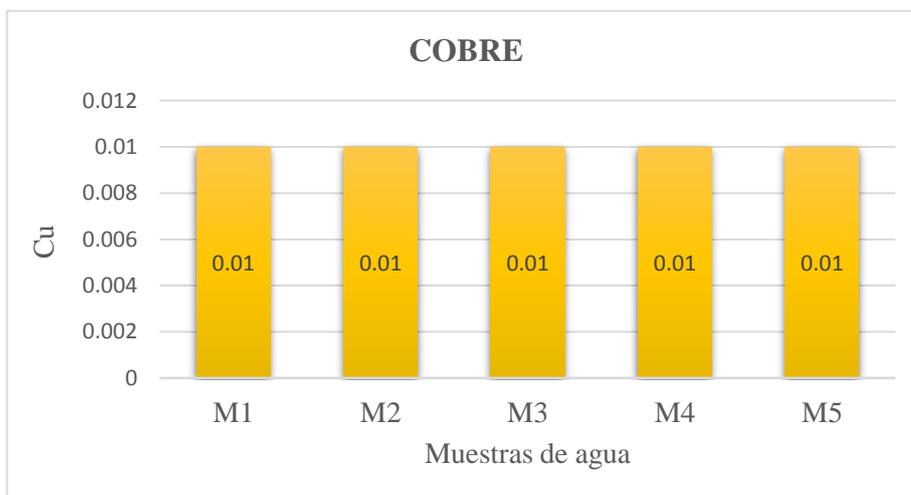


Gráfico 25.Contenido de cobre por muestra .

4.1.21 NITRITO(NO_2)¹⁻

La composición es <0.01 ppm, como consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción, microbiana de los nitratos, el contenido de este ión no es un resultado que pueda ser considerado como una posible contaminación del agua.

4.1.22 SELENIO (Se)

La concentración varía de 0.001 ppm a 0.002 ppm, siendo la M1 que presenta mayor concentración, posiblemente debido a la presencia de sedimentos del suelo que tengan algún contenido de este y se haya disuelto en el agua.

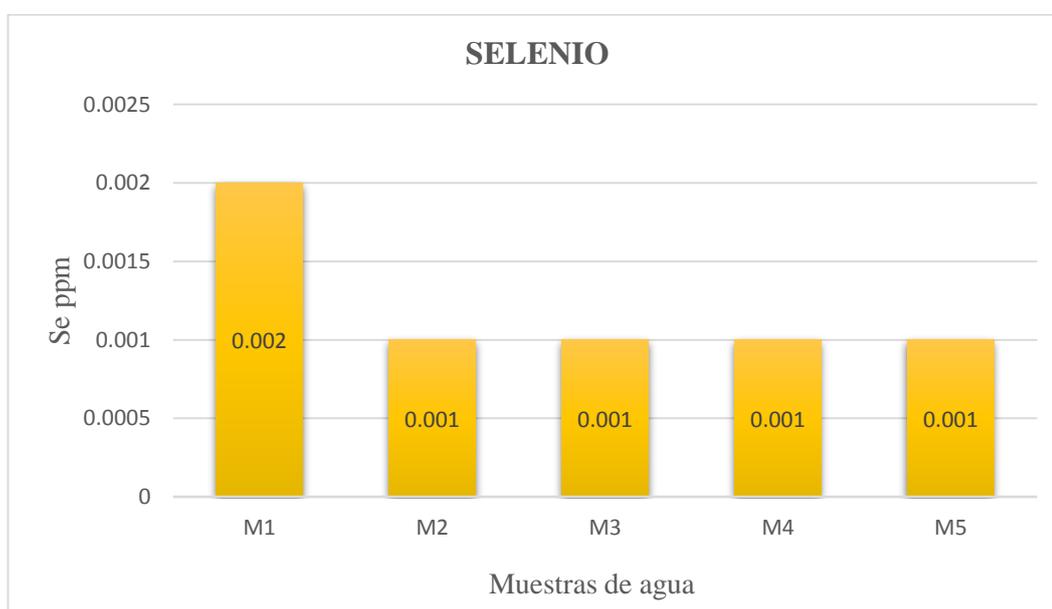


Gráfico 26.Comparación de contenido de Selenio por muestra

4.1.23 ARSÉNICO –PLOMO

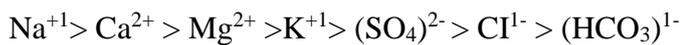
Las muestras no tienen ningún contenido de arsénico y plomo.

4.1.24 CONCENTRACIÓN DE IONES EN %

Con los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos en laboratorio aniones y cationes dominantes en cada punto de muestreo, se calcula el porcentaje de concentración en meq/l siendo la suma de todos los iones el 100 %, luego se calcula el % de concentración de acuerdo a los valores de cada anión y catión. Para convertir los resultados de ppm a meq/l, se multiplica cada uno de ellos por un factor de conversión de 0.05.

4.1.24.1 MUESTRA M1

El contenido de iones en porcentaje de meq/l:



El ión que se encuentra en mayor concentración es el Na^{+1} , y el que se encuentra en menor concentración es el $(\text{HCO}_3)^{1-}$

Tabla 14. Porcentaje de concentración de iones de muestra M1

IONES	Concentración en ppm	Concentración meq/l	% Concentración
Ca^{2+}	91	4.55	24.63
Mg^{2+}	61	3.05	16.51
Na^{+1}	117.15	5.86	31.71
K^{+1}	39.05	1.95	10.57
$(\text{SO}_4)^{2-}$	27.2	1.36	7.36
Cl^{-1}	18.1	0.91	4.90
$(\text{HCO}_3)^{1-}$	16	0.80	4.33
TOTAL	369.5	18.48	100.00

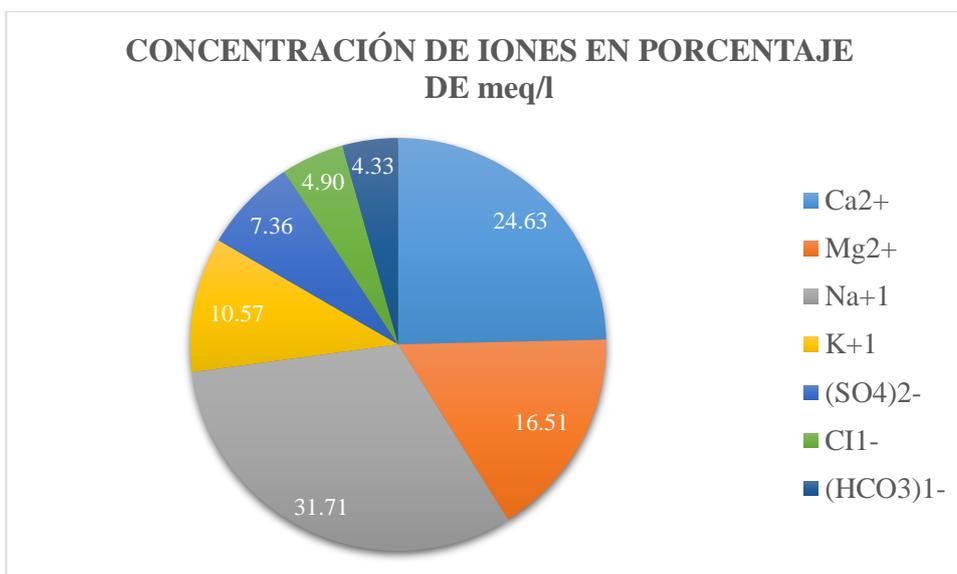
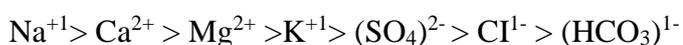


Gráfico 27. Concentración de iones en porcentaje de meq/l de la muestra M1.

4.1.24.2 MUESTRA M2

El contenido de iones en porcentaje de meq/l:



El ión sulfato se encuentra en mayor concentración es el Na^{+1} , y el que se encuentra en menor concentración es el $(\text{HCO}_3)^{1-}$.

Tabla 15. Porcentaje de concentración de iones de muestra M2.

IONES	Concentración en ppm	Concentración meq/l	% Concentración
Ca^{2+}	92	4.60	24.68
Mg^{2+}	61	3.05	16.36
Na^{+1}	117.3	5.87	31.46
K^{+1}	39.1	1.96	10.49
$(\text{SO}_4)^{2-}$	28.2	1.41	7.56
Cl^{-1}	17.2	0.86	4.61
$(\text{HCO}_3)^{1-}$	18	0.90	4.83
TOTAL	372.8	18.64	100.00

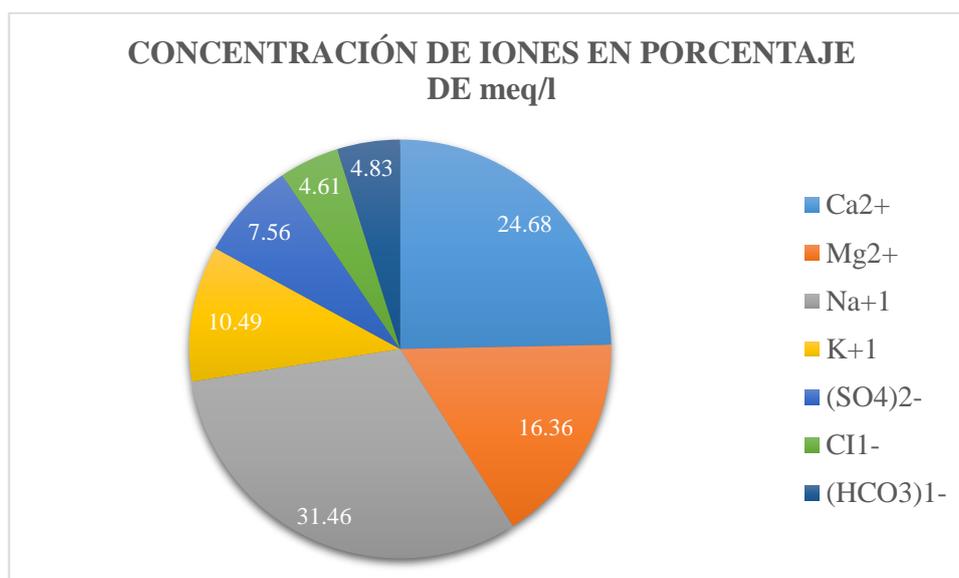
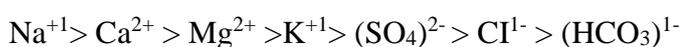


Gráfico 28. Análisis de iones subdividido en % de meq/l muestra M2.

4.1.24.3 MUESTRA M3

El contenido de iones en porcentaje de meq/l:



El ión sulfato se encuentra en mayor concentración es el Na^{+1} , y el que se encuentra en menor concentración es el $(\text{HCO}_3)^{1-}$.

Tabla 16. Porcentaje de concentración de iones muestra M3.

IONES	Concentración en ppm	Concentración meq/l	% Concentración
Ca ²⁺	89	4.45	25.02
Mg ²⁺	61	3.05	17.15
Na ⁺	106.5	5.33	29.94
K ⁺	35.5	1.78	9.98
(SO ₄) ²⁻	28.8	1.44	8.10
Cl ⁻	17.1	0.86	4.81
(HCO ₃) ¹⁻	17.8	0.89	5.00
TOTAL	355.7	17.79	100.00

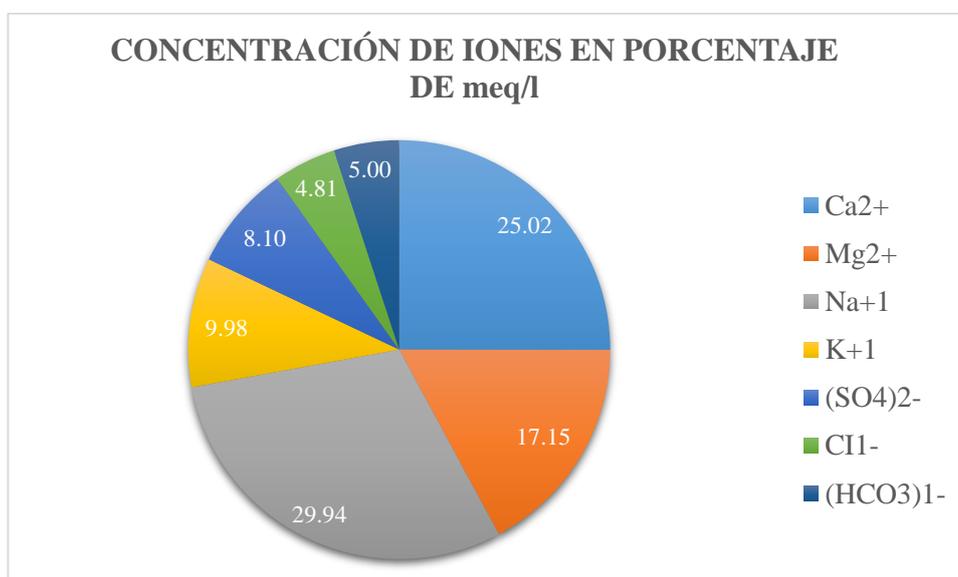
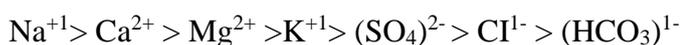


Gráfico 29. Análisis de iones subdividido en % de meq/l muestra M3.

4.1.24.4 MUESTRA M4

El contenido de iones en porcentaje de meq/l:



El ión sulfato se encuentra en mayor concentración es el Na⁺¹, y el que se encuentra en menor concentración es el (HCO₃)¹⁻

Tabla 17. Porcentaje de concentración de iones muestra M4.

IONES	Concentración en ppm	Concentración meq/l	% Concentración
Ca ²⁺	89	4.45	25.40
Mg ²⁺	58	2.90	16.55
Na ⁺	104.7	5.24	29.88
K ⁺	34.9	1.75	9.96
(SO ₄) ²⁻	29.7	1.49	8.48
Cl ¹⁻	16.9	0.85	4.82
(HCO ₃) ¹⁻	17.2	0.86	4.91
TOTAL	350.4	17.52	100.00

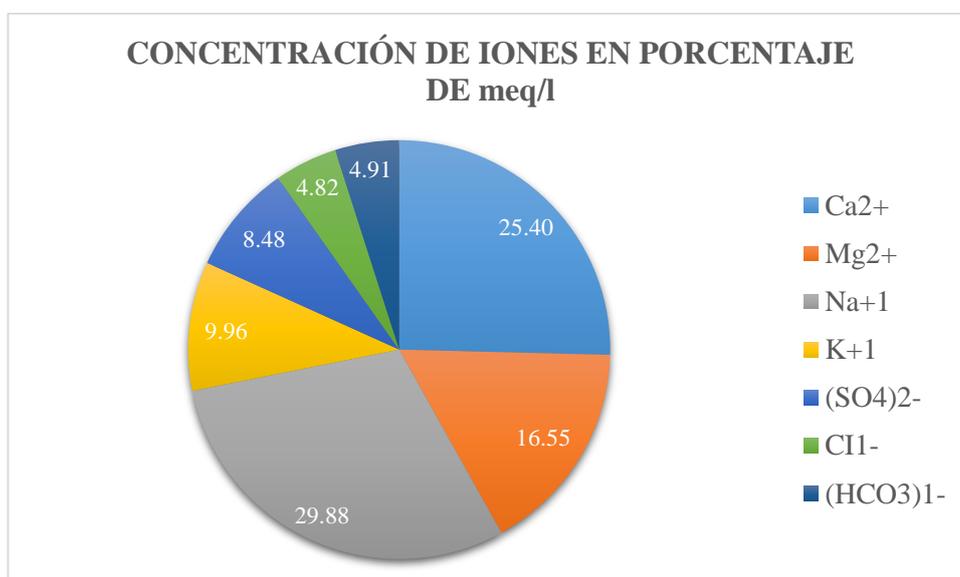
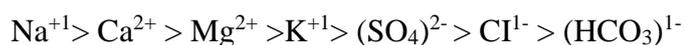


Gráfico 30. Análisis de iones subdivido en % de meq/l muestra M4.

4.1.24.5 MUESTRA M5

El contenido de iones en porcentaje de meq/l:



El ión sulfato se encuentra en mayor concentración es el Na⁺, y el que se encuentra en menor concentración es el (HCO₃)¹⁻.

Tabla 18. Porcentaje de concentración de iones muestra M5

IONES	Concentración en ppm	Concentración meq/l	% Concentración
Ca ²⁺	87	4.35	25.97
Mg ²⁺	58	2.90	17.31
Na ⁺	97.5	4.88	29.10
K ⁺	32.5	1.63	9.70
(SO ₄) ²⁻	28.6	1.43	8.54
Cl ⁻	17.4	0.87	5.19
(HCO ₃) ¹⁻	14	0.70	4.18
TOTAL	335	16.75	100.00

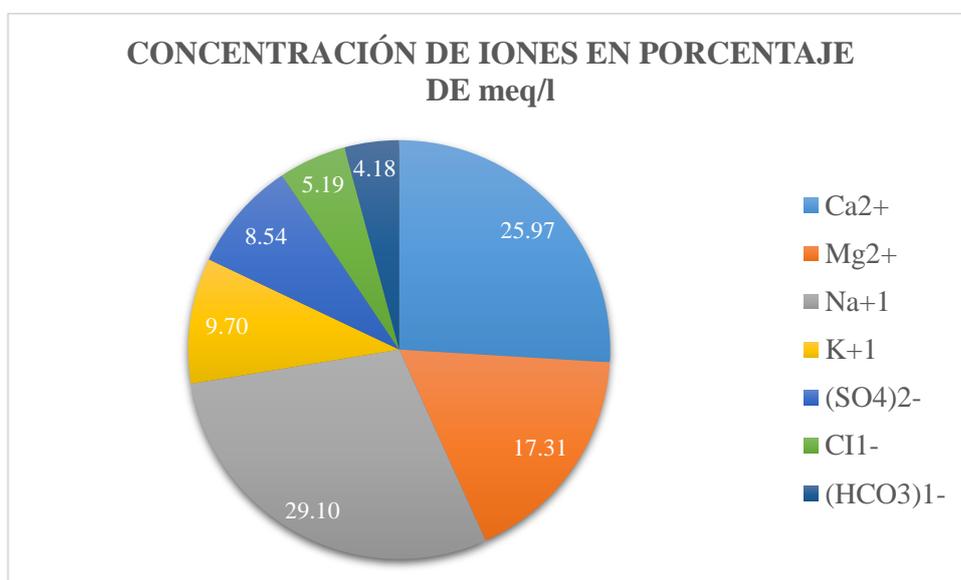


Gráfico 31. Análisis de iones subdivididos en % de meq/l muestra M5.

4.1.25 CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUAS SEGÚN CONTENIDO IÓNICO

4.1.25.1 Diagrama de Piper muestra M1

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, siendo el Na^{+1} el catión dominante.

Tabla 19. Porcentaje de concentración de cationes de muestra M1

CATIONES	Concentración meq/l	% Concentración
Ca^{2+}	4.55	29.5
Mg^{2+}	3.05	19.8
$\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1}$	7.81	50.7
TOTAL	15.41	100

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $(\text{SO}_4)^{2-} > \text{Cl}^{-1} > (\text{HCO}_3)^{1-}$, siendo el $(\text{SO}_4)^{2-}$ el anión dominante.

Tabla 20. Porcentaje de concentración de aniones de muestra M1

ANIONES	Concentración meq/l	% Concentración
$(\text{SO}_4)^{2-}$	1.36	35.28
Cl^{-1}	0.91	23.48
$(\text{HCO}_3)^{1-}$	0.80	20.75
$(\text{CO}_3)^{-2}$	0.79	20.49
TOTAL	3.86	100.00

DIAGRAMA DE PIPER M1

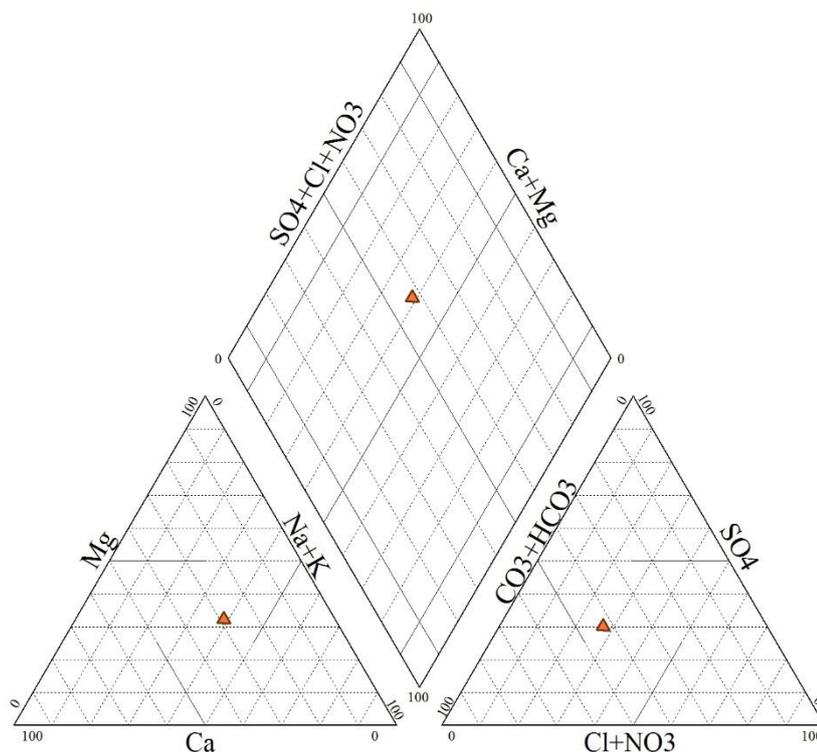


Gráfico 32. Diagrama de Piper , concentración de iones de muestra M1.

4.1.25.2 Diagrama de Piper muestra M2.

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $Na^{+1}+K^{+1} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$, siendo el Na^{+1} el catión dominante.

Tabla 21. Porcentaje de concentración de cationes de muestra M2

CATIONES	Concentración meq/l	% Concentración
Ca^{2+}	4.60	29.7
Mg^{2+}	3.05	19.7
$Na^{+1}+K^{+1}$	7.82	50.5
TOTAL	15.47	100

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $(SO_4)^{2-} > Cl^{-1} > (HCO_3)^{1-}$, siendo el $(SO_4)^{2-}$ el anión dominante.

Tabla 22. Porcentaje de concentración de aniones de muestra M2

ANIONES	Concentración meq/l	% Concentración
$(\text{SO}_4)^{2-}$	1.41	34.73
Cl^-	0.86	21.18
$(\text{HCO}_3)^{1-}$	0.90	22.17
$(\text{CO}_3)^{-2}$	0.89	21.92
TOTAL	4.06	100.00

DIAGRAMA DE PIPER M2

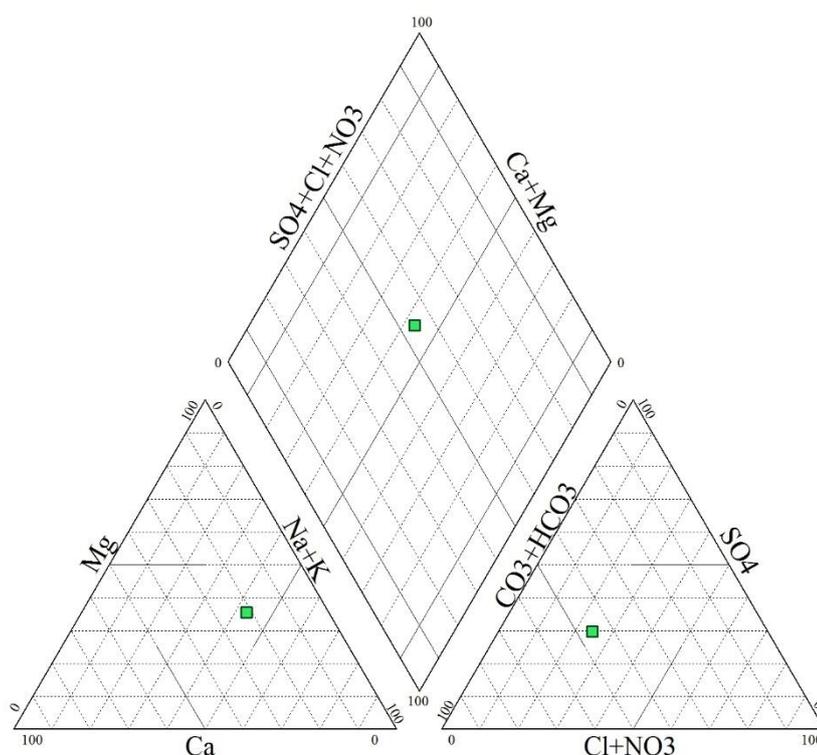


Gráfico 33. Diagrama de Piper, concentración de iones, muestra M2

4.1.25.3 Diagrama de Piper muestra M3

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, siendo el Na^+ el catión dominante.

Tabla 23. Porcentaje de concentración de cationes en muestra M3

CATIONES	Concentración meq/l	% Concentración
Ca ²⁺	4.45	30.17
Mg ²⁺	3.20	21.69
Na ⁺ +K ⁺	7.10	48.14
TOTAL	14.8	100

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: (SO₄)²⁻ > Cl¹⁻ > (HCO₃)¹⁻, siendo el (SO₄)²⁻ el anión dominante.

Tabla 24. Porcentaje de concentración de aniones en muestra M3.

ANIONES	Concentración meq/l	% Concentración
(SO ₄) ²⁻	1.44	35.42
Cl ¹⁻	0.86	21.03
(HCO ₃) ¹⁻	0.89	21.89
(CO ₃) ²⁻	0.88	21.65
TOTAL	4.07	100.00

DIAGRAMA DE PIPER M3

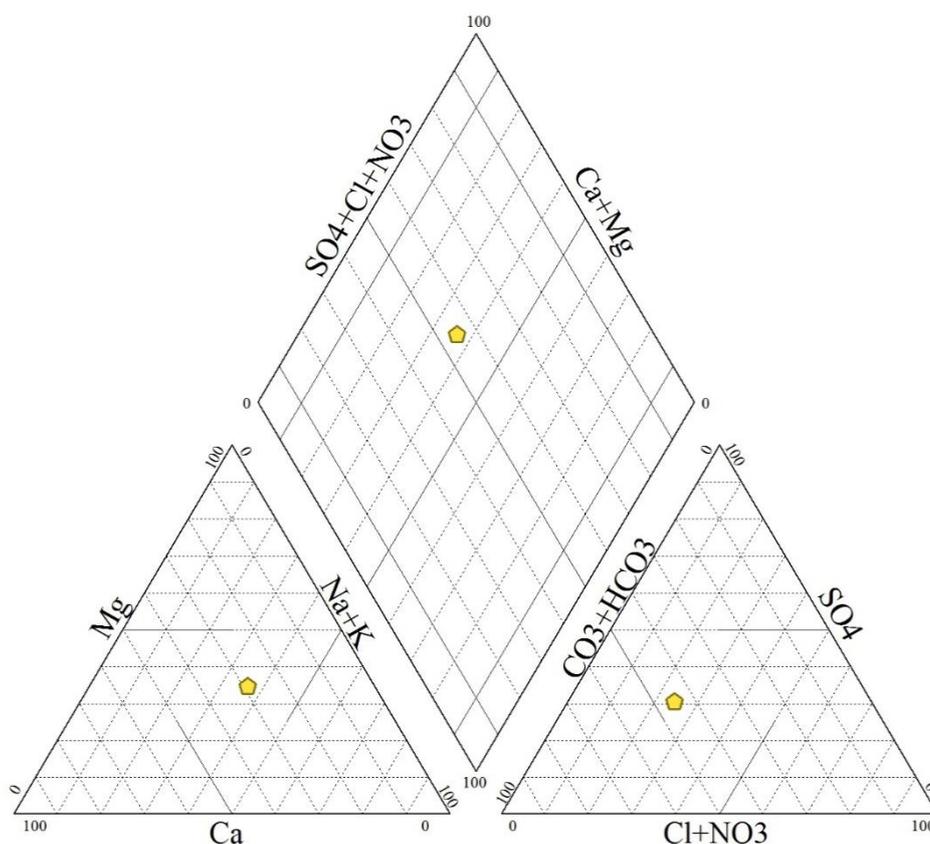


Gráfico 34. Diagrama de Piper, concentración de iones de muestra M3.

4.1.25.4 Diagrama de Piper muestra M4

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, siendo el Na^{+1} el catión dominante.

Tabla 25. Porcentaje de concentración de cationes de muestra M4

CATIONES	Concentración meq/l	% Concentración
Ca^{2+}	4.45	31.05
Mg^{2+}	2.90	20.24
$\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1}$	6.98	48.71
TOTAL	14.3	100

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $(\text{SO}_4)^{2-} > \text{Cl}^{-1} > (\text{HCO}_3)^{1-}$, siendo el $(\text{SO}_4)^{2-}$ el anión dominante, lo cual clasifica a las aguas como sulfatadas.

Tabla 26. Porcentaje de concentraciones de aniones de muestra M4.

ANIONES	Concentración meq/l	% Concentración
$(\text{SO}_4)^{2-}$	1.49	36.76
Cl^{-1}	0.85	20.92
$(\text{HCO}_3)^{1-}$	0.86	21.29
$(\text{CO}_3)^{-2}$	0.85	21.04
TOTAL	4.04	100.00

DIAGRAMA DE PIPER M4

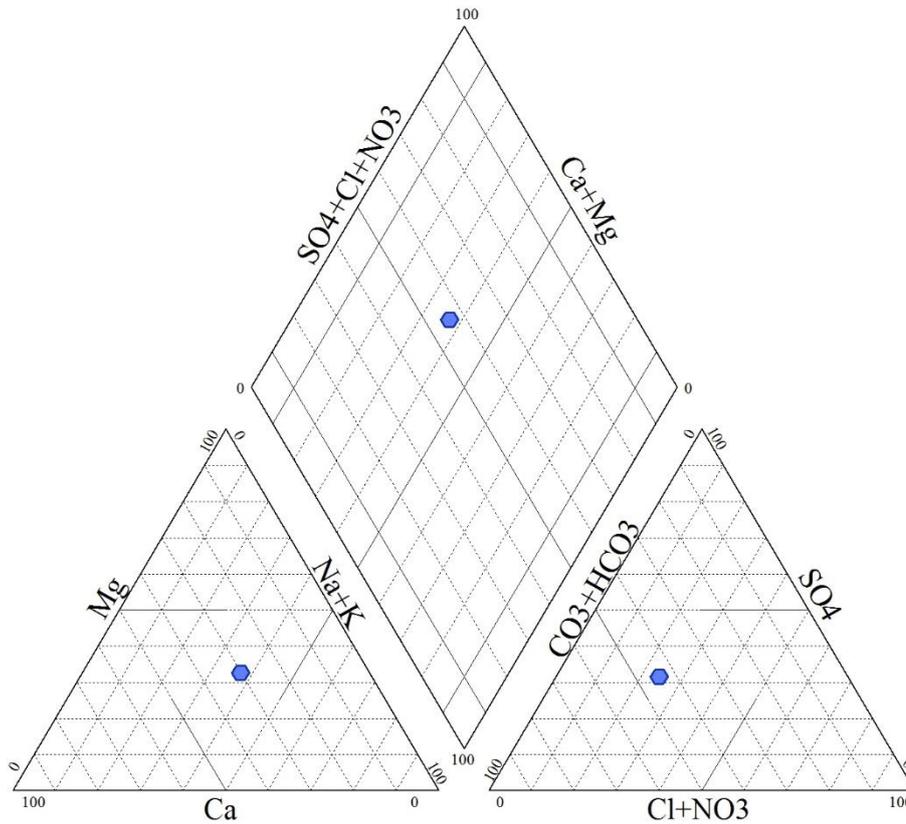


Gráfico 35. Diagrama de Piper, concentración de iones, muestra M4.

4.1.25.5 Diagrama de Piper muestra M5

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, siendo el Na^{+1} el catión dominante.

Tabla 27. Porcentaje de concentración de cationes de muestra M5.

CATIONES	Concentración meq/l	% Concentración
Ca^{2+}	4.35	31.64
Mg^{2+}	2.90	21.09
$\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1}$	6.50	47.27
TOTAL	13.8	100

Con los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de concentración de cationes se obtiene: $(\text{SO}_4)^{2-} > \text{Cl}^{-1} > (\text{HCO}_3)^{1-}$, siendo el $(\text{SO}_4)^{2-}$ el anión dominante.

Tabla 28. Porcentaje de concentración de aniones de muestra M5.

ANIONES	Concentración meq/l	% Concentración
$(\text{SO}_4)^{2-}$	1.43	38.75
Cl^-	0.87	23.58
$(\text{HCO}_3)^{1-}$	0.70	18.97
$(\text{CO}_3)^{-2}$	0.69	18.70
TOTAL	3.69	100.00

DIAGRAMA DE PIPER M5

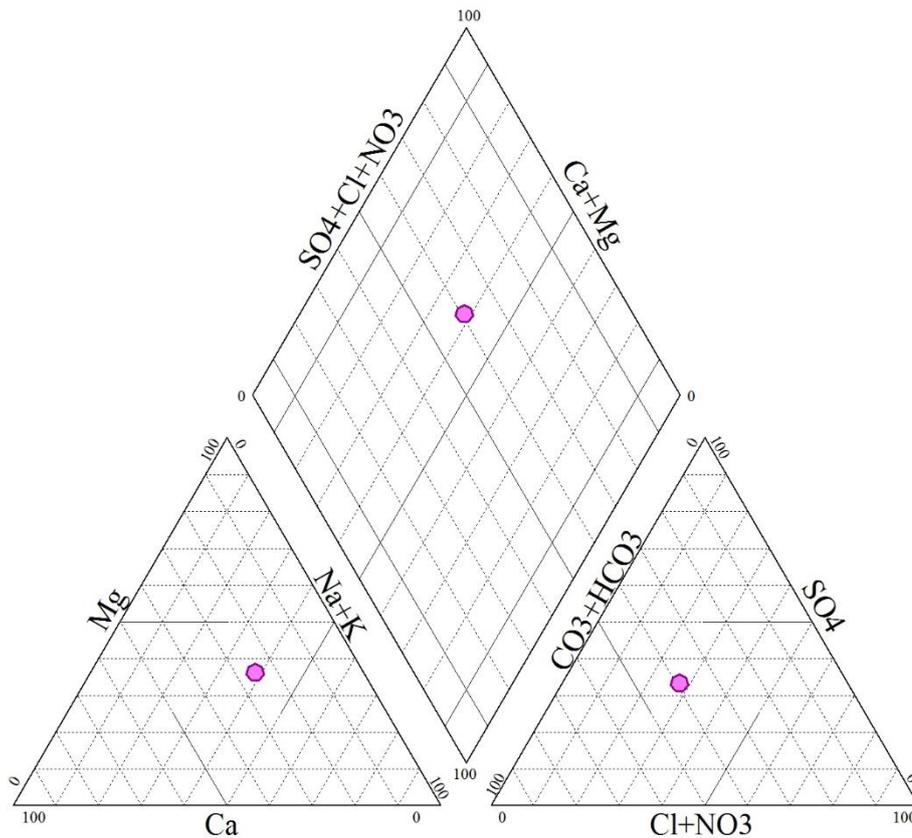


Gráfico 36. Diagrama de Piper, concentración de iones de muestra M5.

Las 5 muestras analizadas, M2, M3 y M4 de aguas termales, como las aguas del río Chotén mezcla de aguas termales y las del río M1 y M5, contienen más tierras alcalinas, es decir mayor concentración de carbonatos y cationes como Ca^{2+} y Mg^{2+} en comparación a los elementos alcalinos como son Na^+ + K^+ , los ácidos fuertes exceden a los ácidos débiles en el agua.

En los resultados las muestras M1 y M2 son las que presentan mayor concentración de Na^+ , debido a que hay presencia de suelo, y las concentraciones de los iones son

menores al 50%. Según la interpretación de facies hidroquímicas de Hill-Piper, las 5 muestras analizadas clasifican como sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas. (Anexo 12).

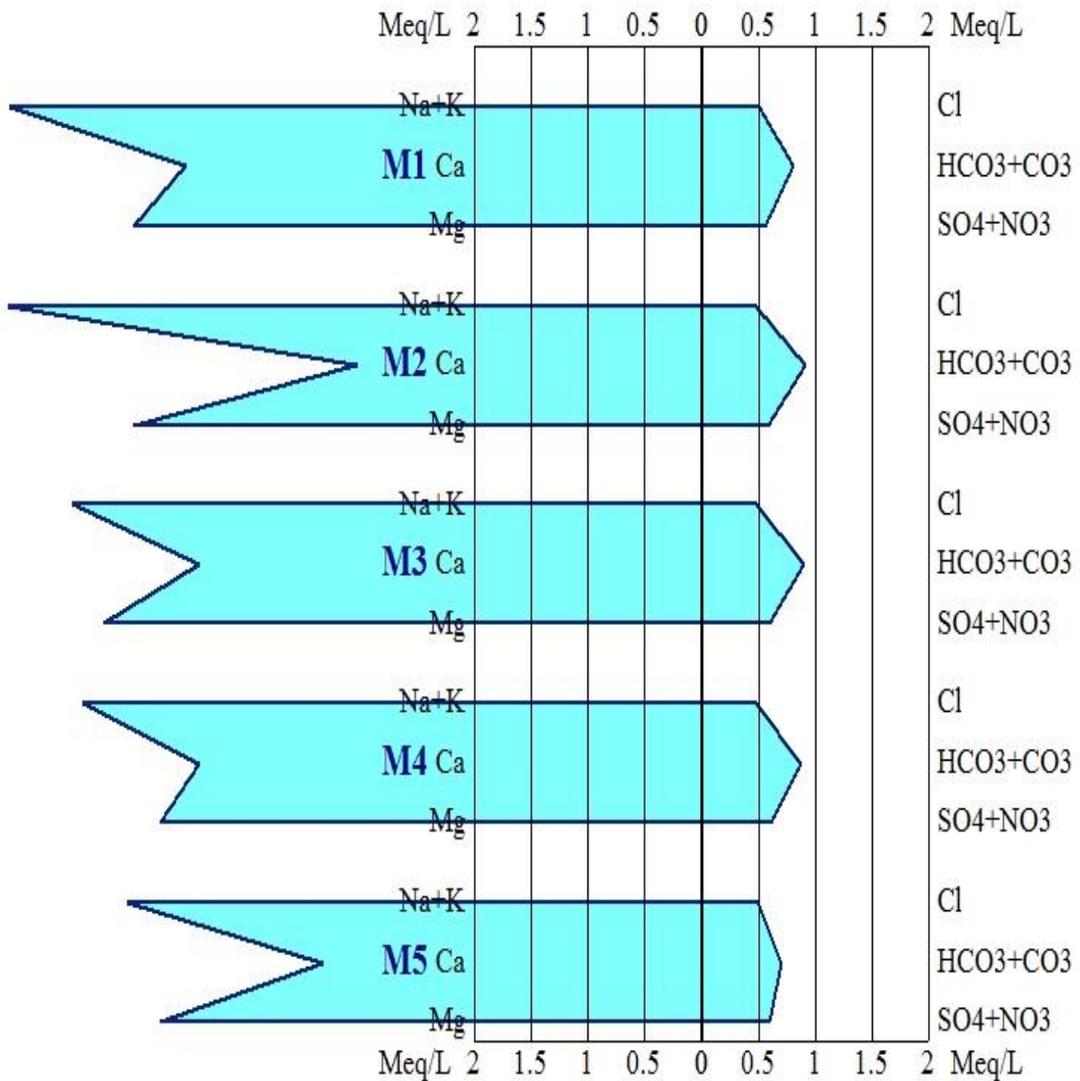


Gráfico 37. Diagrama de Stiff de muestras de agua

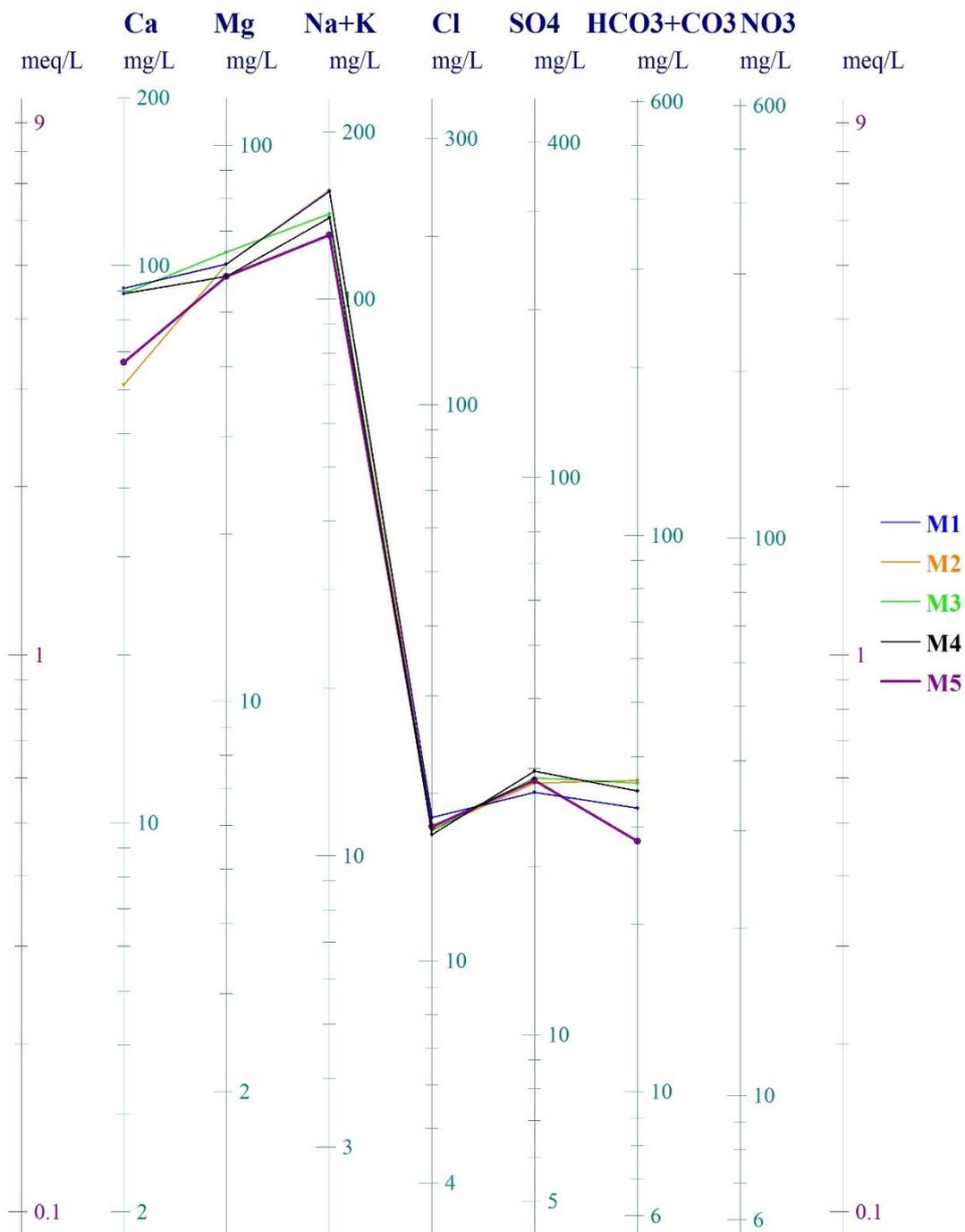


Gráfico 38. Diagrama de Schoeller

Son aguas subterráneas profundas que según la teoría se encontrarían en una zona intermedia siendo aguas más salinas donde el anión predominante sería el SO_4 , el cual indica un mayor tiempo en el acuífero, los carbonatos y bicarbonatos son obtenidos de rocas sedimentarias en una zona inicial, la mayor salinidad la obtendría al ponerse en contacto con las aguas del río Chotén y sedimentos de los

suelos , los cloruros se concentran en el agua producto de las aguas de lluvia las cuales también aportarían con Na^{+1} y K^{+1} al solubilizarse.

4.1.26 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS 2014-2017.

Como antecedente a este estudio, se tienen resultados de dos muestras de agua obtenidas en junio del 2014 de los mismos puntos de muestreo que las extraídas en abril del 2017, la muestra M3 de abril 2017 ha sido extraída del mismo punto de muestreo como muestra M1 en junio del 2014; así mismo la muestra M5 de abril del 2017 ha sido extraída del mismo punto de muestreo en junio del 2014, por ello se presentan los siguientes gráficos de elementos que han variado en estos 3 años

4.1.26.1 M1 Y M3

a) Oxígeno disuelto

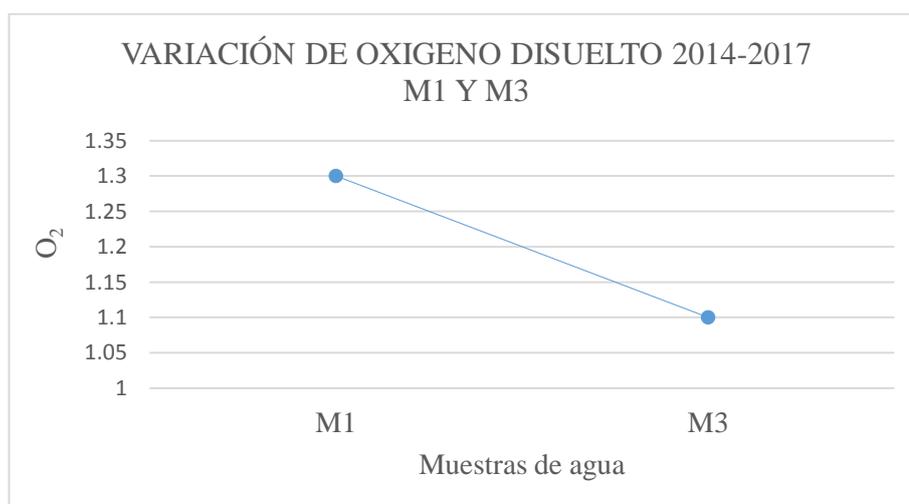


Gráfico 39. Variación de contenido de oxígeno disuelto en M1 y M3

b) Potencial de hidrógeno

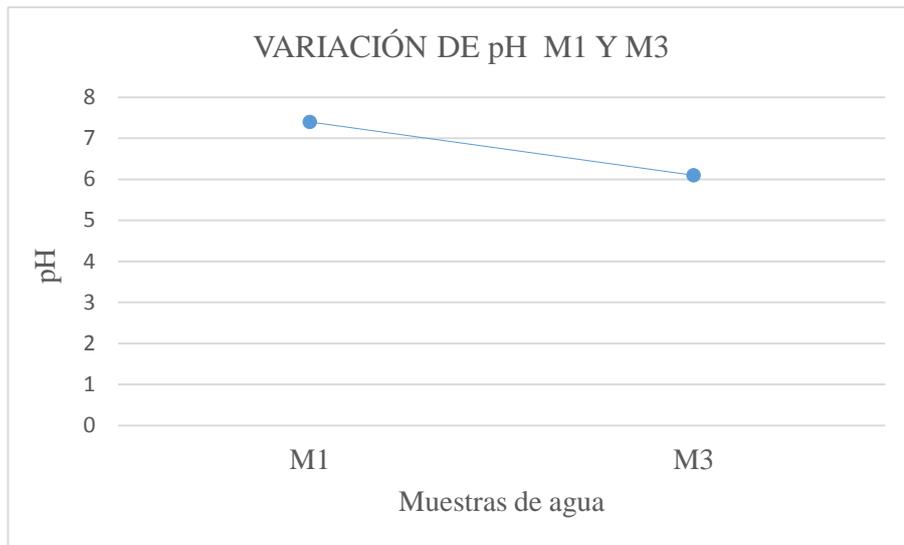


Gráfico 40. Variación de pH de M1 y M3

c) Turbidez

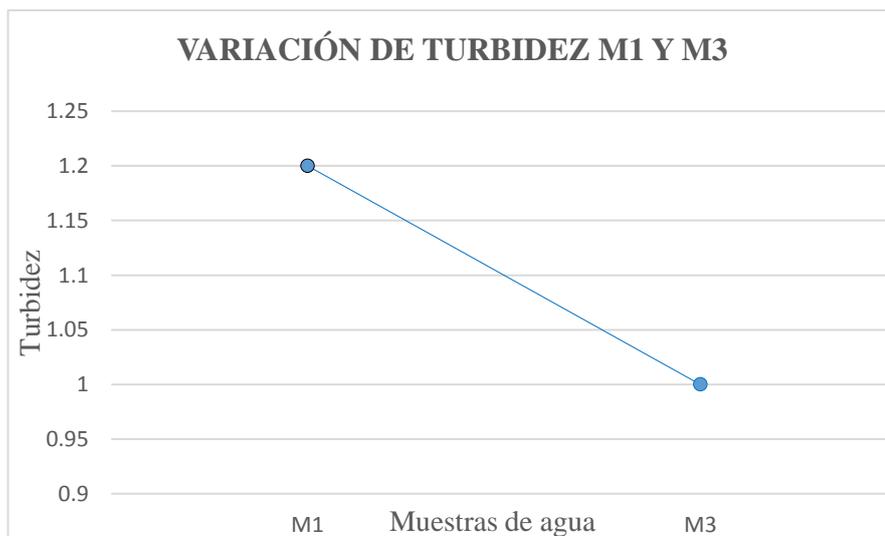


Gráfico 41. Variación de turbidez M1 y M3.

d) Conductividad eléctrica

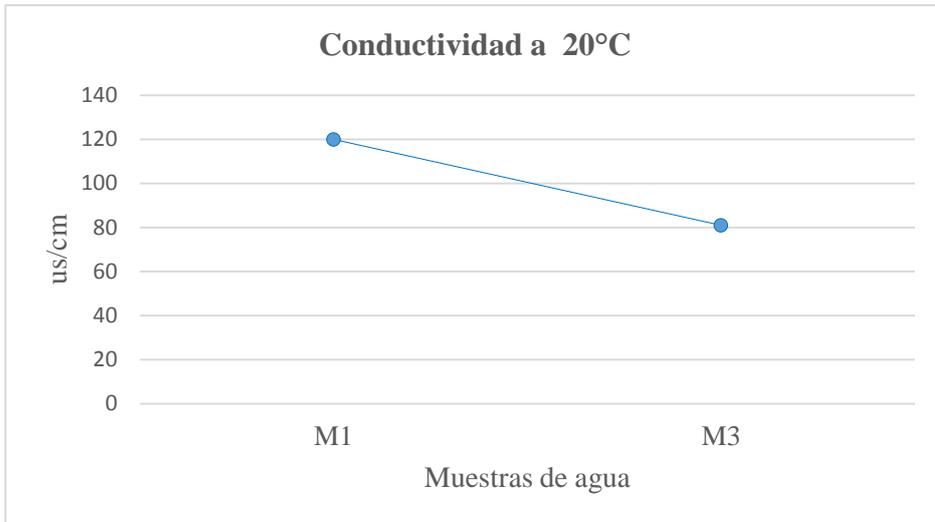


Gráfico 42. Variación de conductividad a 20°C us/cm M1 y M3.

e) Sólidos totales disueltos y Sólidos en suspensión

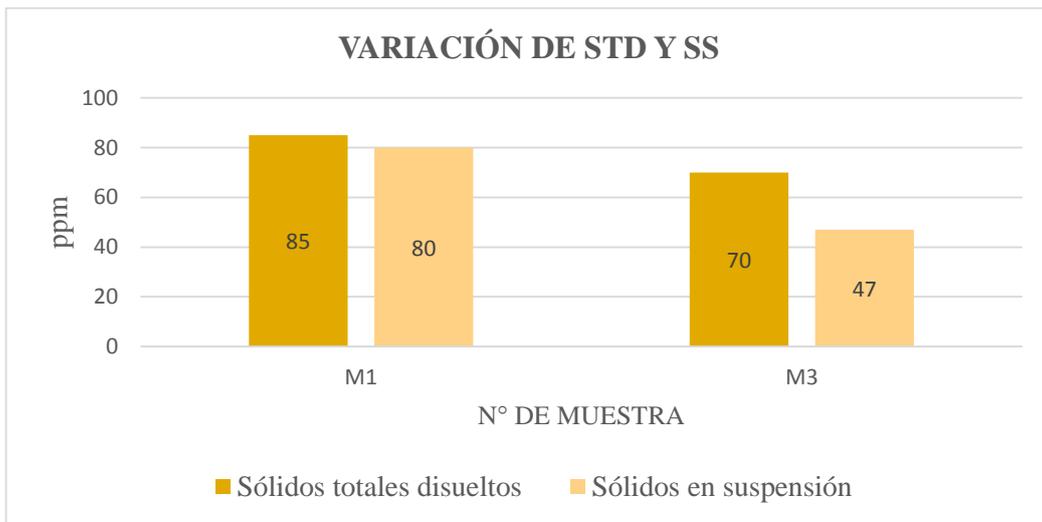


Gráfico 43. Variación de STD y SS en ppm de M1 y M3

f) Concentración de iones y Sales

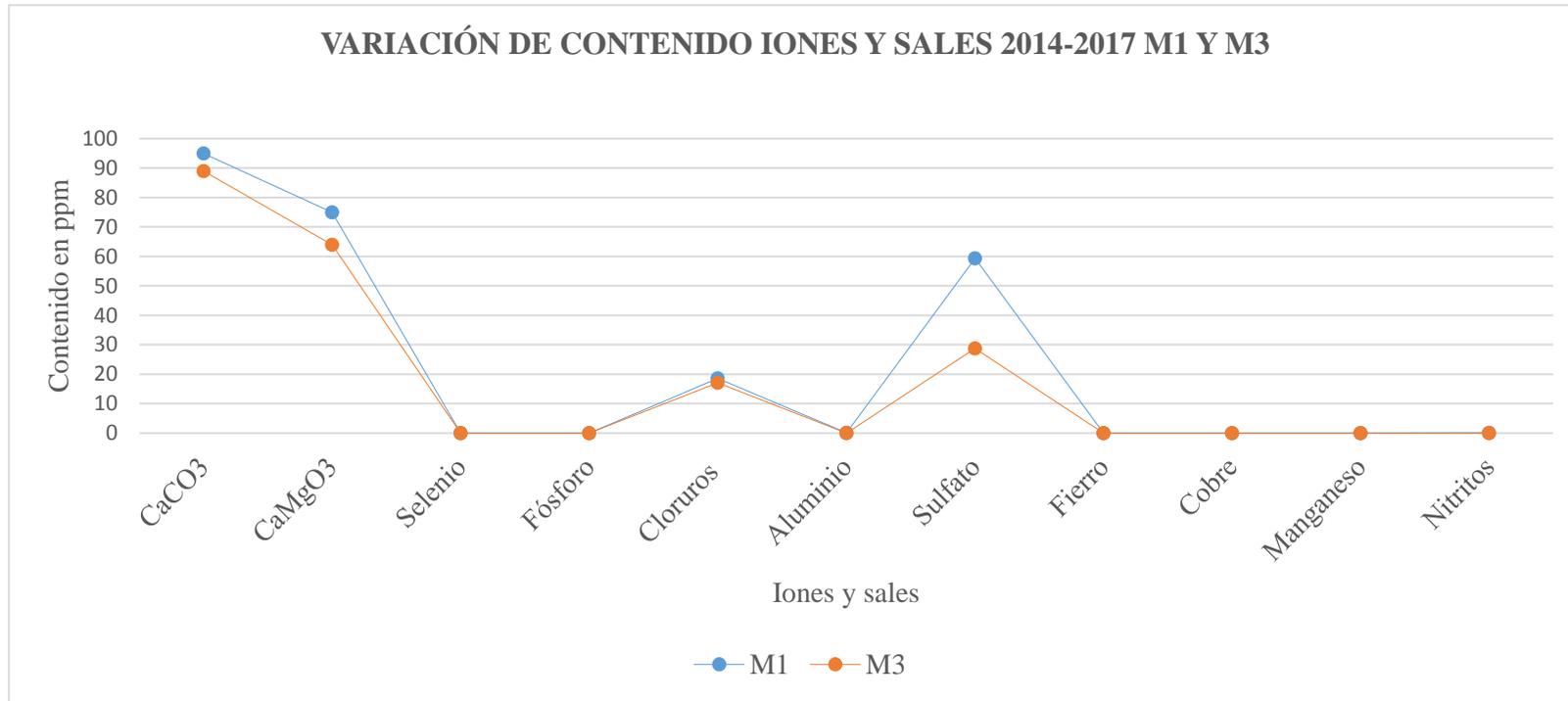


Gráfico 44. Variación de contenido de iones y sales en ppm M1 y M3.

4.1.26.2 M2 Y M5 .

a) Oxígeno Disuelto

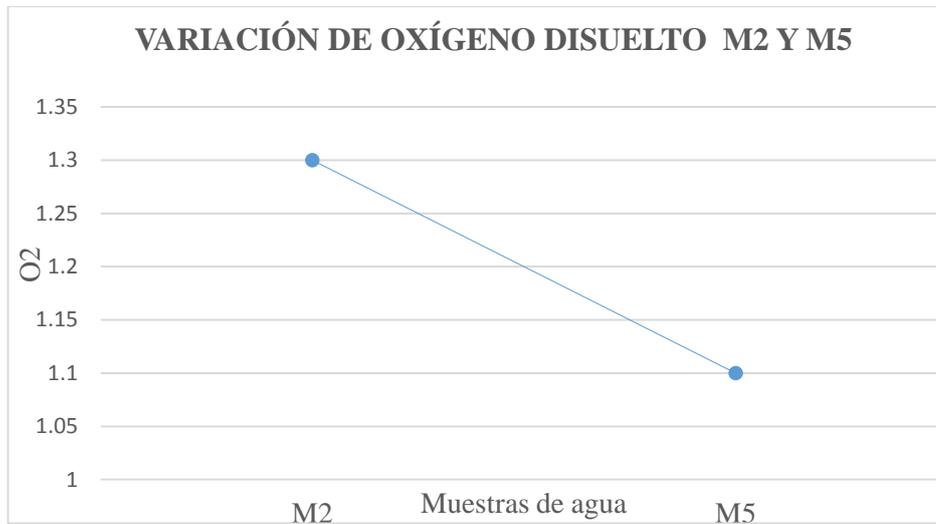


Gráfico 45. Variación de oxígeno disuelto de M2 y M5

b) Potencial de hidrógeno

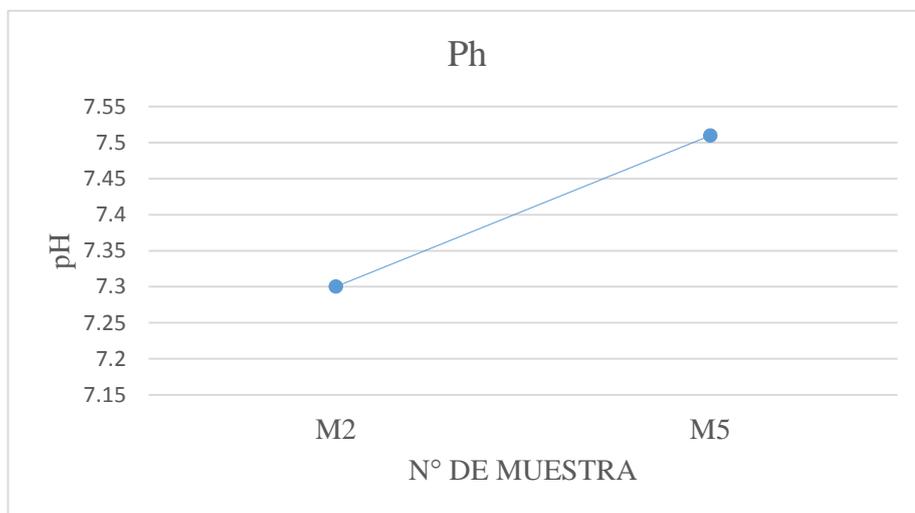


Gráfico 46. Variación de pH de M2 y M5.

c) Turbidez.

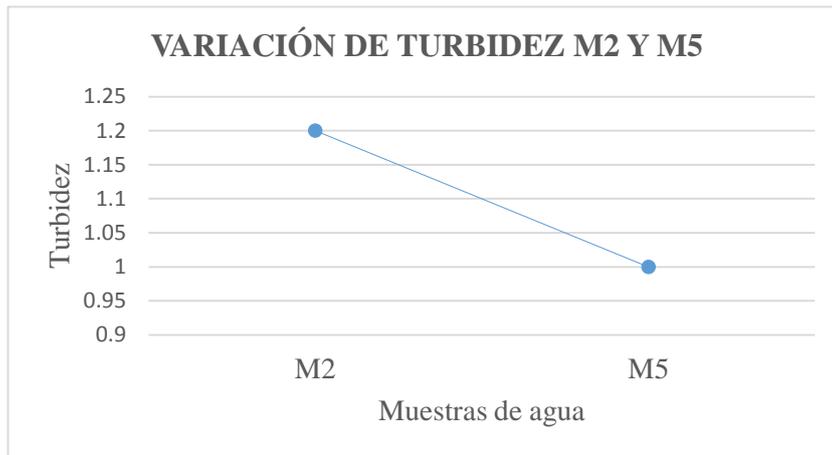


Gráfico 47. Variación de turbidez de M2 y M5

d) Conductividad eléctrica

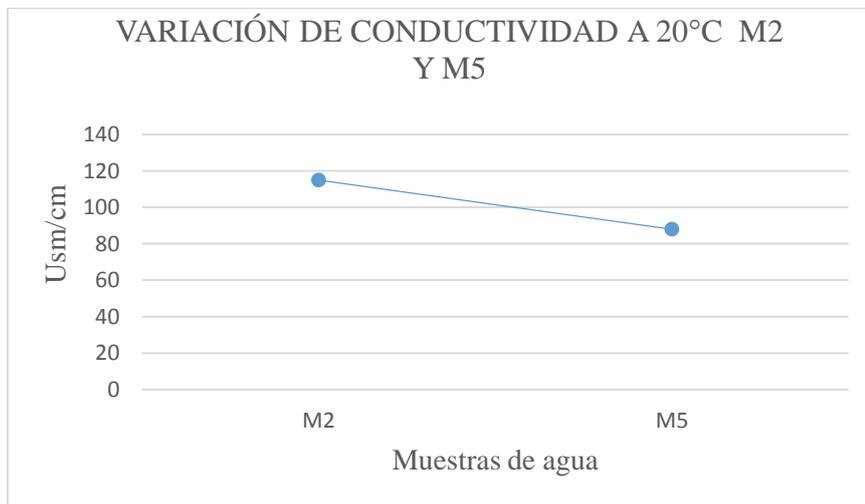


Gráfico 48. Variación de conductividad eléctrica a 20 °C M2 y M5 .

e) Sólidos totales disueltos y sólidos en suspensión

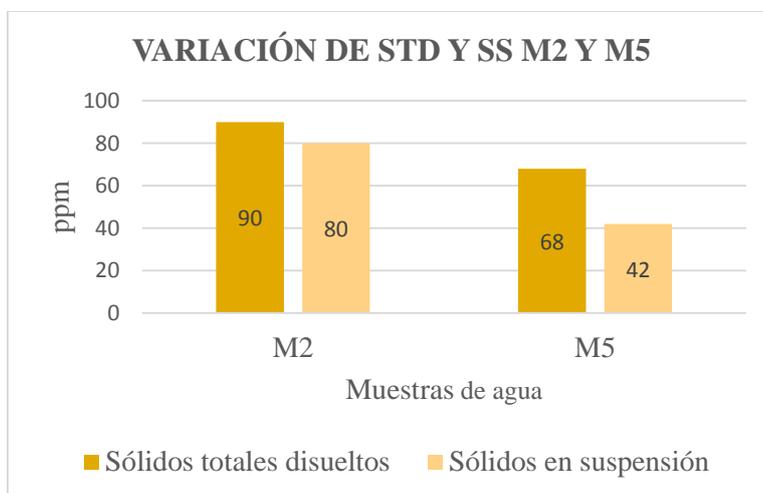


Gráfico 49. Variación de STD y SS muestras M2 y M5 .

f) Variación de iones y sales M2y M5

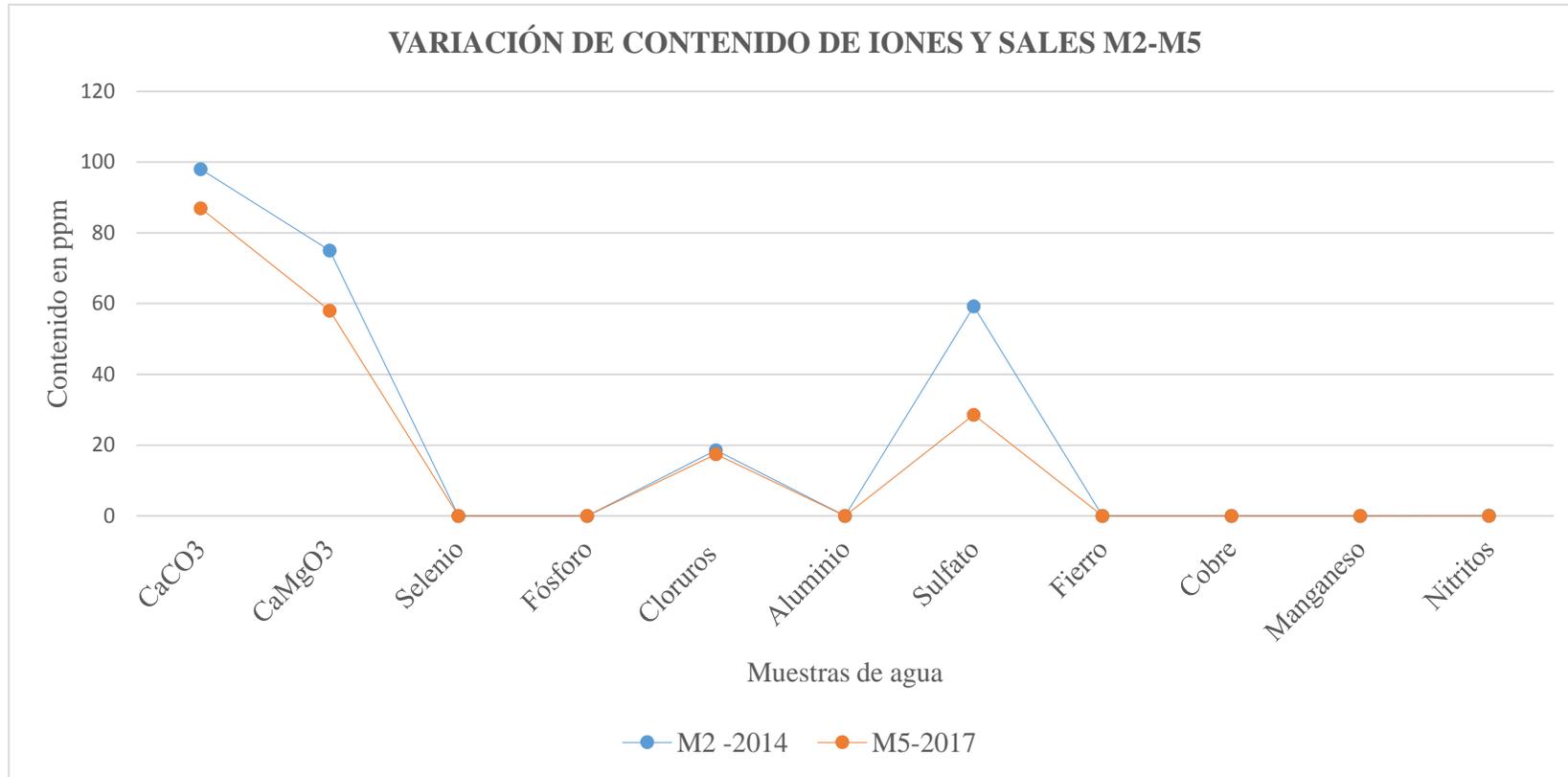


Gráfico 50.Variación de iones y sales M2 y M5 .

La concentración de sólidos totales disueltos (STD en ppm) del 2017 ha disminuido en 24.4% respecto al 2014, presentan una correlación con la conductividad eléctrica la cual ha disminuido 27 Usm / Cm. La conductividad no aumenta con la concentración de sólidos disueltos en las aguas subterráneas mineralizadas, porque la actividad iónica queda inferior a la concentración de sólidos disueltos, la elevada conductividad se debe principalmente al contenido de Ca^{+2} y $(\text{SO}_4)^{-2}$; el característico aumento de solutos sobre todo $(\text{SO}_4)^{-2}$ y Na^{+1} , reflejan mayor tiempo de permanencia en el subsuelo, mientras el cl es todavía insignificante.

Otro factor que contribuye a la variación de los parámetros es la concentración de sales. El menor porcentaje de $(\text{SO}_4)^{-2}$ proviene del intercambio iónico con las rocas durante cierto tiempo de residencia en los acuíferos y/o de poca oxidación de sulfuros. Al existir una mayor concentración de sales, hay mayor cantidad de STD en el año 2014.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los análisis fisicoquímicos de cinco muestras de agua, dos de la confluencia de aguas termales y las aguas del río Chotén, y tres de los afloramientos de aguas termales se pudo determinar que el anión dominante de las cinco muestras de agua es el sodio, y el catión dominante es el sulfato, mediante las concentraciones de todos los iones se clasificó el tipo de facie hidroquímica sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas. Así mismo los parámetros fisicoquímicos temperatura, dureza, pH, concentración de iones y sales están relacionados y varían según sus medidas y concentraciones, asignando a las aguas características según las cuales se clasifican en base a las teorías.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La clasificación de las muestras de agua según la temperatura, la M5 es agua fría, mientras que la M1 agua hipotermal; las M2, M3, M4, es hipertermal.

Las aguas del río Chotén y aguas termales M1y M5 con pH promedio de 7.3 tiene carácter básico, mientras que las aguas termales M2, M3, M4 promedio 6.4 es ácido; debido a la temperatura y concentración de sales.

La muestra M2 de aguas termales tiene mayor concentración de sólidos totales disueltos, debido a que hay sedimentos provenientes del suelo alcalino donde se encuentra el afloramiento al igual que la M1 aguas termales y aguas del río Chotén.

La conductividad de la M4 es mayor con respecto a las otras muestras por el contenido de $(SO_4)^{2-}$, la M1 presenta menor contenido de $(SO_4)^{2-}$ en comparación a la M2 que presenta menor conductividad, esto se debe a la cantidad de iones que se concentran en la muestra M1.

El suelo que fue clasificado como alcalino por la determinación de una mayor cantidad de Na^{+1} en las muestras que contienen más sedmientos provenientes de este.

La dureza de las 5 muestras cuyo rango vario de 87-92, el agua termal y las aguas del río Chotén son moderadamente duras. La dureza total varía en un rango de varía de 122-1525 ppm, siendo mayor la M1 aguas termales y aguas del río Chotén y la M2 aguas termales la menor.

La concentración de iones en las 5 muestras analizadas es $Na^{+1} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+1} > (SO_4)^{2-} > Cl^{-1} > (HCO_3)^{1-}$, siendo Na^{+1} el catión dominante y el $(SO_4)^{2-}$ el anión

dominante. El tipo de facie hidroquímica de las 5 muestras es sulfatadas y/o cloruradas cálcicas.

El contenido de sulfatos determinó que las aguas termales son aguas subterráneas profundas que según la teoría se encontrarían en una zona intermedia siendo aguas más salinas donde el anión predominante sería el $(SO_4)^{2-}$.

En el año 2014 se determinó que hubo una mayor concentración de sedimentos y sales en comparación al 2017, así mismo la concentración de sulfatos fue mayor por lo que se deduce que hubo una mayor permanencia en el acuífero.

5.2 RECOMENDACIONES.

Realizar análisis fisicoquímicos de las aguas termales y las aguas del río Chotén anuales para monitorear la variación de los parámetros fisicoquímicos.

Realizar análisis fisicoquímicos de las aguas del río Chotén para comparar la concentración de iones y parámetros fisicoquímicos con los de las aguas termales.

Realizar un estudio para determinar el posible origen de las aguas termales y sus factores condicionantes.

Las aguas termales de Yumagual del río Chotén, actualmente se encuentran afectadas por un deslizamiento que ha cubierto gran parte de la infraestructura, por lo cual se recomienda rehabilitar el área, mejorar los accesos e infraestructura para generar turismo y aportes a la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barba, LE. 2002. Conceptos Cásicos de la Contaminación del Agua y Parámetros de Medición.s.n.t.48p.
- Breña Puyol, AF;Jacobó Villa, MA. 2006.Principios y Fundamentos de la Hidrogeología Superficial. Tlalpan, México,Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana.287p.
- Composición química de las aguas subterráneas naturales. s.f. s. n. t.18p.
- Dávila Burga, J. 2011.Diccionario Geológico. Lima,Perú,INGEMMET, s.e.900p.
- Fagundo Castillo, JR. s.f. Propiedades físico-químicas de las aguas minerales y origen de su composición.s.n.t.13p.
- Fagundo Castillo, JR;Cima, A;González, P. s.f.Revisión bibliográfica sobre clasificación de las aguas minerales y mineromidecinales .s.n.t.27p.
- Generación de la composición química del agua. Relación composición química - litología. Fenómenos modificadores. s.f. s. n. t.11p.
- Gidahatari. s.f.Curso hidrogeoquímica para Dummies (diapositiva).s.n.t.67 diapositiva.Gómez, C;González,R;Viruela, Rafael. 2009.Conductividad de las disoluciones electrolíticas.s.n.t.8p.
- IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales,Bogotá). 2013. Guía Metodológica Para la Elaboración de Mapas Geomorfológicos a escala 1:100.000,Bogotá,s.e.88p.
- Martín, LA. s. f.Introducción al equilibrio ácido base.s.n.t.24p.
- Mineralización del agua:Sustancias que se encuentran disueltas en un agua natural subterránea,iones fundamentales y menores. s.f. s. n. t.11p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003.Guías para la calidad de agua potable: primer apéndice a la tercera edición.ciudad.s.n.t.408p.
- Pettijohn, FJ. 1949.Rocas Sedimentarias.4 ed.,New York,Editorial Universitaria de Buenos Aires.730p.
- Pinuaga Espejel, JI. s.f.Infraestructura Hidrotermal .s.n.t.8p.

- Rebollo, LF. s.f.Craacteristicas Fisico-quimicas de las aguas subterráneas (diapositiva). s. n. t. 20 diapositiva.
- Reyes Secades, G. 2015.Proyecto Estudio de la caracterización Fisicoquímica Microbiológica de aguas y lodos de pozos termales existentes en el país: validación de resultados finales de la caracterización fisicoquímica de 6 termales colombianos para su uso terapéutico .Venezuela.26p.
- Rojas Bustamante, O. 2006.Manual Básico para medir Caudales.s.n.t.28p.
- San Román Sanchez , JF. 2012.Diagramas de Piper.Salamanca,España, s. n. t.9p.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de muestreo de agua.

Anexo 2. Análisis fisicoquímico de muestras de agua abril del 2017.

Anexo 3. Análisis fisicoquímico de muestras de agua junio del 2014

Anexo 4. Plano de ubicación.

Anexo 5. Imagen satelital

Anexo 6. Plano geológico.

Anexo 7. Diagrama Hidroquimico Muestra M1.

Anexo 8. Diagrama Hidroquimico Muestra M2.

Anexo 9. Diagrama Hidroquimico Muestra M3.

Anexo 10. Diagrama Hidroquimico Muestra M4.

Anexo 11. Diagrama Hidroquimico Muestra M5.

Anexo 12. Diagrama Hidroquímico de muestras de agua.

