



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE LOS
BALNEARIOS QUE UTILIZAN AGUA DE ORIGEN
GEOTÉRMICO UBICADOS A LO LARGO DEL
CALLEJÓN INTERANDINO EN EL ECUADOR Y
CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SU
COMPOSICIÓN IÓNICA**

AUTORA: VIVERO BALAREZO, MARÍA TERESA

DIRECTOR: DR. CARRERA, DAVID

CODIRECTORA: ING. GUEVARA, PAULINA

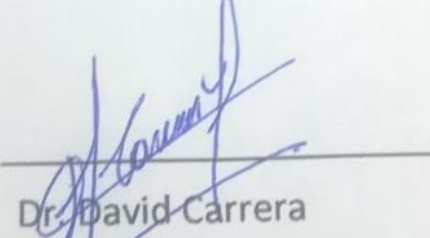
SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICADO

Certificamos que el presente proyecto titulado “Levantamiento de la información de los balnearios que utilizan agua de origen geotérmico ubicados a lo largo del callejón interandino en el Ecuador y caracterización de las aguas según su composición iónica”, fue desarrollado en su totalidad por la Srta. María Teresa Vivero Balarezo, bajo nuestra dirección.

Sangolquí, Julio de 2015



Dr. David Carrera



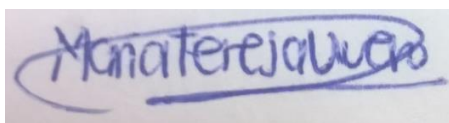
Ing. Paulina Guevara

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado “Levantamiento de la información de los balnearios que utilizan agua de origen geotérmico ubicados a lo largo del callejón interandino en el Ecuador y caracterización de las aguas según su composición iónica”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas que se incluyen en el documento y cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.

Sangolquí, Julio de 2015

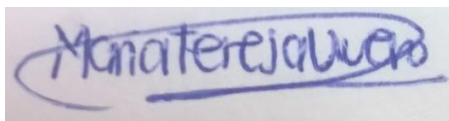


María Teresa Vivero Balarezo

AUTORIZACIÓN

Yo, María Teresa Vivero Balarezo, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el proyecto de grado titulado “Levantamiento de la información de los balnearios que utilizan agua de origen geotérmico ubicados a lo largo del callejón interandino en el Ecuador y caracterización de las aguas según su composición iónica”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Julio de 2015



María Teresa Vivero Balarezo

DEDICATORIA

Con mucho amor quiero dedicar este trabajo:

A Dios, quien ha sido el principal motor de mi vida y a la Virgen María por interceder siempre por mí y mis necesidades.

A mi papis, Wilson y Adriana, ya que sin su ayuda, ánimo, consejos, paciencia amor y confianza yo no habría podido culminar mi carrera.

A mi hermana y amiga, María Isabel, por ser quien me ha escuchado y animado cuando más lo he necesitado.

A mi prima Luciana quien con su alegría, detalles y muestras de cariño ha llegado a convertirse una personita especial en mi vida.

A Alex por apoyarme, motivarme y por estar siempre presente en todo tipo de circunstancias.

A mis amigos David, Deysi, Andre, Caro, Fer y Mishell por estar siempre dispuestos a escucharme y regalarme tantos momentos llenos de felicidad.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida y por los dones y talentos que me permiten cumplir cada objetivo que me propongo.

A mi familia por ser mi principal apoyo, compañía y guía. A mi papi, por no escatimar en nada para mi superación personal y profesional. A mi mami por ser mi compañera de camino en las buenas y menos buenas y por darme siempre el ánimo y la fuerza para seguir adelante por el buen camino. A mi hermana por ser quien escucha mis alegrías y penas. A Luciana quien ha llegado a transformar mis días con todos sus detalles.

A mi director de tesis, Dr. David Carrera, por confiar en mí, por acompañarme y guiarme durante la elaboración de este proyecto, y por responder y aclarar mis inquietudes.

A mi codirectora, Inge Pauli, por ser un apoyo incondicional, por ser una guía, por ayudarme en todo y aclarar mis inquietudes.

A Alex por apoyarme, escucharme, animarme, quererme y por ser un buen amigo con el que hemos salido adelante en varios objetivos que nos hemos propuesto.

A mis amigos David, Deysi, Dani, Daya, Raúl, Said, Andre, Fer y Mishell y a mis compañeros con quienes culminé mis estudios por ser una parte importante en esta época de mi vida, por la alegría y la solidaridad, por ayudar a que este camino sea más llevadero y lleno de experiencias inolvidables.

A todos los profesores de mi Carrera, la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, quienes con sus enseñanzas y ejemplo contribuyen para la formación de excelentes profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO I.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Identificación del problema	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. General	3
1.4.2. Específicos	3
1.5. Hipótesis	4
1.6. Metas	4
1.7. Marco Teórico	4
1.7.1. Marco Geológico.....	4
1.7.2. Hidrogeología	5
1.7.3. Aguas Termominerales.....	6
1.7.3.1. Origen de las Aguas Termominerales	6
1.7.3.2. Índice de Langelier	7
1.7.3.3. Clasificación y Tipos de Aguas Termominerales	7
1.7.4. Diagrama de Piper.....	9
1.7.5. Secuencia de Chebotarev.....	10
1.7.6. Diapiro	11
1.7.7. Importancia Terapéutica de las Aguas Mineromedicinales.....	11
1.7.8. Termalismo en el Mundo	12
1.7.9. Termalismo en Ecuador.....	13
1.7.10. Turismo Comunitario	13
CAPÍTULO II.....	14

	vii
2. Materiales y Métodos	14
2.1. Descripción del área de estudio	14
2.2. Toma de muestras de agua.	16
2.3. Métodos para el análisis de aguas.....	18
2.4. Análisis de los datos obtenidos	21
CAPÍTULO III.....	23
3. Resultados y discusión.....	23
3.1. Lugares Visitados.....	23
3.5. Distribución de frecuencia de los datos analíticos del muestreo de Aguas.....	75
3.6. Índice de Langelier en las aguas geotermales muestreadas	79
3.7. Clasificación de las aguas según los datos obtenidos	81
3.7.1. Clasificación por su Temperatura	81
3.7.2. Clasificación según su Residuo Seco Evaporado a 110°C.....	83
3.7.3. Clasificación por su composición química	85
3.7.3.1. Según los aniones y cationes	85
3.7.3.2. Según el Diagrama de Piper.....	87
3.7.4. Usos recomendables de aguas según su composición iónica para varios problemas de salud	90
3.7.4.1. Mecanismos de Acción.....	90
3.7.4.2. Vías de Administración.....	92
3.7.4.3. Principales Indicaciones	94
3.7.5. Contraindicaciones de las Aguas Termales.....	96
3.7.6. Nocividad y Toxicidad de los iones y sustancias analizadas en las muestras de aguas geotermales del Ecuador.....	99
CAPÍTULO IV.....	103
4. Conclusiones y Recomendaciones	103
4.1. Conclusiones.....	103
4.2. Recomendaciones	106
GLOSARIO DE TÉRMINOS	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de Fuentes Termiales.....	15
Tabla 2. Parámetros físico – químicos de las aguas geotermiales muestreadas	66
Tabla 3. Composición Iónica de las aguas geotermiales muestreadas	67
Tabla 4. Resultados de Nitratos, fosfatos y boro de las aguas geotermiales muestreadas	69
Tabla 5. Porcentaje de Error de los resultados analíticos.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Interpretación del Índice de Saturación de Langelier	7
Cuadro 2. Determinaciones físico – químicas para las aguas termales muestreadas	19
Cuadro 3. Porcentajes permisibles de diferencia en los resultados analíticos	21
Cuadro 4. Lugares Visitados y Muestras Recolectadas.....	23
Cuadro 5. Muestras de Agua según el Índice de Saturación de Langelier ..	80
Cuadro 6. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas según sus aniones y cationes	86
Cuadro 7. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas de acuerdo al Diagrama de Piper	89
Cuadro 8. Mecanismos de Acción de las Aguas Geotermales muestreadas	91
Cuadro 9. Principales vías de administración para aguas geotermales.....	92
Cuadro 10. Contraindicaciones de las Aguas Termales muestreadas.....	96
Cuadro 12. Nocividad y Toxicidad de los elementos analizados en las muestras de aguas geotermales del Ecuador.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escena de la Geodinámica en el Arco Ecuatoriano.....	5
Figura 2. Diagrama de Piper	10
Figura 3. Secuencia de Chebotarev.....	11
Figura 4. Ubicación de los Puntos de Muestreo de Agua Termal en Ecuador	14
Figura 5. Toma de la Muestra	17
Figura 6. Etiquetado e identificación de las muestras y toma de temperatura	18
Figura 7. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia del Carchi	25
Figura 8. Balneario "La Calera"	26
Figura 9. Gruta de la Paz	27
Figura 10. Paluz.....	28
Figura 11. La Frontera - Rumichaca	29
Figura 12. Los Tres Chorros	30
Figura 13. Complejo Turístico Tufiño	31
Figura 14. Complejo Eco Turístico Aguas Hediondas.....	32
Figura 15. San Miguel de Car	33
Figura 16. El Puetate	34
Figura 17. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Imbabura.....	35
Figura 18. Complejo Recreativo Termas de Nangulví	36
Figura 19. Piscinas "Las Lagartijas"	37
Figura 20. Bosque Portector "Cascada de Peguche"	38
Figura 21. Santagua Termas de Chachimbiro	39
Figura 22. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Pichincha	40
Figura 23. Balneario "El Pisque"	41
Figura 24. Balneario Municipal Cununyacu	42
Figura 25. Balneario Municipal El Tingo	43
Figura 26. Termas La Merced.....	44
Figura 27. Complejo Urauco	45

Figura 28. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia del Napo	46
Figura 29. Termas Oyacachi.....	47
Figura 30. Termales Jamanco	48
Figura 31. Complejo Turístico Santa Catalina	49
Figura 32. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Cotopaxi.....	50
Figura 33. Balneario Nagsiche.....	51
Figura 34. Balneario Aluchán.....	52
Figura 35. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Tungurahua.....	53
Figura 36. Complejo Turístico Reina del Rosario.....	54
Figura 37. Termas de la Virgen.....	55
Figura 38. Balneario El Salado	56
Figura 39. Complejo Municipal Guapante.....	57
Figura 40. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Chimborazo.....	58
Figura 41. Parque Acuático Los Elenes.....	59
Figura 42. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Cañar	60
Figura 43. Balneario Termal Virgen de las Nieves.....	61
Figura 44. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Azuay	62
Figura 45. Hostería Durán	63
Figura 46. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de El Oro.....	64
Figura 47. Agua Caliente Portovelo	65
Figura 48. Mapa de Concentraciones de Fosfatos en las muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador	70
Figura 49. Mapa de Concentraciones de Boro en las muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador	70
Figura 50. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a la Concentración de Aniones de las muestras de aguas geotermales	72

Figura 51. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a la Concentración de Cationes de las muestras de aguas geotermales	73
Figura 52. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a STD (8 iones) de las muestras de aguas geotermales	74
Figura 53. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a STD (RSE) de las muestras de aguas geotermales	74
Figura 54. Distribución de frecuencias con respecto a la Temperatura de las muestras de aguas geotermales.....	75
Figura 55. Distribución de frecuencias con respecto al pH de las muestras de aguas geotermales	76
Figura 56. Distribución de frecuencias con respecto a la Conductividad Eléctrica de las muestras de aguas geotermales.....	77
Figura 57. Distribución de frecuencias con respecto al RSE o STD de las muestras de aguas geotermales.....	78
Figura 58. Distribución de frecuencias con respecto al RSC de las muestras de aguas geotermales	79
Figura 59. Mapa del Índice de Saturación de Langelier de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador	81
Figura 60. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas según su Temperatura	82
Figura 61. Mapa de la Clasificación según la Temperatura de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador	83
Figura 62. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas según el RSE	84
Figura 63. Mapa de la Clasificación según el RSE a 110°C de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador	85
Figura 64. Mapa de la Clasificación según aniones y cationes de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador.....	87
Figura 65. Diagrama de Piper de las 34 muestras de aguas geotermales ..	88
Figura 66. Mapa de la Clasificación según el Diagrama de Piper de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador.....	90

RESUMEN

La actividad volcánica en el Ecuador es el resultado del proceso de subducción de la Placa de Nazca y la Placa de América del Sur. En el país existen alrededor de 60 volcanes activos o potencialmente activos. Debido a esta actividad volcánica Ecuador posee una extensa y variada riqueza de fuentes geotermales. Esta investigación tiene como propósito levantar información físico - química para clasificar a estas aguas geotermales según su composición iónica e interpretar los beneficios que estas traen a la salud de los usuarios. Los valores de temperatura obtenidos variaron entre 18°C y 62°C, los de pH entre 4.96 y 8.3, los valores de Conductividad Eléctrica entre 166.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 20220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los valores de RSE o STD entre 208 y 11208 mg/L. Aguas como las de Guapán, Jamanco, El Salado (vertiente), El Salado (piscina), La Virgen, Oyacachi, Cunuyacu (Tungurahua), Chachimbiro 1, Chachimbiro 2 y Baños de Cuenca llaman la atención para la elaboración de nuevas investigaciones por sus altos valores en Temperatura, Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos. En su mayoría las aguas muestreadas son Bicarbonatadas Magnésicas o Cálcicas, se menciona que este tipo de aguas subterráneas son de poca profundidad y esto se comprueba al ver que estas aguas poseen temperaturas bajas. También se observa que existen aguas Cloruradas las cuales pueden corresponder a acuíferos antiguos y los valores de su temperatura son altos. Esta investigación pone en manifiesto la importancia que tiene el recurso hídrico geotermal en el Ecuador. Las aguas de origen geotermal poseen varias propiedades preventivas y curativas, pero siempre es importante tomar en consideración las distintas contraindicaciones que estas poseen.

PALABRAS CLAVES:

- **AGUAS SUBTERRÁNEAS**
- **TURISMO COMUNITARIO**
- **HIDROTERAPIA**
- **HIDROGEOLOGÍA**
- **CONCENTRACIONES ALTAS**

ABSTRACT

The Volcanic activity in Ecuador is the result of subduction of the Nazca Plate and South American Plate. This country has about 60 active or potentially active volcanoes. Thanks to this volcanic activity Ecuador has a vast and varied wealth of geothermal sources. This research aims to collect physical - chemistry information to classify these geothermal waters by ionic composition and publicize the benefits that these bring to the health of the users. The temperature values obtained, vary between 18°C and 62°C, the pH is between 4.96 and 8.3, the values of electrical conductivity of 166.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 20220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the Total Soluble Solids values are between 208 and 11208 mg / L. Waters such as Guapán, Jamanco, El Salado (slope), El Salado (pool), La Virgen, Oyacachi Cunuyacu (Tungurahua), Chachimbiro 1 Chachimbiro 2, y Baños de Cuenca attract attention to the development of new research for their high values in Temperature, Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. Mostly sampled waters are magnesium or calcium bicarbonates, mentioned that this type of groundwater is shallow and it is checked to see that these waters have low temperatures. It is also noted that there Chloride waters which may correspond to ancient aquifers and temperature values are high. This investigation demonstrated the importance of geothermal water resources in Ecuador. Geothermal water source have several preventive and curative properties, but it is always important to consider the various contraindications that these possess.

KEYWORDS:

- **GROUNDWATER**
- **COMMUNITY TOURISM**
- **HYDROTHERAPY**
- **HYDROGEOLOGY**
- **HIGH CONCENTRATION**

CAPITULO I

1. Generalidades

1.1. Antecedentes

El agua, como fuente de vida, como medicina y como placer, halla su consagración desde la más remota antigüedad. Casi todas las religiones primitivas ven en el elemento agua, una divinidad dispensadora de bienes y de salud. El uso sistematizado del agua, con base de principios científicos tardó mucho en desarrollarse, y la “Hidroterapia” como la rama de la Medicina Natural u homeopática, tiene que esperar la llegada del siglo XVII, para empezar a difundirse y explicarse en forma racional (Muñoz, 1949).

Barrionuevo (2004) menciona que las aguas termales, desde el punto de vista médico, son aguas que se diferencian del agua corriente por sus definidas acciones, ocasionadas por ciertas propiedades físicas, fisicoquímicas o químicas obtenidas en su recorrido a través de las aguas subterráneas. También hace referencia a los diferentes cronistas e historiadores, los mismos que certifican que en tiempo de los Incas se tenían señalados lugares donde recibían los servicios de las aguas termales. Indica también que el uso del agua, en especial el uso de aguas minero termales tienen larga data, y tales usos fueron enriquecidos con la llegada de la cultura castellana desde la época de la conquista y la propia etapa republicana.

El desarrollo turístico en países en vías de desarrollo como los de Latinoamérica, han optado por un comportamiento totalmente diferente al del resto del mundo, este comportamiento busca nuevas alternativas de diversificación turística como el termalismo y el turismo de salud. Moreno (2006), en su tesis afirma que: “El turismo de salud en el Ecuador es una de las principales motivaciones para viajar, turistas nacionales como extranjeros buscan no sólo recreación, sino también beneficios curativos como el que proporcionan las aguas termales”. En el Ecuador existe una gran cantidad de lugares en donde se encuentran estas aguas termales, también conocidas como aguas minero termales; estos lugares reciben el nombre de balnearios, los mismos que acogen cientos de turistas al año.

1.2. Justificación

Ecuador posee una enorme y variadísima riqueza de fuentes termominerales debido a la intensa actividad volcánica existente en Los Andes. Esta riqueza aún no es lo suficientemente conocida ni estudiada, y es por eso que uno de los objetivos primordiales del libro “Aguas minerales del Ecuador y nociones de Hidrología General”, es llamar la atención hacia nuevas y más complejas investigaciones. De la riqueza hidromineral que posee el Ecuador solo se sabe muy pocas cosas sobre sus aplicaciones, historia e importancia. (Muñoz, 1949).

En la actualidad, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en su afán de investigar e inventariar los recursos hídricos del Ecuador entregó una publicación titulada “Aguas Termominerales en el Ecuador”. Esta publicación habla sobre el termalismo en el país, el cual sintetiza y clasifica las fuentes inventariadas por provincia, con énfasis en parámetros físico – químicos, pero cabe recalcar que no menciona las aplicaciones e importancia de cada una en relación con la salud y el turismo de forma detallada (INAMHI, 2013) lo que ésta trabajo si abordará.

El Plan Nacional del Buen Vivir (2013 – 2017), entre sus objetivos, busca beneficiar a la sociedad por medio del cambio de la matriz productiva. El Objetivo 10, Política 10.3 de este plan menciona que se debe impulsar y posicionar el turismo a nivel nacional e internacional, por medio del desarrollo de un turismo ético, responsable e incluyente; y este trabajo busca promocionar turísticamente a los balnearios, en su mayoría comunitarios, ya que alrededor del 39% (es decir la mayoría) de los balnearios visitados son de este tipo.

1.3. Identificación del problema

En Ecuador existen escasas fuentes de información secundaria referentes a las aguas de origen geotérmico. Es importante mencionar que gran parte de la información que está disponible fue recolectada hace varios años y se encuentra de cierto modo incompleta. Para la elaboración de este trabajo se dispone de dos libros que contienen información de gran utilidad. El libro del autor Muñoz (1949), posee información de la década del 50 del

siglo pasado, es decir, dispone de información desactualizada, mientras que el libro del INAMHI (2013), muestra solamente los resultados de los análisis, más no una interpretación detallada de los mismos.

El presente estudio busca desarrollar un enfoque con temas relacionados con el turismo de salud, lo cual promoverá el desarrollo turístico e informativo de las personas que visitan los balnearios que utilizan aguas de origen geotérmico y que se encuentran a lo largo del callejón interandino en Ecuador. También este estudio desea promover e impulsar el desarrollo turístico de distintas comunidades a las cuales pertenecen la mayoría de estos balnearios.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Levantar la información de los balnearios que utilizan aguas de origen geotérmico ubicados a lo largo del callejón interandino en el Ecuador, mediante la determinación de parámetros físicos y químicos, para que los usuarios conozcan las propiedades medicinales que poseen estas aguas y los problemas de contaminación existentes.

1.4.2. Específicos

- Localizar los complejos turísticos ubicados a lo largo del callejón interandino del Ecuador que utilizan aguas de origen geotérmico.
- Determinar los parámetros físicos y químicos : pH, conductividad eléctrica (CE), Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , B^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} (para aguas con pH > 8.2), Residuo Seco Evaporado (RSE), Residuo Seco Calcinado (RSC) en las aguas geotermiales del callejón interandino en el Ecuador.
- Caracterizar las aguas y clasificarlas de acuerdo a los datos obtenidos referentes a contenido de sales solubles.
- Analizar los beneficios de las aguas en la salud de las personas de acuerdo a su composición y verificar si estas presentan problemas de contaminación.
- Promover el turismo de salud en los 34 balnearios que utilizan agua de origen geotérmico y que están ubicados a lo largo del callejón

interandino, para que las personas conozcan los beneficios de las diferentes clases de aguas de acuerdo a su composición.

1.5. Hipótesis

El 100% de los balnearios monitoreados en el callejón interandino del Ecuador tiene excelentes propiedades para la salud de sus usuarios

1.6. Metas

- Libro informativo de los complejos turísticos ubicados a lo largo del callejón que interandino del Ecuador que utilizan agua de origen geotermal con la información de los análisis de aguas obtenidos de cada balneario y posibles usos medicinales.
- Mapas de ubicación por provincia de los 34 balnearios seleccionados a escala 1:500.000.
- Resultados de análisis de laboratorio de los 34 balnearios

1.7. Marco Teórico

1.7.1. Marco Geológico

Tarbuck y Lutgens (2005) mencionan que nuestro planeta se caracteriza por ser un cuerpo dinámico compuesto por varias partes que interactúan entre sí. Los principales rasgos geológicos de la Tierra como los continentes, montañas, y cuencas oceánicas fueron generados debido a mecanismos de subducción y expansión del fondo oceánico. La geodinámica del Ecuador se encuentra controlada por la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa de América del Sur. Una característica geomorfológica interesante de este sistema de subducción es la presencia de la Cordillera de Carnegie, que es el producto de la ininterrumpida interacción entre la Placa de Nazca y sobre el punto caliente de Galápagos. (Inguaggiato, Hidalgo, Beate, y Bourquin, 2010) (Fig.1).

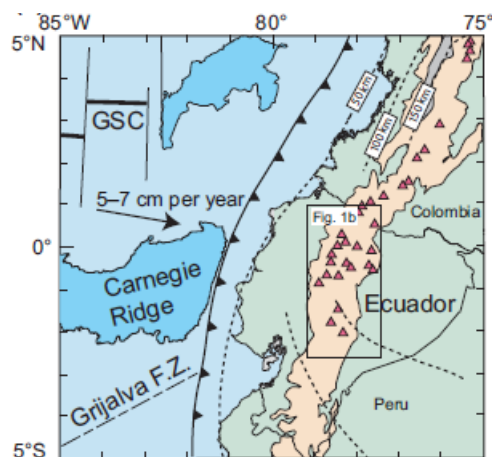


Figura 1. Escena de la Geodinámica en el Arco Ecuatoriano.

Fuente: (Inguaggiato *et al.*, 2010)

La Cordillera de los Andes en Ecuador consta de dos cordilleras paralelas, la Cordillera Occidental en el oeste y la Cordillera Real en el este, separadas por la depresión casi plana Interandina. La Cordillera Occidental se compone principalmente de rocas volcánicas básicas e intermedias, emplazado en el entorno submarino y cubierto por depósitos de turbiditas discontinuas, mientras que la cordillera oriental se compone de rocas intrusivas y sedimentarias metamorfoseadas. La Depresión Interandina es una estructura tensional de importancia regional, limitada por fallas activas normales y llenas de depósitos volcánicos sedimentarios que pueden alcanzar un espesor de varios miles de metros. (Aguilera *et al.*, 2005).

La Región Interandina posee excelentes balnearios de aguas de origen termal, estas fuentes de agua provienen de la intensa actividad volcánica de los Andes, la diversidad de formaciones geológicas y la abundancia de precipitaciones atmosféricas en presentes en el territorio ecuatoriano (Benalcázar, 1981).

1.7.2. Hidrogeología

Custodio y Llamas (2001) dicen que el término Hidrogeología puede hacer referencia a un estudio geológico para investigación de las aguas subterráneas. También exponen que la Hidrogeología o Hidrología Subterránea es una parte de la Hidrología que corresponde al

almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus formas de actuar con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

1.7.3. Aguas Termominerales

Un agua mineral es aquella que ha surgido del suelo y que debido a sus propiedades físicas y químicas se le atribuye aplicaciones terapéuticas o medicinales motivo por el cual también se las conoce como aguas mineromedicinales. Gran parte de las aguas minerales son al mismo tiempo termales; estas aguas termales se encuentran en las capas profundas de la corteza terrestre, bajo ciertas condiciones de temperatura, fuerza y cantidad que pueden ser constantes (Muñoz, 1949).

1.7.3.1. Origen de las Aguas Termominerales

Las teorías del origen del termalismo son variadas, es por eso que Muñoz (1949), propone la siguiente clasificación:

- Origen vadoso o geotermal, en la infiltración de las aguas lluvias y aguas superficiales (ríos, lagos, torrentes) forman “venas líquidas” en la red de fisuras que presenta internamente la litósfera, y una vez acumuladas y debido a condiciones bajas de presión y temperatura estas ascienden rápidamente conservando su calor hasta la superficie. La temperatura va a ser más alta mientras más profundo sea el lecho del que provenga.
- Origen profundo o juvenil, este tipo de aguas se forman a expensas de exhalaciones gaseosas de los magmas internos, los mismos que contienen hidrógeno y oxígeno; con esto se puede explicar la existencia de muchas fuentes de aguas termominerales en zonas volcánicas.
- Origen mixto, es decir las aguas geotermales pueden provenir de una mezcla que en ciertas ocasiones es proporcional de “agua de origen juvenil” y “agua de origen vadoso”.

En el libro del INAMHI (2013) se menciona que la mineralización de las aguas subterráneas termales tienen solamente un doble origen, en donde el

origen exógeno que establecen estos autores, tiene las características del origen vadoso o geotermal que se explicó anteriormente; mientras que el segundo origen que proponen los autores es el origen endógeno el mismo que tiene las características del origen profundo o juvenil.

1.7.3.2. Índice de Langelier

El Índice de Saturación de Langelier (ISL) es un índice que sirve para conocer el carácter incrustante o agresivo del agua. Gracias a este índice se puede controlar la incrustación o corrosión en las redes de distribución de agua para instalaciones domésticas o de lugares como balnearios y piscinas en donde es común el uso de este recurso. El índice de Langelier se calcula con la siguiente ecuación:

$$ISL = pH - pH_s$$

En donde,

ISL = Índice de Saturación de Langelier

pH = Valor del pH de la Muestra de Agua

pH_s = pH calculado de la saturación del CaCO₃

En el Cuadro 1 se muestra la interpretación de este índice:

Cuadro 1. Interpretación del Índice de Saturación de Langelier

ISL	Interpretación
-2.0 a -0.5	Corrosión Severa
-0.5 a 0	Corrosión leve pero sin formación de incrustaciones
0	Equilibrada pero posible corrosión leve
0 a 0.5	Formación leve de incrustaciones y corrosiva
0.5 a 2.0	Formación de incrustaciones pero no corrosiva

Fuente: Carrier (1965) citado por Rafferty (1999).

1.7.3.3. Clasificación y Tipos de Aguas Termominerales

Las agua termominerales pueden clasificarse de diferentes maneras, según el criterio de clasificación que se desee tomar. Los textos tienen ciertas similitudes para clasificar a las aguas termominerales, es así que

INAMHI (2013), presenta varias clasificaciones las mismas que se encuentran resumidas a continuación:

- Clasificación Geológica – Genética, en donde, a las aguas subterráneas se las clasifica en: Agua Meteórica (agua que en tiempos recientes ha formado parte del ciclo hidrológico), Agua Congénita (estuvieron fuera del contacto con la atmósfera durante millones de años), Agua Metamórfica (estuvieron en contacto con rocas durante su metamorfismo), Agua Magmática (se originaron en el interior de los magmas de poca profundidad), Agua Plutónica (se originaron en el interior de los magmas a grandes profundidades) y Agua Juvenil (las que no se formaron ni estuvieron en contacto con la atmósfera).
- Clasificación por su temperatura, INAMHI (2013) menciona que para clasificar las aguas en dependencia de su temperatura es necesario considerar la temperatura media anual o la temperatura del suelo en que emerge el manantial, y se clasifica de la siguiente manera: Frías (menos de 20°C), Hipotermales (entre 20°C y 30°C), Termales (entre 30°C y 40°C) e Hipertermales (más de 40°C).
- Clasificación por su composición química, para caracterizar las aguas según su composición química existen dos criterios que se mencionan en este libro:

Kurlov: toma en consideración a los aniones y cationes que exceden el 20% meq/l. Con relación a los aniones las aguas termominerales pueden ser: bicarbonatadas, sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas sulfatadas, bicarbonatadas cloruradas, sulfatadas cloruradas y sulfatadas cloruradas bicarbonatadas. Mientras que con relación a los cationes estas aguas pueden ser: cálcicas, magnésicas, sódicas, cálcicas magnésicas, cálcicas sódicas, magnésicas sódicas y cálcicas magnésicas sódicas.

Souline: establece relaciones para poder clasificar a las aguas en: sulfatada – sódica ($\text{Na}^+ - \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} < 1$), bicarbonatada – sódica ($\text{Na}^+ - \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} > 1$), clorurada – magnésica ($\text{Cl}^- - \text{Na}^+ / \text{Mg}^{++} < 1$), y clorurada – cálcica ($\text{Cl}^- - \text{Na}^+ / \text{Mg}^{++} > 1$).

- Clasificación por su salinidad, la conductividad eléctrica se relaciona directamente con el contenido de sólidos totales disueltos ($\text{STD}_{(\text{ppm})} =$

$CE_{(\mu\text{s}/\text{cm})} * 0.64$). De este modo se tiene que las aguas pueden clasificarse por su salinidad en Baja Salinidad ($STD_{(\text{mg}/\text{l})}$ de 0 a 160), Salinidad Media ($STD_{(\text{mg}/\text{l})}$ de 160 a 480), Salinidad Alta ($STD_{(\text{mg}/\text{l})}$ de 480 a 1440) y Salinidad muy Alta ($STD_{(\text{mg}/\text{l})}$ mayor a 1440).

Para Maraver *et al.* (2003), en el Vademécum de Aguas Mineromedicinales Españolas las aguas termominerales pueden clasificarse según:

- Su Residuo Seco Evaporado (RSE) o Sólidos Totales Disueltos (STD) a 110°C en: Oligometálicas para aguas con valores inferiores a 100 mg/L, de Mineralización muy débil cuando los valores van entre 100 y 250 mg/L, de Mineralización débil para valores de 250 a 500 mg/L, de Mineralización Media cuando los valores están entre 500 y 1000 mg/L, y de Mineralización fuerte para valores superiores a 1000 mg/L.
- Según su composición química basada en el contenido aniónico y catiónico predominante y especial: Aguas con más de 1 g/L de sustancia mineralizante (Cloruradas, Sulfatadas y Bicarbonatadas), con factores mineralizantes especiales (Sulfuradas, Ferruginosas, Radiactivas y Carbogaseosas) y con mineralización inferior a 1 g/L.

1.7.4. Diagrama de Piper

El manejo y estudio de los análisis químicos se pueden simplificar con el uso de gráficos y diagramas, de preferencia si se desea comparar varios análisis de aguas de diferentes épocas o lugares. Cuando el objetivo es resaltar la composición iónica de un agua para compararla con otras aguas se recomienda el uso de diagramas (Custodio y Llamas, 2001).

Custodio y Llamas (2001) explican que los diagramas de Piper suelen ser los más utilizados ya que permiten establecer una clasificación de las aguas en función de sus componentes mayoritarios ya que incluyen dentro de su representación a los aniones y los cationes de forma simultánea. Este tipo de diagramas combina tres campos de dibujo conformados por: dos triángulos equiláteros separados, para representar los aniones y los cationes, y un rombo en donde se representa un tercer punto deducido de

los aniones y cationes (Fig. 2). Este tipo de diagramas no se caracterizan por representar las concentraciones absolutas de los iones, ya que utilizan los valores de las concentraciones en meq/L reducidos a porcentaje. Sin embargo, este tipo de diagramas sirven para descubrir las relaciones más importantes con facilidad.

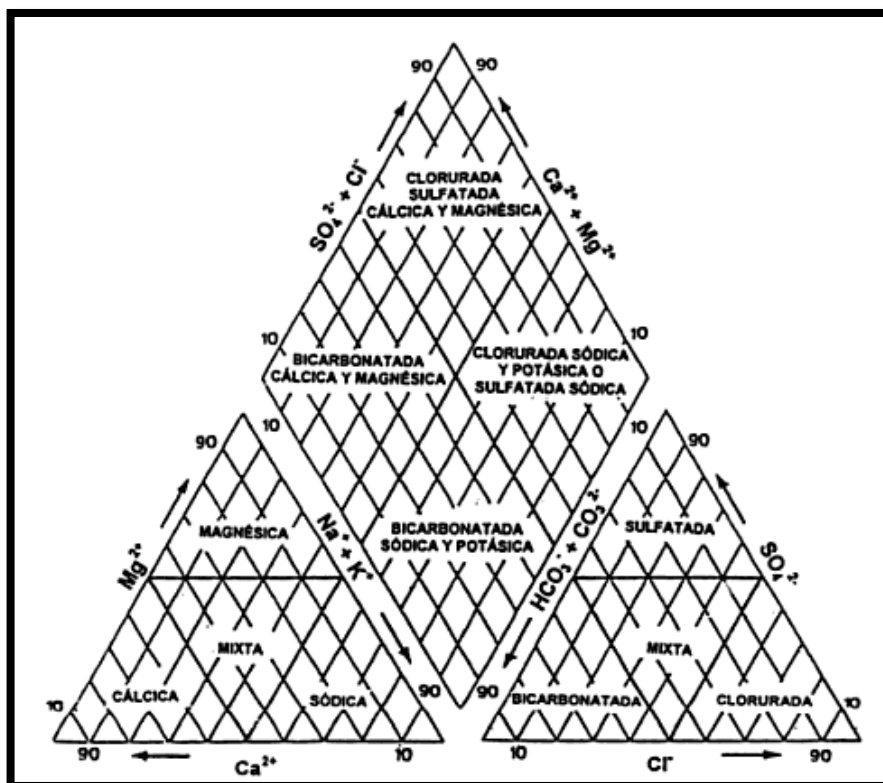


Figura 2. Diagrama de Piper

Fuente: (Rodríguez, 2000)

1.7.5. Secuencia de Chebotarev

Sánchez (2012) hace referencia al hecho de que la evolución química del agua dependerá de los minerales con los que entre en contacto y de la duración de dicho contacto. También menciona que existe una norma general que dice que a mayor tiempo de permanencia en el terreno, mayor va a ser la salinidad del agua. El mismo autor explica que existe un tipo de evolución geoquímica del agua denominada Secuencia de Chebotarev (Fig. 3) que dice 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. En la composición catiónica

la secuencia análoga es: $\text{Ca}^{++} \rightarrow \text{Mg}^{++} \rightarrow \text{Na}^+$, pero no es tan clara y es mayor el número de excepciones.

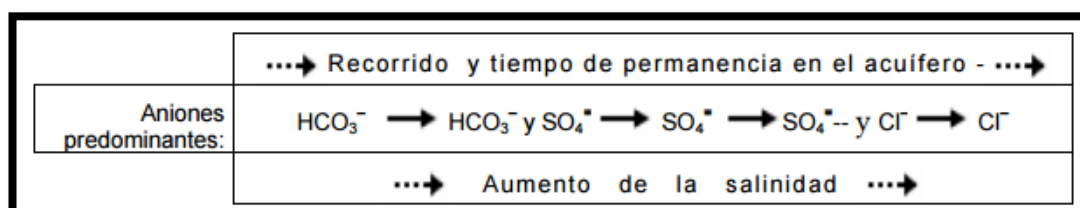


Figura 3. Secuencia de Chebotarev

Fuente: (Sánchez, 2012)

La secuencia de Chebotarev por lo general se debe a dos causas: solubilidad y abundancia. Como ya se mencionó anteriormente, la salinidad aumenta con el tiempo de permanencia del agua en el terreno, razón por la cual, la solubilidad de los bicarbonatos es más baja que la de los sulfatos, que a su vez, son menos solubles que los cloruros. Con respecto a la abundancia, se menciona la probabilidad que existe para que un agua encuentre minerales que le aporten bicarbonatos, sulfatos o cloruros. Es así que si un agua está en contacto con minerales desde su infiltración, no se producirá la Secuencia de Chebotarev (Sánchez, 2012).

1.7.6. Diapiro

Los diapiros son estructuras geológicas intrusivas, formadas por masas de evaporitas como sales, anhidrita y yeso. Proceden de niveles estratigráficos sometidos a gran presión y ascienden por las capas sedimentarias de la corteza terrestre, atravesándolas y deformándolas. Este tipo de ascensos puede ocasionar daños en construcciones. La forma del diapiro va a depender del ambiente tectónico: en regiones de baja intensidad tectónica los diapiros tienen formas de hongo, mientras que en zonas de mayor actividad tectónica son diques más estrechos (IES Villalba Hervás, 2011).

1.7.7. Importancia Terapéutica de las Aguas Mineromedicinales

El agua dependiendo de la estructura y sustancias que porta en disolución o en suspensión puede cumplir funciones en actividades vitales,

como en este caso, en actividades terapéuticas y/o preventivas. El mecanismo de acción de estas aguas mineromedicinales se relaciona principalmente con la consecuencia directa de mineralización, vía de administración, y con la capacidad de respuesta a estímulos. Estas aguas por lo general poseen propiedades curativas y preventivas, actuando como analgésicas, estimulantes sobre funciones orgánicas y metabólicas, antiácidas, purgantes, cicatrizantes, reguladoras de secreciones, estimulantes de la circulación sanguínea y linfática, relajantes, sedantes, diuréticas o digestivas, antialérgicas, entre otras propiedades (Maraver *et al.*, 2003).

1.7.8. Termalismo en el Mundo

Según Maraver *et al.* (2003), en el siglo XIX los tratamientos termales y climáticos se convierten en remedios importantes para el tratamiento de algunas enfermedades. Y es así que hasta la primera guerra mundial, el termalismo adquiere un auge en toda Europa como método terapéutico e higiénico. A partir de la primera, y sobre todo la segunda guerra mundial surge una evolución del termalismo en países europeos y también en los anglosajones, en donde se crearon una gran mayoría de comunidades científicas de hidrología médica y climatología. En la actualidad, en Europa y varios países del mundo se mantiene el termalismo como un medio terapéutico reconocido por los organismos sanitarios y el cual ha pasado a formar parte de las principales opciones que tienen las personas y que se relacionan con la salud.

Pantoja y Gómez (2000) dicen que los estudios de geotermia en México se han enfocado en estudios de manantiales y géiseres para usos turísticos y terapéuticos. Barrionuevo (2004), hace referencia el desarrollo del termalismo en países en vías de desarrollo y particularmente en Latinoamérica el cual ha seguido un curso diferente al comportamiento mundial, pues en países como el Perú, el turismo ha tenido que adaptarse a una diversificación, otorgando a la sociedad un producto turístico diferente. De esta manera, el termalismo y la salud constituyen una nueva alternativa de diversificación turística.

1.7.9. Termalismo en Ecuador

La intensa actividad volcánica de Los Andes, la diversidad de formaciones geológicas y la abundancia de precipitaciones atmosféricas en el Ecuador han dado lugar a la formación de fuentes termominerales, las mismas que se encuentran distribuidas en toda la extensión del territorio (Muñoz, 1949). En el libro del INAMHI (2013), menciona que en el país se han identificado una serie de fuentes termominerales, las mismas que son manejadas por gobiernos locales para el desarrollo del turismo terapéutico en las diferentes zonas.

1.7.10. Turismo Comunitario

Según De la Torre (2010) el turismo comunitario se caracteriza porque las comunidades rurales se encargan de por lo menos una parte de esta actividad y por ende reciben una parte de sus beneficios económicos. Ésta es una de las estrategias de conservación más aplicadas en Ecuador y otros países tropicales. El turismo comunitario por lo general es un vehículo que sirve para proteger el hábitat y la naturaleza en sí, razón por la cual se enmarca dentro de los objetivos del Plan del Buen Vivir al turismo como un sector estratégico.

CAPÍTULO II

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del área de estudio

Para la ejecución del presente proyecto, se recolectaron muestras de agua de 34 fuentes termales. Estas 34 fuentes se encuentran ubicadas a lo largo del callejón interandino en Ecuador como se observa en el mapa (Fig. 4). Estos puntos se seleccionaron con el objetivo de monitorear concentraciones altas observadas en el libro del INAMHI (2013), de ciertas fuentes termominerales de diferentes provincias del país, y analizar así las distintas contraindicaciones y beneficios que conllevan éstas a la salud de las personas, de cierto modo esto será de influencia en aspectos como el turismo de salud.

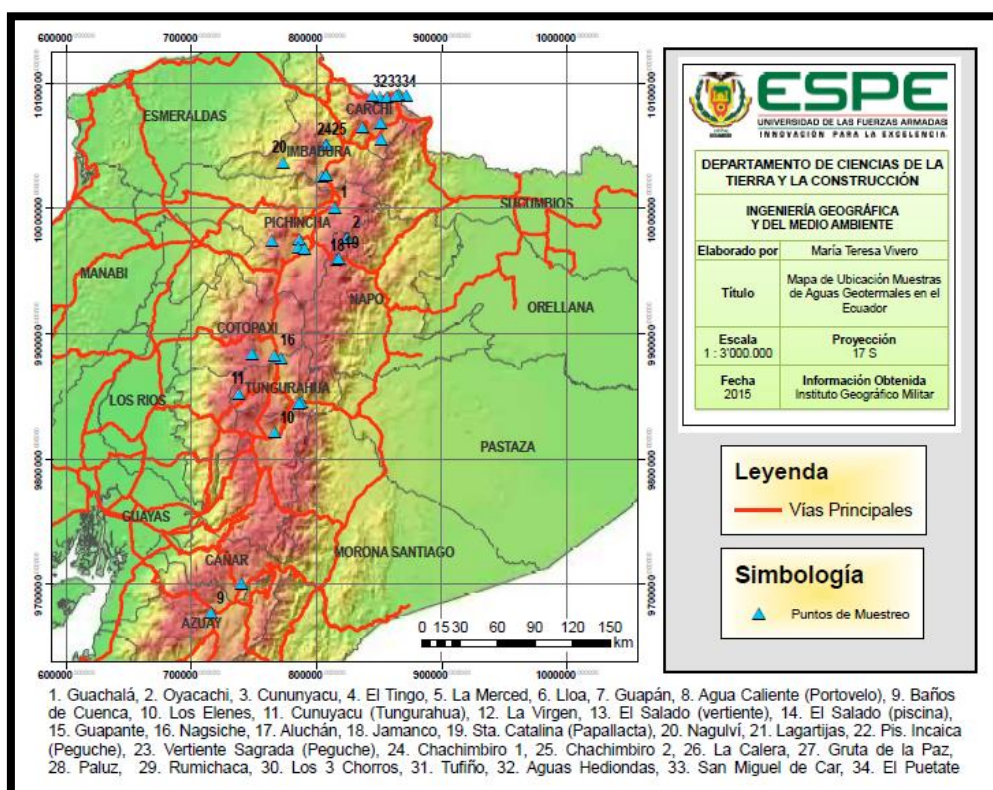


Figura 4. Ubicación de los Puntos de Muestreo de Agua Termal en Ecuador

Para establecer estas 34 fuentes también se consideró que sean balnearios o lugares turísticos que utilicen agua de origen geotermal ya que se tomaron muestras del agua que sale directamente a los balnearios para

que una vez obtenidos los datos de los análisis correspondientes, se pueda estudiar las propiedades medicinales que estas aguas poseen. El listado de los balnearios ubicados en el mapa anterior, se muestra a continuación en la Tabla 1 la misma que cuenta con las respectivas coordenadas de cada lugar y la provincia a la que pertenecen:

Tabla 1. Listado de Fuentes Termales

Muest.	Nombre	Zona	Este	Norte	Provincia
1	Guachalá	17N	814093	10000735	Pichincha
2	Oyacachi	17S	824139	9976126	Napo
3	Cununyacu	17S	785965	9974556	Pichincha
4	El Tingo	17S	785053	9968292	Pichincha
5	La Merced	17S	790013	9967696	Pichincha
6	Lloa	17S	763856	9974186	Pichincha
7	Guapán	17S	739441	9700283	Cañar
8	Aguas Calientes	17S	655787	9590583	El Oro
9	Baños de Cuenca	17S	715430	9676754	Azuay
10	Los Elenes	17S	765936	9820936	Chimborazo
11	Cunuyacu (Tungurahua)	17S	737473	9851990	Tungurahua
12	La Virgen (Baños)	17S	787391	9845229	Tungurahua
13	El Salado (vertiente)	17S	785649	9844425	Tungurahua
14	El Salado (piscina)	17S	785713	9844544	Tungurahua
15	Guapante	17S	771281	9879916	Tungurahua
16	Nagsiche	17S	766225	9882496	Cotopaxi
17	Aluchán	17S	748051	9883963	Cotopaxi
18	Jamanco	17S	815447	9958273	Napo
19	Santa Catalina (Papallacta)	17S	817341	9959970	Napo

CONTINÚA



20	Nangulví	17N	773072	0036349	Imbabura
21	Lagartijas	17N	803773	0025723	Imbabura
22	Piscina Incaica (Peguche)	17N	807221	0026545	Imbabura
23	Vertiente Sagrada (Peguche)	17N	807133	0026602	Imbabura
24	Chachimbiro 1	17N	807376	0050803	Imbabura
25	Chachimbiro 2	17N	807181	0050648	Imbabura
26	La Calera	18N	168420	0064758	Carchi
27	Gruta de la Paz	18N	183412	0055231	Carchi
28	Paluz	18N	182904	0068362	Carchi
29	Rumichaca	18N	203337	0090277	Carchi
30	Los Tres Chorros	18N	197294	0090919	Carchi
31	Complejo Turístico Tufiño	18N	182150	0088453	Carchi
32	Aguas Hediondas	18N	176531	0089613	Carchi
33	San Miguel de Car	18N	188046	0088903	Carchi
34	El Puetate	18N	195466	0089440	Carchi

2.2. Toma de muestras de agua.

Custodio y Llamas (2001) dicen que las precauciones que se deben tomar dependen de lo que se desea analizar y la forma de toma de muestra es muchas veces en función del material, personal y técnica disponible. Los autores también mencionan que el muestreo del agua de fuentes se puede hacer directamente, es por eso que para la toma de las 34 muestras se emplearon materiales como una soga y un balde o las botellas directamente según el lugar donde se tomó la muestra (Fig. 5).



Figura 5. Toma de la Muestra

El número de muestras que es preciso tomar puede ser muy variable según el tipo de estudio que se desee realizar. Según Custodio y Llamas (2001) el volumen preciso de agua para el análisis de los iones y características fundamentales varía entre 1 y 2 litros, aunque con técnicas de microanálisis basta con 50 mililitros, para realizar los respectivos análisis que requiere este proyecto se tomó entre 1 litro y 1 litro y medio de muestra de agua. Para los autores mencionados anteriormente, las botellas de vidrio limpias son buenas en general, pero con vidrios de mala calidad se pueden tener algunas pequeñas alteraciones en sílice y quizá en algunos cationes, es por eso que, ellos recomiendan el uso de botellas y bidones de plástico ya que son más manejables y de rotura más difícil; razones por las cuales las muestras de agua se recolectaron en botellas de plásticas, nuevas y limpias. Estas botellas fueron lavadas previamente a la toma con la misma agua que se muestreó.

Para prevenir alteraciones al momento de medir pH, alcalinidad, dureza y calcio se debe evitar que las botellas estén mal cerradas o a medio llenar según indican Custodio y Llamas (2001), los autores también recalcan que las muestras deben ser analizadas lo antes posible. Las muestras de agua fueron etiquetadas e identificadas debidamente, indicando características importantes como: número de muestra, fuente, toponimia, ubicación, fecha

de la toma de muestra, temperatura del agua, observaciones, nombre de la persona que tomó la muestra, entre otros aspectos. En campo se determinó la temperatura, inmediatamente después de la extracción de la muestra con un termómetro de mercurio (Fig. 6).

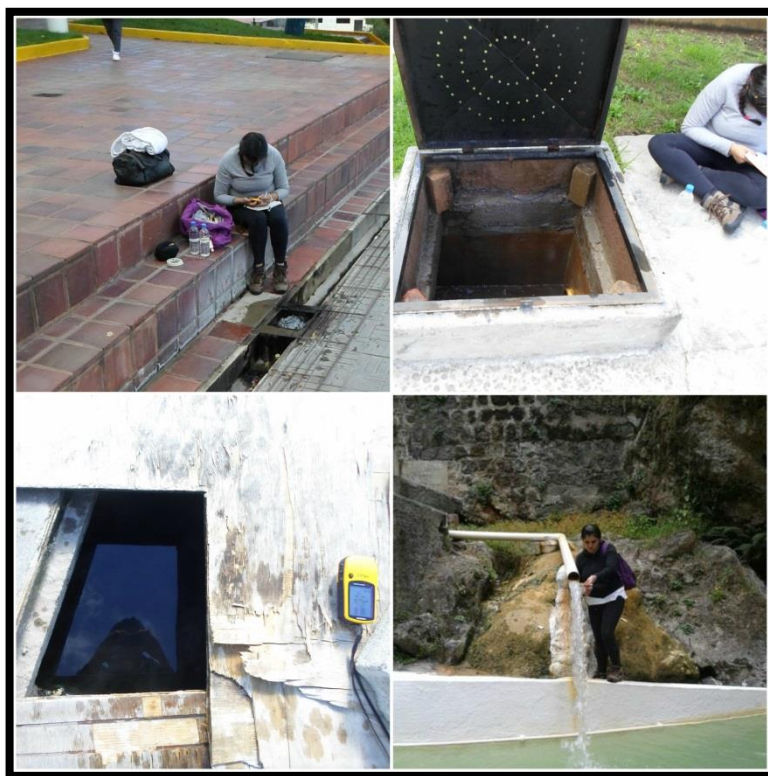


Figura 6. Etiquetado e identificación de las muestras y toma de temperatura

2.3. Métodos para el análisis de aguas.

Las determinaciones físico-químicas analíticas realizadas durante la ejecución de este trabajo se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Determinaciones físico – químicas para las aguas termales muestreadas

DETERMINACIÓN	MÉTODO/EQUIPO	REFERENCIA
1. Temperatura	Termométrico, Termómetro de Mercurio Promolab®.	(EPA, 1983) Método 170.1
2. pH	pHmetro portátil Thermo Scientific Orion 3-Star.	NMX-AA-008-SCFI-2000
3. Conductividad eléctrica	Conductivímetro Portátil marca Hach HQ14d	(APHA, 1995) Método 2510B.
4. Sodio y potasio	Ionómetro de Laboratorio inoLab® pH/ION 7320	(WTW, 2012) Medición Ión Selectivo
5. Calcio	Volumétrico, titulación con EDTA 0.01 M, Indicador: Murexida	(APHA, 1998) Método 3500-Ca B.
6. Magnesio	Dureza, Volumétrico, titulación con EDTA 0.01M, Indicador: Negro de Eriocromo	(APHA, 1998) Método 2340 C
	Magnesio: método por cálculo	(DINAMA, 1996) Código 12101
7. Carbonatos (Para aguas con pH > 8.2)	Alcalinidad, Volumétrico, titulación con ácido sulfúrico 0.02 N, Indicador: Fenolftaleína, Naranja de Metilo	(EPA, 1983) Método 310.1
8. Bicarbonatos	Volumétricos titulación con ácido sulfúrico 0.02N, Indicador: Fenolftaleína, Naranja de Metilo	(EPA, 1983) Método 310.1

CONTINÚA



9. Cloruros	Titulación con nitrato de plata 0.0191N. Indicador: Dicromato de potasio	NTE INEN 0976 (1984)
10. Boro	Método de la Curcumina	(APHA, 1998) Method 4500-B B
11. Fosfatos	Espectrofotometría, Espectrofotómetro Hach DR 5000	(HACH, 2000) Método 8190
12. Sulfatos	Espectrofotometría, Espectrofotómetro Hach DR 5000	(EPA, 1983) Method 375.4
13. Nitratos	Espectrofotometría, Espectrofotómetro Hach DR 5000	(HACH, 2000) Método 8051
14. Residuo seco evaporado (RSE) o sólidos totales disueltos (STD)	Gravimetría utilizando estufa Hot – Plate modelo Type 2200 Thermoline	(APHA, 1995) Método 2540B
15. Residuo seco calcinado (RSE)	Gravimetría utilizando mufla Lindberg	(APHA, 1995) Método 2540E

En el Anexo 1 se encuentra una explicación más detallada de las determinaciones físico – químicas realizadas durante el presente proyecto.

Como ya se mencionó anteriormente los valores de temperatura de cada muestra de agua fueron medidos en campo el momento que se tomaba la muestra de agua. Para realizar los análisis de pH y conductividad eléctrica las muestras de agua fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. En el mismo laboratorio, se realizaron los análisis de RSE o STD y se utilizó la estufa de este laboratorio, mientras que para los análisis de RSC se utilizó la

mufla del laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Los análisis de laboratorio para obtener los valores de Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , B^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} de las primeras 24 muestras se realizaron en Havoc, un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano. Las 10 muestras restantes fueron analizadas en el laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Los análisis de CO_3^{2-} se realizaron a una sola muestra de agua debido a que el pH fue mayor a 8.2, se trata de la muestra de Cunuyacu en Tungurahua.

2.4. Análisis de los datos obtenidos

Una vez obtenidos los resultados de los análisis, se realizaron varios respectivos controles para verificar el error en los resultados. El primer control es el porcentaje de error existente en la suma de aniones y cationes:

$$\% \text{ Error} = \left[\frac{\sum \frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{ cationes} - \sum \frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{ aniones}}{\sum \frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{ cationes} + \sum \frac{\text{meq}}{\text{L}} \text{ aniones}} \right] * 100$$

El Cuadro 3 indica los porcentajes admisibles para cada rango en la suma de aniones y cationes de acuerdo a APHA (1995). Una vez realizado este control se llegó a comprobar los resultados de los análisis obtenidos están dentro de los porcentajes admisibles.

Cuadro 3. Porcentajes permisibles de diferencia en los resultados analíticos

Suma de Cationes (meq/L)	% Diferencia Aceptable
0.0 – 3.0	± 0.2 %
3.0 – 10.0	± 2 %
10 – 800	± 2.5 %

Fuente: (APHA, 1995)

Para el segundo control se realizó la gráfica de conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ con respecto a la concentración de aniones y cationes en meq/L , de acuerdo a Richards (1959) (citado por Carrera, 2011) para obtener la

regresión lineal de la función obtenida en la cual debe dar una pendiente alrededor de 0.008 a 0.011. El autor antes mencionado también señala otra forma de realizar un control, en donde en la relación funcional $\frac{mg}{L} = a f(CE \text{ en } \frac{\mu S}{cm})$, el coeficiente a debe ser igual o similar a 0.64. El valor 0.64 es la pendiente que se obtiene al graficar la conductividad respecto a los STD.

La información de costos, horarios de atención, instalaciones, ubicación y demás aspectos relacionados a los distintos balnearios se recopiló in situ por medio de entrevistas a los administradores y turistas que se encontraron en estos lugares. Las fotografías y mapas de ubicación de los balnearios son de propiedad de la autora de este proyecto. Los mapas de ubicación fueron elaborados en el software ArcGis versión 9.3 con información base del Instituto Geográfico Militar.

CAPÍTULO III

3. Resultados y discusión

3.1. Lugares Visitados

Para la recolección de muestras e información se realizaron varios viajes tal como se observa en el Cuadro 4. Se recorrió cerca de 3215 kilómetros, se visitaron 31 lugares diferentes en donde se recolectaron 34 muestras de agua provenientes de diversas fuentes.

Cuadro 4. Lugares Visitados y Muestras Recolectadas

Fecha	Muestras Recolectadas	Lugares Visitados
14/Octubre/2014	Muestra 1: Guachalá	Balneario "El Pisque"
	Muestra 2: Oyacachi	Termas Oyacachi
15/Octubre/2014	Muestra 3: Cununyacu	Balneario Municipal Cununyacu
	Muestra 4: El Tingo	Balneario Municipal El Tingo
	Muestra 5: La Merced	Termas La Merced
	Muestra 6: Lloa	Complejo Urauco
16/Octubre/2014 al 19/Octubre/2014	Muestra 7: Guapán	Balneario Termal Virgen de las Nieves
	Muestra 8: Agua Caliente (El Oro)	Agua Caliente Portovelo
	Muestra 9: Baños de Cuenca	Hostería Durán
23/Octubre/2014 y 24/Octubre/2014	Muestra 10: Los Elenes	Parque Acuático Los Elenes
	Muestra 11: Cunuyacu (Tungurahua)	Complejo Turístico Reina del Rosario
	Muestra 12: La Virgen (Baños)	Termas de la Virgen
	Muestra 13: El Salado (vertiente)	Balneario El Salado
	Muestra 14: El Salado (piscina)	

CONTINÚA



23/Octubre/2014 y 24/Octubre/2014	Muestra 15: Guapante	Complejo Municipal Guapante
	Muestra 16: Nagsiche	Balneario Nagsiche
	Muestra 17: Aluchán	Balneario Aluchán
25/Marzo/2015	Muestra 18: Jamanco	Termales Jamanco
	Muestra 19: Santa Catalina (Papallacta)	Complejo Turístico Santa Catalina
8/Abril/2015 al 10/Abril/2015	Muestra 20: Nangulví	Complejo Recreativo Termas de Nangulví
	Muestra 21: Lagartijas	Piscinas “Las Lagartijas”
	Muestra 22: Piscina Incaica (Peguche)	Bosque Protector “Cascada de Peguche”
	Muestra 23: Vertiente Sagrada (Peguche)	
	Muestra 24: Chachimbiro 1 (Caja 6)	Santagua Termas de Chachimbiro
	Muestra 25: Chachimbiro 2 (Caja 7)	
	Muestra 26: La Calera	Balneario “La Calera”
	Muestra 27: Gruta de la Paz	Gruta de la Paz
	Muestra 28: Paluz	Paluz
	Muestra 29: Rumichaca	La Frontera – Rumichaca
	Muestra 30: Los 3 Chorros	Balneario “Los Tres Chorros”
	Muestra 31: Tufiño	Complejo Turístico Tufiño
	Muestra 32: Aguas Hediondas	Complejo Eco Turístico Aguas Hediondas
	Muestra 33: San Miguel de Car	San Miguel de Car
Muestra 34: El Puetate	El Puetate	

A continuación se detallan aspectos como ubicación, propietario, uso, instalaciones, costos y horarios de atención de los lugares y balnearios, que utilizan aguas de origen geotermal, de acuerdo a cada provincia del Ecuador:

PROVINCIA DEL CARCHI

En la provincia del Carchi, se visitaron nueve lugares en donde se recolectaron nueve muestras de agua respectivamente. A continuación en la Figura 7 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.



Figura 7. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia del Carchi

Balneario "La Calera"

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en la Parroquia San Isidro, Cantón Espejo, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Carchi. Cuenta con dos piscinas, sauna, turco, juegos infantiles, canchas deportivas, servicio de bar y baños. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 2,00 y para niños, personas con discapacidad y adultos mayores US\$ 1,00. Tiene un horario de atención que va desde las 9 de la mañana hasta las 9 de la noche y está abierto al público todos los días. En la Figura 8 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 26.



Figura 8. Balneario "La Calera"

Gruta de la Paz

Este balneario se encuentra ubicado en el cantón Montúfar, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Carchi. Cuenta con cuatro piscinas, baños, vestidores y atractivos en sus alrededores como una gruta en cuyo interior se encuentra el Santuario de la Virgen de la Paz. Está abierto al público todos los días. En la Figura 9 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 27.



Figura 9. Gruta de la Paz

Paluz

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en la comunidad de Chután Bajo, Parroquia San Gabriel, Cantón Montúfar, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por la Comunidad Chután Bajo (Paluz). Cuenta con una piscina, baños y atractivos en sus alrededores como la cascada de Paluz. La entrada no tiene ningún costo. Está abierto al público todo el tiempo. En la Figura 10 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 28.

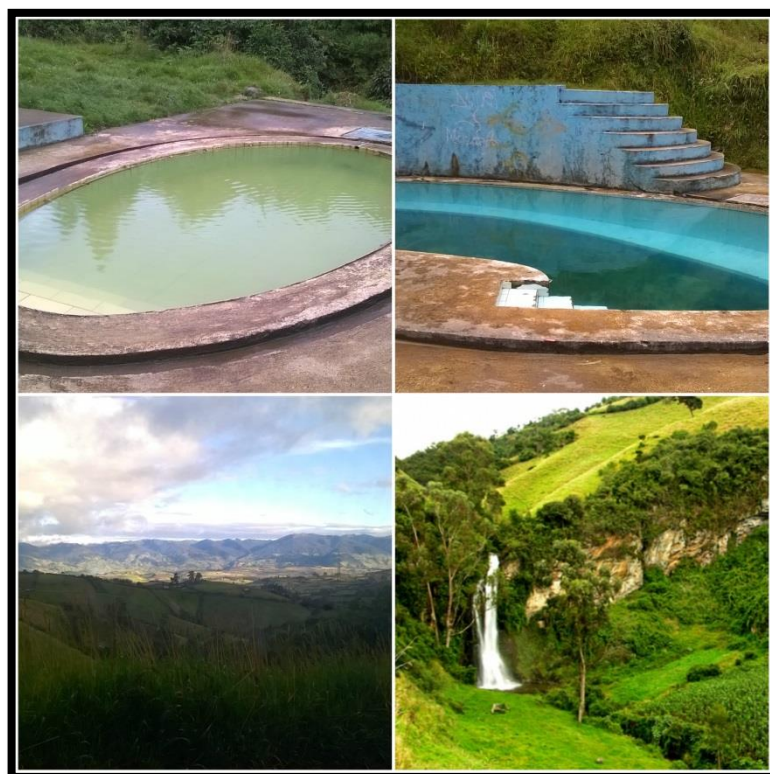


Figura 10. Paluz

La Frontera – Rumichaca

Este lugar se encuentra ubicado al norte del país en frontera Ecuador – Colombia, Provincia del Carchi en un cañón profundo. Este lugar es de uso recreacional y es de propiedad privada. Cuenta con dos duchas. El valor de la entrada es de US\$ 0,50. Está abierto al público todos los días. En la Figura 11 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 29.

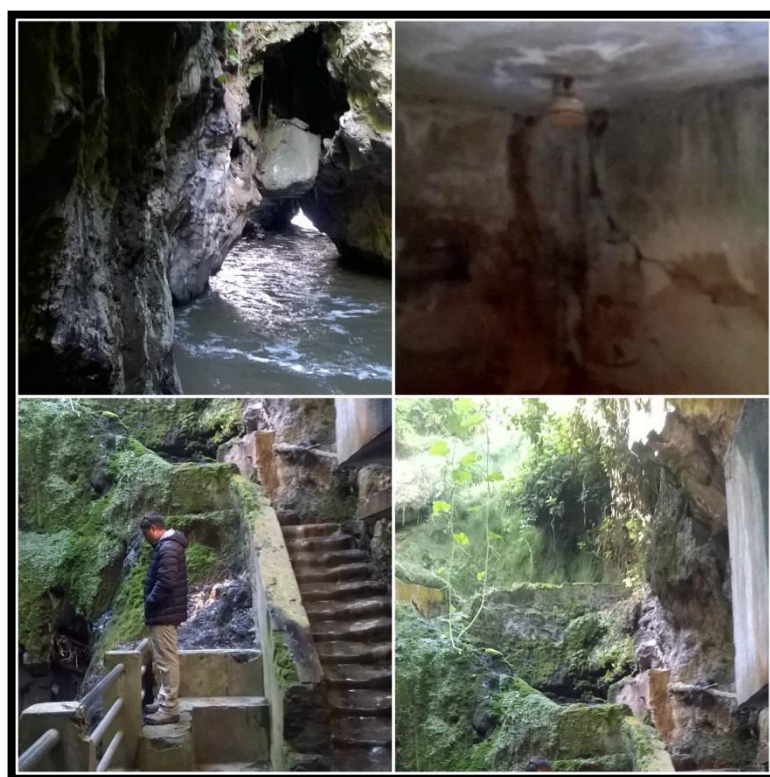


Figura 11. La Frontera - Rumichaca

Balneario “Los Tres Chorros”

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en la Parroquia de Tulcán, Cantón Tulcán, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por el Municipio de Tulcán. Cuenta con una piscina, turco, canchas deportivas, servicio de bar, baños y tres chorros de agua que son su principal atractivo. El valor de la entrada es de US\$ 0,75 y la mitad de este valor para niños, personas con discapacidad y adultos mayores. Tiene un horario de atención que va desde las 4 de la mañana hasta las 9 de la noche y está abierto al público todos los días. En la Figura 12 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 30.



Figura 12. Los Tres Chorros

Complejo Turístico Tufiño

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país a 18 km de la ciudad de Tulcán, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por el Municipio de Tulcán. Cuenta con varias piscinas, toboganes, dos saunas, dos turcos, cuatro hidromasajes, baños, un restaurante, juegos infantiles y una cancha de microfútbol. Los valores de entrada son de US\$ 0,75 para niños, personas con discapacidad y adultos mayores y US\$ 1,50 para adultos. Tiene un horario de atención que va desde las 8 de la mañana hasta las 7 de la noche y está abierto al público de viernes a lunes. En la Figura 13 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 31.



Figura 13. Complejo Turístico Tufiño

Complejo Eco Turístico Aguas Hediondas

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en la Parroquia Tufiño, Cantón Tulcán, Provincia del Carchi en las faldas del volcán Chiles. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por el Gobierno Provincial del Carchi. Cuenta con varias piscinas, servicio de bar y restaurante, duchas, baños y vestidores, senderos para caminar. El valor de la entrada es de US\$ 0,50 para niños, personas con discapacidad y adultos mayores y US\$ 1,00 para adultos. Tiene un horario de atención que va desde las 8 de la mañana hasta las 5 de la tarde de lunes a viernes y de 6 de la mañana a 6 de la tarde para sábado y domingo. En la Figura 14 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 32.



Figura 14. Complejo Eco Turístico Aguas Hediondas

San Miguel de Car

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en el Cantón Tulcán, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional. Cuenta con una piscina. La entrada es libre. Está abierto todos los días al público. En la Figura 15 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 33.



Figura 15. San Miguel de Car

El Puetate

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en el Cantón Tulcán, Provincia del Carchi. Este balneario es de uso recreacional. Cuenta una piscina, baños y senderos para caminar. La entrada es libre. Está abierto todos los días al público. En la Figura 16 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la 34.



Figura 16. El Puetate

PROVINCIA DE IMBABURA

En la provincia de Imbabura, se visitaron cuatro lugares en donde se recolectaron seis muestras de agua de fuentes pertenecientes a estos lugares. A continuación en la Figura 17 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

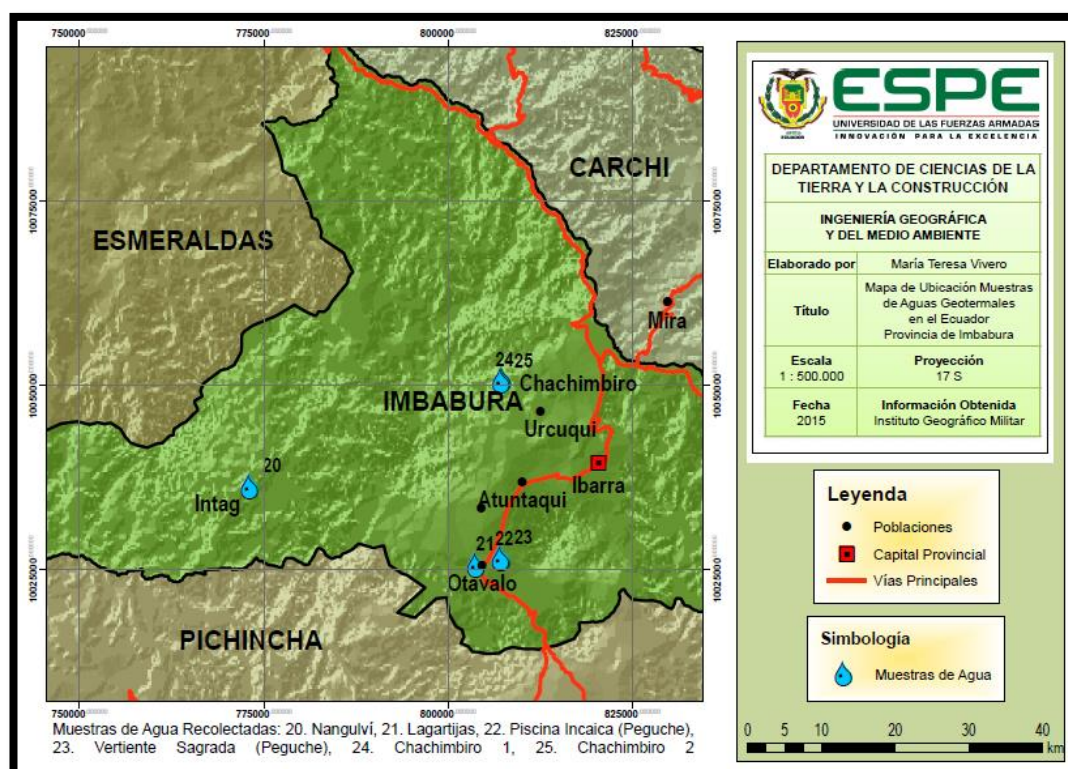


Figura 17. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Imbabura

Complejo Recreativo Termas de Nangulví

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en el Valle de Intag, Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por la comunidad. Cuenta con 6 piscinas, baños y duchas, juegos infantiles, canchas deportivas, servicio de bar y servicio de alojamiento. Los valores de la entrada para el balneario son para adultos US\$ 3,00 y para niños, personas con discapacidad y adultos mayores US\$ 1,50. Tiene un horario de atención que va desde las 7 de la mañana hasta las 9 de la noche y está abierto al público de lunes a sábado. En la Figura 18 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 20.



Figura 18. Complejo Recreativo Termas de Nangulví

Piscinas “Las Lagartijas”

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en el Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura. Este balneario es de uso recreacional y está administrado por el Municipio de Otavalo. Cuenta con dos piscinas, servicio de bar, baños, duchas y juegos infantiles. Los valores de la entrada para el balneario son para adultos US\$ 1,00 y para niños, personas con discapacidad y adultos mayores US\$ 0,50. Tiene un horario de atención que va desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde y está abierto al público todos los días. En la Figura 19 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 21.



Figura 19. Piscinas “Las Lagartijas”

Bosque Protector “Cascada de Peguche”

Este lugar se encuentra ubicado al norte del país en el Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por la comunidad Fackta Llacta. Cuenta con dos piscinas (Piscina Incaica y Vertiente Sagrada), área de camping, y la zona recreativa y senderos a la famosa cascada. La entrada no tiene costo, pero aceptan ayudas económicas. Tiene un horario de atención que va desde las 8y30 de la mañana hasta las 6 de la tarde y está abierto al público todos los días. En la Figura 20 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectaron las muestras 22 y 23.

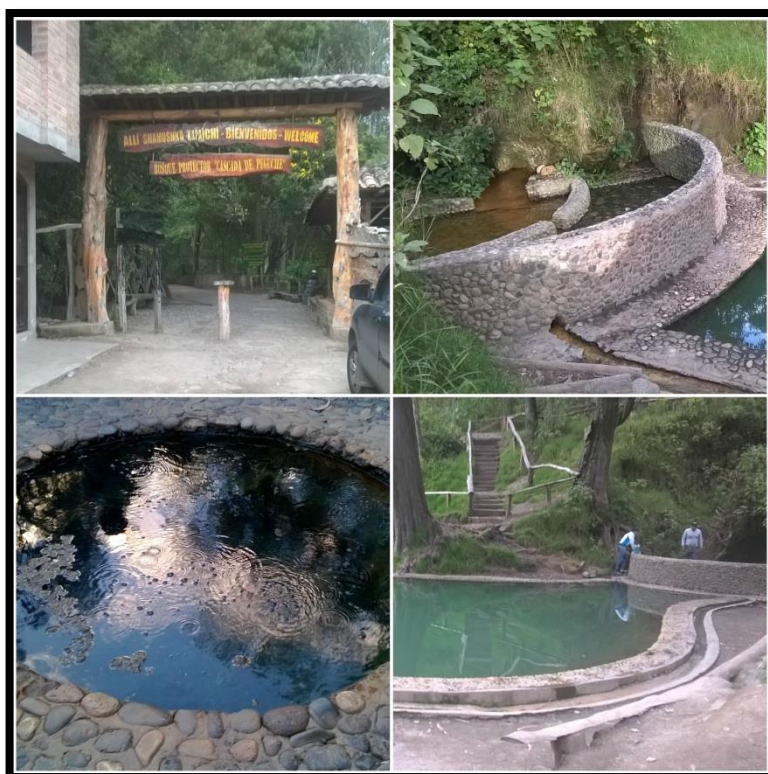


Figura 20. Bosque Portector "Cascada de Peguche"

Santagua Termas de Chachimbiro

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en el Cantón Urcuquí, Provincia de Imbabura. Es de uso recreacional y está administrado por el Gobierno Provincial de Imbabura. Cuenta con dos sectores bien diferenciados: el área recreativa y el área de spa. En el área recreativa se puede encontrar varias piscinas, un tobogán, servicio de bar, baños, duchas y chorros de agua termal. En el área del spa se puede encontrar varias piscinas, saunas, hidromasajes, tinas de relajación, turcos naturales, chorros terapéuticos y servicio de barroterapia. También cuenta con servicios y planes de alojamiento. Los valores de la entrada para la zona recreativa son para adultos US\$ 5,00 y para niños, personas con discapacidad y adultos mayores US\$ 2,50, mientras que para el área del spa los valores son para adultos US\$ 10,00 y para niños, personas con discapacidad y adultos mayores US\$ 5,00. Tiene un horario de atención que va desde las 7y30 de la mañana hasta la media noche y está abierto al público todos los días. En la Figura 21 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectaron las muestras 24 y 25.



Figura 21. Santagua Termas de Chachimbiro

PROVINCIA DE PICHINCHA

En la provincia de Pichincha, se visitaron cinco lugares en donde se recolectaron cinco muestras de agua respectivamente. A continuación en la Figura 22 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

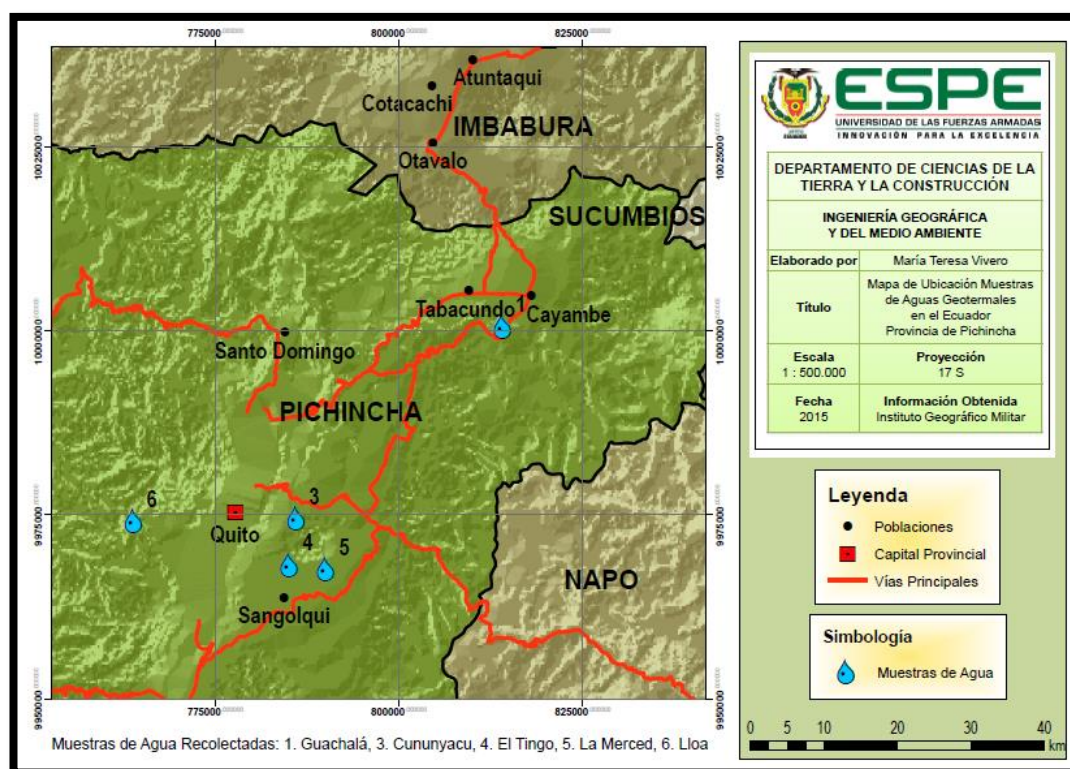


Figura 22. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Pichincha

Balneario “El Pisque”

Este balneario se encuentra ubicado al norte del país en la Comunidad de San Luis De Guachalá, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por la comunidad. Cuenta con dos piscinas, baños y duchas. Los valores de la entrada son para adultos y tercera edad US\$ 1,00 y para niños US\$ 0,50. Tiene un horario de atención que va desde las 4 de la mañana hasta las 4 de la tarde y está abierto al público todos los días. En la Figura 23 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 1.



Figura 23. Balneario “El Pisque”

Balneario Municipal Cununyacu

Este balneario se encuentra ubicado en las faldas del Ilaló, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por el Municipio de Quito. Cuenta con varias piscinas, baños, duchas, juegos infantiles, canchas deportivas, servicio de bar y espacio disponibles para la realización de deportes extremos. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 2,35, para niños US\$ 0,85, y para adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,19. Tiene un horario de atención que va desde las 6y30 de la mañana hasta las 2 de la tarde y está abierto al público de martes a domingo. En la Figura 24 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 3.



Figura 24. Balneario Municipal Cununyacu

Balneario Municipal El Tingo

Este balneario se encuentra ubicado en las faldas del Ilaló, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por el Municipio de Quito, pero hasta el momento este balneario está concesionado. Cuenta con varias piscinas, tobogán, baños, duchas, y servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 2,35, para niños US\$ 0,85, y para adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,19. Tiene un horario de atención que va desde las 6y30 de la mañana hasta las 2 de la tarde y está abierto al público de martes a domingo. En la Figura 25 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 4.



Figura 25. Balneario Municipal El Tingo

Termas La Merced

Este balneario se encuentra ubicado en las faldas del Ilaló, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar es de propiedad privada. Cuenta con varias piscinas, tobogán, baños, duchas, servicio de bar, canchas deportivas, juegos infantiles y demás espacios verdes para recreación. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 5,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 2,50. Tiene un horario de atención que va desde las 6 de la mañana hasta las 4 de la tarde y está abierto al público todos los días. En la Figura 26 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 5.



Figura 26. Termas La Merced

Complejo Urauco

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia de Lloa, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por la comunidad de Urauco. Cuenta con una piscina, una laguna de lodo, baño, duchas, servicio de bar y senderos recreativos para visitar varias cascadas. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 2,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,00. Tiene un horario de atención que va desde las 8 de la mañana hasta las 6 de la tarde y está abierto al público los días sábados, domingos y feriados. En la Figura 27 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 6.



Figura 27. Complejo Urauco

PROVINCIA DEL NAPO

En la provincia del Napo, se visitaron tres lugares en donde se recolectaron tres muestras de agua respectivamente. A continuación en la Figura 28 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.



Figura 28. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia del Napo

Termas Oyacachi

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia de Oyacachi, Cantón El Chaco, Provincia del Napo. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por la comunidad de Oyacachi. Cuenta con tres piscinas, baño, duchas, servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 3,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,50. Tiene un horario de atención que va desde las 9 de la mañana hasta las 4y30 de la tarde y está abierto al público de martes a domingo. En la Figura 29 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 2.



Figura 29. Termas Oyacachi

Termales Jamanco

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia de Papallacta, Cantón Quijos, Provincia del Napo. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por la comunidad de Jamanco. Cuenta con varias piscinas, baño, duchas, servicio de bar y servicio de alojamiento. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 4,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 2,00. Tiene un horario de atención que va desde las 6 de la mañana hasta las 8 de la noche y está abierto al público todos los días. En la Figura 30 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 18.



Figura 30. Termales Jamanco

Complejo Turístico Santa Catalina

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia de Papallacta, Cantón Quijos, Provincia del Napo. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Papallacta. Cuenta con varias piscinas, baños, duchas, servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 3,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,50. Tiene un horario de atención que va desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde y está abierto al público todos los días. En la Figura 31 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 19.

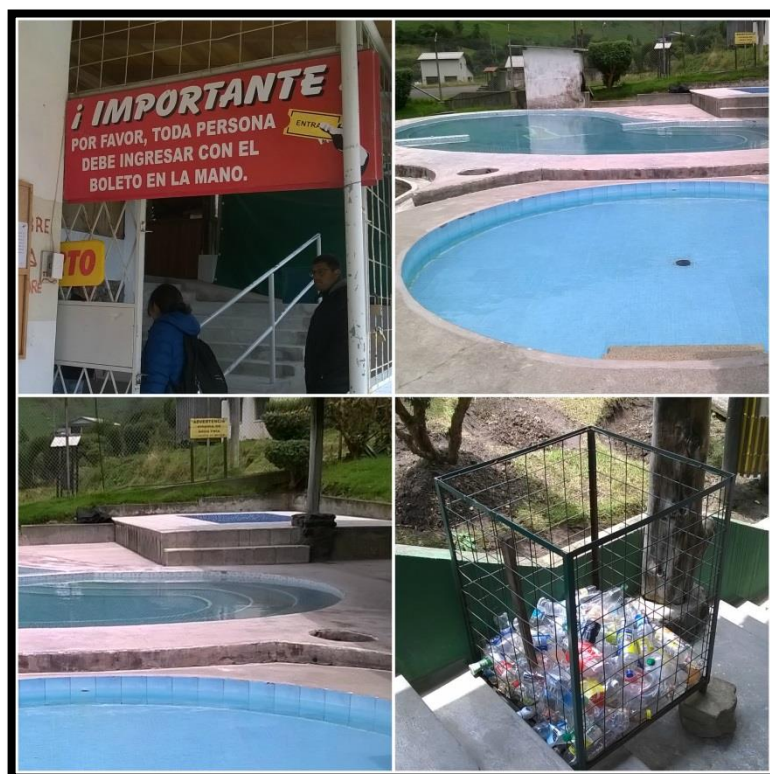


Figura 31. Complejo Turístico Santa Catalina

PROVINCIA DE COTOPAXI

En la provincia de Cotopaxi, se visitaron dos lugares en donde se recolectaron dos muestras de agua respectivamente. A continuación en la Figura 32 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

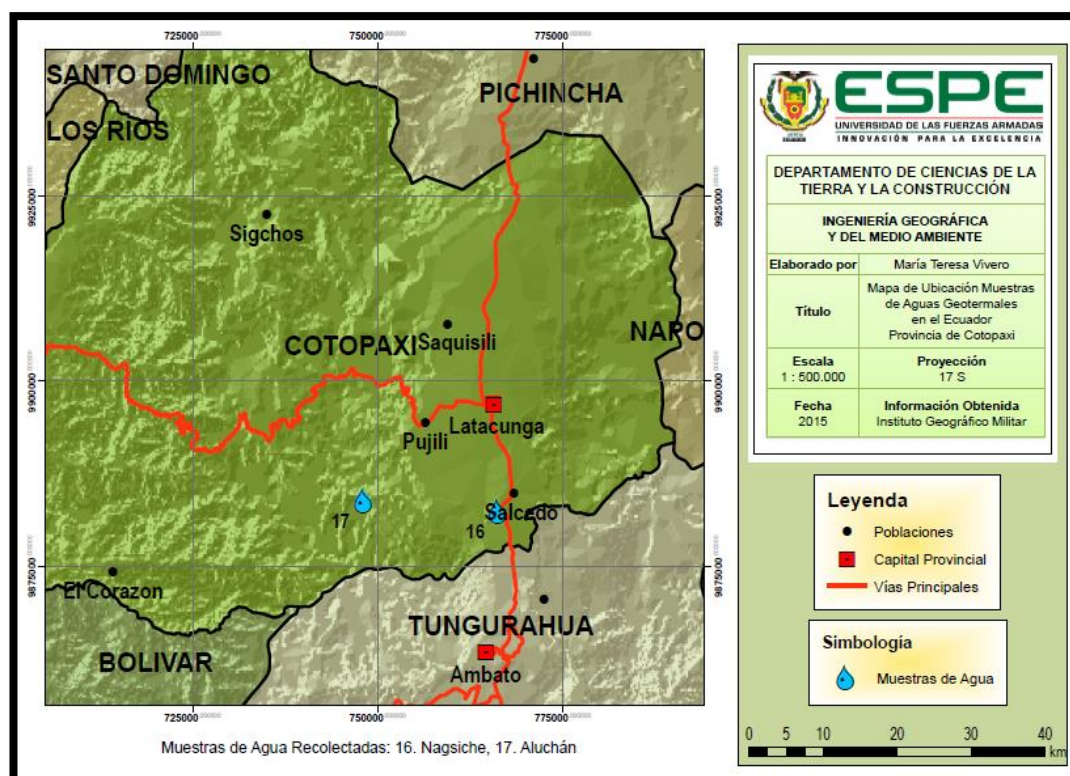


Figura 32. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermiales en el Ecuador Provincia de Cotopaxi

Balneario Nagsiche

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia de Panzaleo, Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi. Las piscinas que se encuentran en este lugar son de uso recreacional. Este lugar se encuentra administrado por el Municipio de Salcedo. Cuenta con dos piscinas, baños, duchas, servicio de bar. La entrada es gratuita. Está abierto al público todos los días. En la Figura 33 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 16.



Figura 33. Balneario Nagsiche

Balneario Aluchán

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia de Cusubamba, Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi. Este lugar es de uso recreacional. Se encuentra administrado por la comunidad de Aluchán - Cusubamba. Cuenta con una piscina, una vertiente, y un largo sendero que lleva a la piscina pero que atraviesa varios paisajes llamativos. La entrada es gratuita. Está abierto al público todos los días. En la Figura 34 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 17.



Figura 34. Balneario Aluchán

PROVINCIA DE TUNGURAHUA

En la provincia de Tungurahua, se visitaron cuatro lugares en donde se recolectaron cinco muestras de agua de fuentes pertenecientes a estos lugares. A continuación en la Figura 35 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

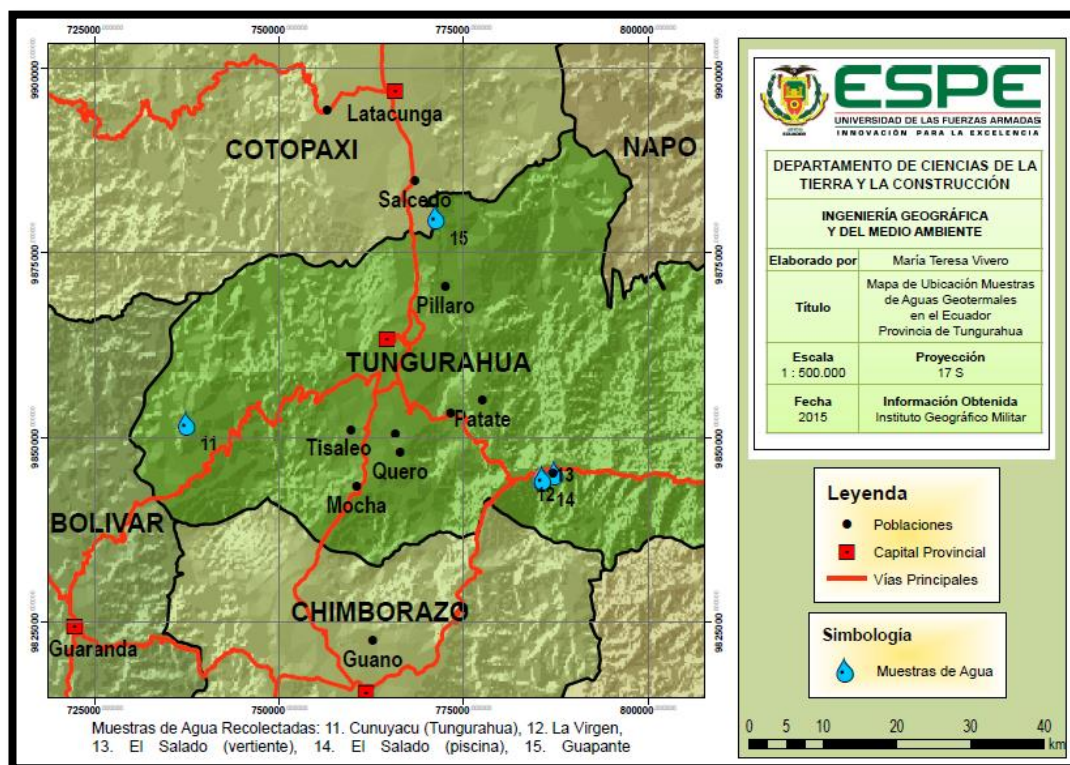


Figura 35. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Tungurahua

Complejo Turístico Reina del Rosario

Este balneario se encuentra ubicado en la antigua vía a Flores, que conecta a Tungurahua con Chimborazo y Bolívar, en la Provincia de Tungurahua. Este lugar es de uso recreacional. Se encuentra administrado por la comunidad. Cuenta con varias piscinas, baños, duchas. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 1,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 0,50. Tiene un horario de atención que va desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde. Está abierto al público todos los días. En la Figura 36 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 11.



Figura 36. Complejo Turístico Reina del Rosario

Termas de la Virgen

Este balneario se encuentra ubicado en el Cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua. Este lugar es de uso recreacional. Se encuentra administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Baños. Cuenta con varias piscinas, baños, duchas, servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 3,00 a US\$ 2,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,00. Tiene un horario de atención que va desde las 5 de la mañana hasta las 4 de la tarde, y desde las 6 de la tarde hasta las 10 de la noche. Está abierto al público todos los días. En la Figura 37 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 12.



Figura 37. Termas de la Virgen

Balneario El Salado

Este balneario se encuentra ubicado en el Cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua. Este lugar es de uso recreacional. Se encuentra administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Baños. Cuenta con varias piscinas, baños, duchas y servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 4,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 2,00. Tiene un horario de atención que va desde las 5 de la mañana hasta las 7y30 de la noche. Está abierto al público todos los días. En la Figura 38 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectaron las muestras 13 y 14.



Figura 38. Balneario El Salado

Complejo Municipal Guapante

Este balneario se encuentra ubicado en el Cantón Píllaro, Provincia de Tungurahua. Este lugar es de uso recreacional. Se encuentra administrado por el Municipio de Píllaro. Cuenta con varias piscinas, baños, duchas y servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 1,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 0,50. Está abierto al público todos los días. En la Figura 39 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 15.



Figura 39. Complejo Municipal Guapante

PROVINCIA DE CHIMBORAZO

En la provincia de Chimborazo, se visitó un lugar en donde se recolectó una muestra de agua. A continuación en la Figura 40 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

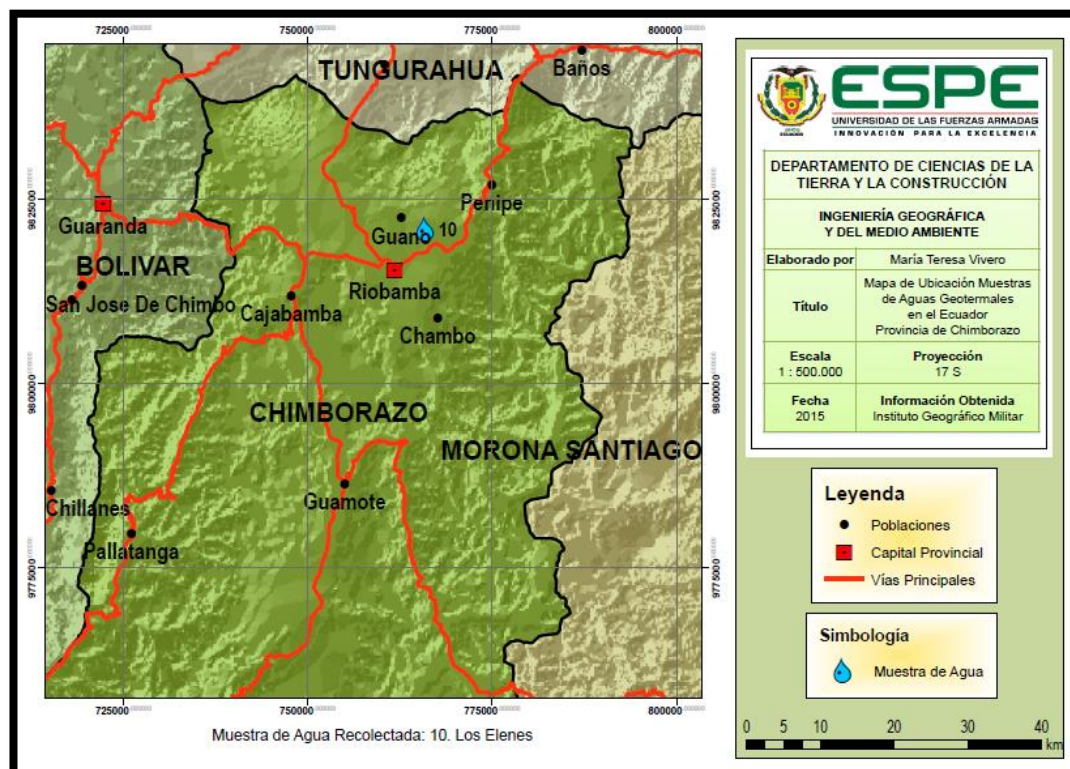


Figura 40. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Chimborazo

Parque Acuático Los Elenes

Este balneario se encuentra ubicado en el Cantón Guano, Provincia de Chimborazo. Este lugar es de uso recreacional. Se encuentra administrado por el Municipio de Guano. Cuenta con varias piscinas, entre ellas una piscina de olas, baños, duchas, sauna, heladería y servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 3,00 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 1,50. Tiene un horario de atención que va desde las 7 de la mañana hasta las 4y30 de la tarde de lunes a viernes, y los fines de semana la atención es desde las 7 de la mañana hasta las 6y30 de la tarde. En la Figura 41 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 10.



Figura 41. Parque Acuático Los Elenes

PROVINCIA DE CAÑAR

En la provincia de Cañar, se visitó un lugar en donde se recolectó una muestra de agua. A continuación en la Figura 42 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

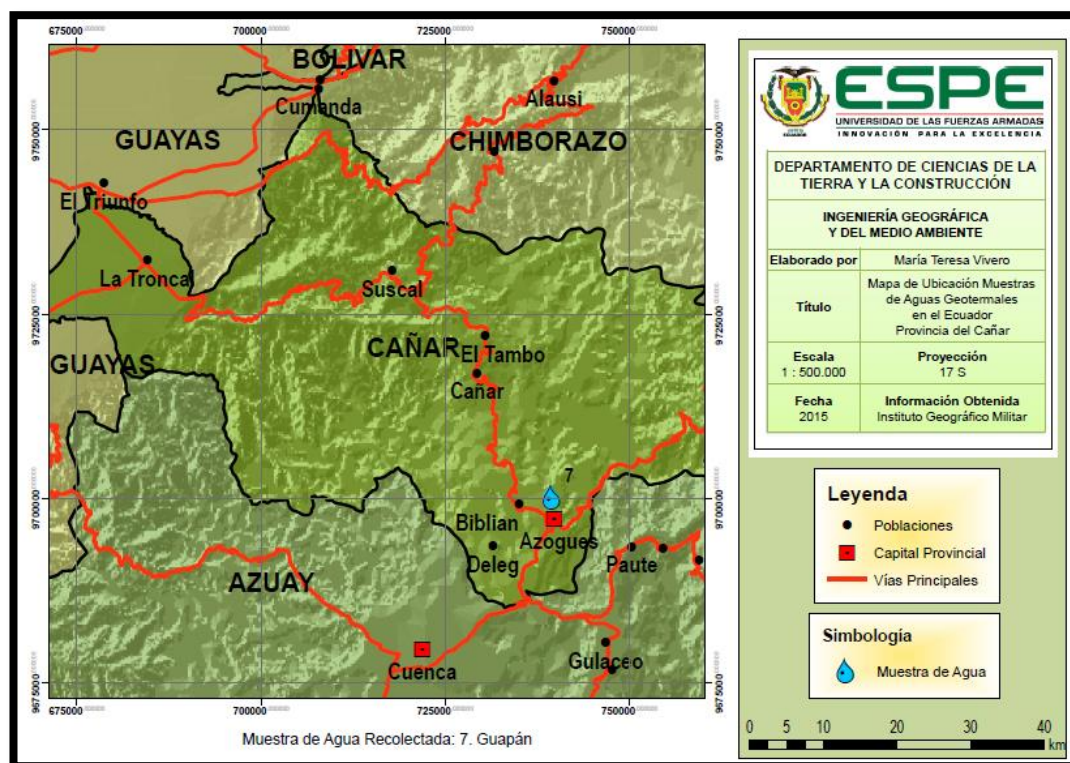


Figura 42. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermiales en el Ecuador Provincia de Cañar

Balneario Termal Virgen de las Nieves

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia Guapán, en el Cantón Azogues, Provincia del Cañar. Este lugar es de uso recreacional. Sus instalaciones son de propiedad privada. Cuenta con dos piscinas, baños, duchas, sauna, turco, hidromasaje y servicio de bar. Los valores de la entrada son para adultos US\$ 3,50 y para niños, adultos mayores y personas con discapacidad US\$ 2,00. Tiene un horario de atención que va desde las 8 de la mañana hasta las 6 de la tarde de martes a domingo ya que el día lunes es de mantenimiento. En la Figura 43 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 7.



Figura 43. Balneario Termal Virgen de las Nieves

PROVINCIA DEL AZUAY

En la provincia de Azuay, se visitó un lugar en donde se recolectó una muestra de agua. A continuación en la Figura 44 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

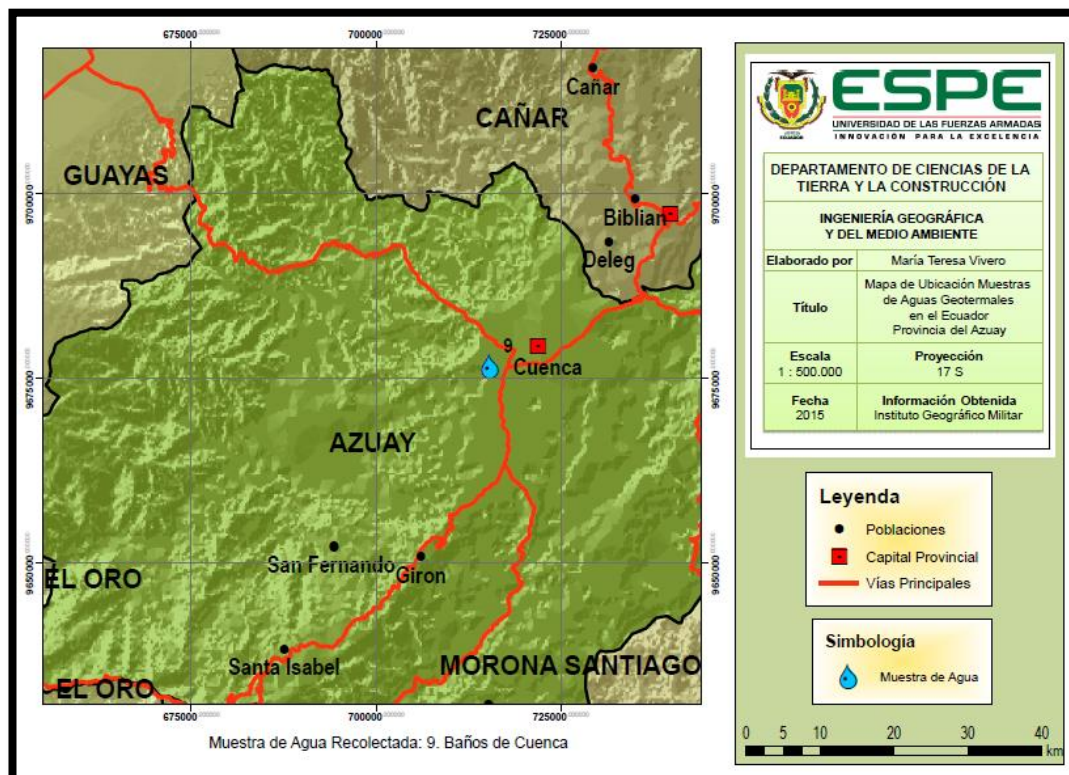


Figura 44. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermales en el Ecuador Provincia de Azuay

Hostería Durán

Este balneario se encuentra ubicado en la Parroquia Baños, en el Cantón Cuenca, Provincia del Azuay a 25 minutos del centro de la Ciudad de Cuenca. Este lugar es de uso recreacional. Sus instalaciones son de propiedad privada. Cuenta con 4 piscinas, baños, duchas, sauna, turco, hidromasaje y servicio de bar, también cuenta con un spa llamado Novaqua. Los valores de la entrada varían desde los US\$ 3,20 hasta los US\$ 6,20 para el uso de piscinas, para el uso del spa se debe pagar un valor que va desde los US\$ 18,00. Está abierto al público todos los días. En la Figura 45 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 9.



Figura 45. Hostería Durán

PROVINCIA DE EL ORO

En la provincia de El Oro, se visitó un lugar en donde se recolectó una muestra de agua. A continuación en la Figura 46 se puede apreciar la ubicación de las muestras de agua recolectadas.

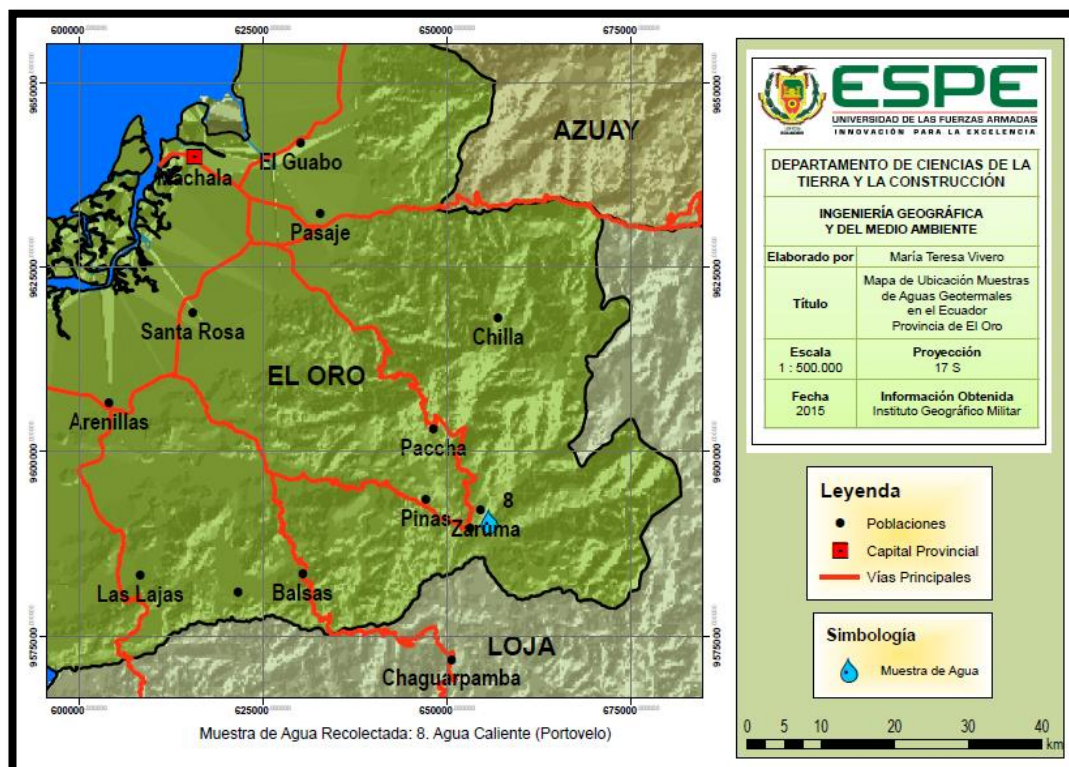


Figura 46. Mapa de Ubicación Muestras de Aguas geotermiales en el Ecuador Provincia de El Oro

Agua Caliente Portovelo

Este lugar se encuentra ubicado en el Cantón Portovelo, Provincia de El Oro. Se encuentra administrado por la comunidad. Cuenta con una pequeña piscina. Varias personas visitan este lugar únicamente con fines terapéuticos. La entrada es gratuita. Está abierto al público todos los días. En la Figura 47 se pueden apreciar las instalaciones del lugar. En este lugar se recolectó la muestra 9.



Figura 47. Agua Caliente Portovelo

3.2. Parámetros físico – químicos obtenidos de las aguas geotermales muestreadas

Los resultados de los parámetros físico – químicos obtenidos de las aguas geotermales muestreadas se indican a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2. Parámetros físico – químicos de las aguas geotermales muestreadas

Muestra	Nombre de la Muestra	Temp. (°C)	pH	CE (μS/cm)	RSE (mg/L)	RSC (mg/L)
1	Guachalá	39	6.39	2555	1424	260
2	Oyacachi	50	6.60	5505	3184	2056
3	Cununyacu	26	7.05	1230	660	172
4	El Tingo	40	7.03	3515	3848	972
5	La Merced	35	6.50	1210	1912	196
6	Lloa	29	5.96	1930	1076	152
7	Guapán	60	7.06	20220	11308	10124
8	Agua Caliente (Portovelo)	52	8.09	3425	4012	1840
9	Baños de Cuenca	62	7.15	4590	4512	2028
10	Los Elenes	21	6.91	2340	1576	952
11	Cunuyacu (Tungurahua)	47	8.30	5145	3408	1816
12	La Virgen	53	6.47	5865	4232	2712
13	El Salado (vertiente)	40	6.26	7155	6128	4156
14	El Salado (piscina)	45	6.60	8970	7932	5476
15	Guapante	25	7.20	1150	1008	540
16	Nagsiche	27	6.80	4030	2616	1480
17	Aluchán	43	6.99	1455	1008	732
18	Jamanco	61	6.73	7665	4772	4060
19	Santa Catalina	56	7.14	2120	1376	980
20	Nangulví	50	7.39	4850	3016	2624
21	Lagartijas	18	6.06	456	284	116

CONTINÚA



22	Piscina Incaica (Peguche)	23	6.51	1874	1132	712
23	Vertiente Sagrada (Peguche)	23	6.56	2177	1332	900
24	Chachimbiro 1	52	7.65	6625	4128	3528
25	Chachimbiro 2	60	6.42	6795	4076	3432
26	La Calera	34	6.33	1267	852	552
27	Gruta de la Paz	40	6.88	2570	1748	1232
28	Paluz	21	6.22	1085	764	508
29	Rumichaca	34	7.09	3065	2032	1444
30	Los 3 Chorros	25	6.03	819.5	588	456
31	Complejo Turístico Tufiño	25	6.58	883	640	484
32	Aguas Hediondas	58	4.96	1833	1572	1288
33	San Miguel de Car	23	6.21	418	376	240
34	El Puetate	18	6.68	166.9	208	128

3.3. Composición iónica de las aguas geotermales muestreadas

La composición iónica de las aguas termales muestreadas, ubicadas a lo largo del Callejón Interandino en el Ecuador, se indica en la Tabla 3:

Tabla 3. Composición iónica de las aguas geotermales muestreadas

Muest.	CATIONES (meq/L)					ANIONES (meq/L)				
	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	∑ meq/L	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	∑ meq/L
1	1.11	14.58	1.82	7.96	25.48	0.00	9.58	16.07	0.00	25.64
2	0.82	38.86	4.81	7.75	52.23	2.12	22.82	27.90	0.00	52.84
3	0.31	4.57	1.48	5.95	12.32	0.17	4.79	7.54	0.00	12.50
4	0.58	19.35	1.24	11.23	32.40	0.21	10.70	21.97	0.00	32.88
5	0.28	4.48	1.94	5.89	12.59	0.13	5.63	7.21	0.00	12.97
6	0.35	7.92	3.80	7.19	19.26	0.56	7.04	11.15	0.00	18.75
7	2.33	194.00	3.81	7.91	208.05	0.00	165.00	35.08	0.00	200.08
8	0.87	19.98	8.60	3.89	33.34	1.63	30.96	1.97	0.00	34.55
9	1.39	27.72	4.25	3.39	36.75	1.50	29.58	7.21	0.00	38.29
10	0.18	6.90	4.59	13.90	25.57	18.29	1.41	5.25	0.00	24.95
11	0.12	30.00	12.67	7.77	50.55	2.00	46.00	2.30	0.09	50.38

CONTINÚA



12	1.53	17.82	0.73	39.83	59.91	20.10	22.25	15.08	0.00	57.44
13	1.43	15.71	14.07	40.50	71.71	17.85	28.20	23.31	0.00	69.36
14	1.77	20.79	15.31	53.00	90.87	67.38	18.37	6.50	0.00	92.25
15	0.26	3.65	1.48	5.93	11.32	1.94	1.15	8.52	0.00	11.62
16	0.98	14.70	0.56	25.08	41.32	0.33	10.72	29.20	0.00	40.25
17	0.17	8.13	1.32	3.83	13.46	0.79	6.05	6.90	0.00	13.74
18	3.55	53.87	12.84	3.21	73.48	6.19	64.01	5.41	0.00	75.61
19	0.15	10.23	9.61	0.75	20.74	7.81	12.68	1.08	0.00	21.57
20	0.20	27.90	11.49	7.51	47.10	6.98	41.32	1.18	0.00	49.48
21	0.12	0.96	0.70	2.80	4.57	0.04	0.84	3.70	0.00	4.59
22	0.35	5.97	3.09	8.40	17.81	0.28	6.48	10.33	0.00	17.09
23	0.59	7.17	2.30	10.78	20.86	0.11	8.17	12.30	0.00	20.58
24	5.39	42.10	4.90	6.96	59.34	1.19	52.97	8.20	0.00	62.36
25	4.68	41.91	4.19	6.79	57.58	1.17	48.78	9.38	0.00	59.33
26	0.74	3.19	3.71	7.07	14.71	0.65	1.81	12.09	0.00	14.55
27	1.91	6.79	1.38	17.78	27.86	0.07	4.48	23.22	0.00	27.78
28	0.12	1.43	3.41	5.77	10.73	0.07	1.10	9.45	0.00	10.62
29	2.46	11.63	1.49	14.82	30.41	0.14	7.30	24.44	0.00	31.87
30	0.70	2.49	2.01	3.74	8.95	0.38	1.19	7.13	0.00	8.70
31	0.62	3.03	2.26	3.68	9.59	2.93	2.56	4.43	0.00	9.93
32	1.45	6.50	4.38	5.80	18.13	14.64	3.35	0.40	0.00	18.39
33	0.27	1.15	0.90	2.00	4.32	0.78	0.90	2.48	0.00	4.16
34	0.03	0.31	0.43	1.00	1.77	0.09	0.32	1.37	0.00	1.78

Con relación al contenido de carbonatos, según los análisis realizados se observa que en el balneario de Cunuyacu en Tungurahua se midió este anión. En el libro de INAMHI (2013) se puede ver que existe un error, ya que todos los balnearios de la provincia del Carchi poseen concentraciones altas de carbonatos, y esto no puede darse debido a que el pH de estos balnearios en este texto y en nuestros datos es inferior a 8.2.

Muestras como la de Guapán, Jamanco y Chachimbiro 1 muestran valores altos en concentraciones de Na^+ y Cl^- , razón por la cual se puede decir que probablemente estas aguas se encuentren cerca o atraviesen diapiros salinos.

A continuación en la Tabla 4 se muestran los resultados de nitratos, fosfatos y boro, compuestos también analizados durante la ejecución de este proyecto:

Tabla 4. Resultados de Nitratos, fosfatos y boro de las aguas geotermales muestreadas

Muestra	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	Boro (mg/L)
1	<0.3	0.50	0.82
2	0.40	2.00	3.32
3	<0.3	1.00	0.15
4	<0.3	1.30	6.85
5	<0.3	1.10	0.12
6	<0.3	1.60	2.15
7	0.60	1.10	2.3
8	<0.3	<0.5	3.95
9	<0.3	2.20	0.34
10	<0.3	1.50	0.13
11	<0.3	<0.5	0.45
12	<0.3	1.90	10.48
13	<0.3	2.10	5.78
14	<0.3	1.20	8.54
15	0.30	<0.5	0.96
16	<0.3	2.20	5.2
17	<0.3	1.10	4.64
18	<0.3	2.07	19.78
19	<0.3	0.68	3.98
20	<0.3	0.79	3.96
21	<0.3	0.69	<0.5
22	<0.3	0.78	2.44
23	<0.3	1.04	3.29
24	0.70	2.26	30.12
25	3.45	7.80	11.94
26	0.65	5.80	0.57
27	0.60	7.30	3.43
28	0.75	6.20	0.00
29	0.95	6.25	1.45
30	1.70	6.00	0.64
31	1.00	6.50	0.20
32	4.60	7.90	1.78
33	1.05	4.10	0.48
34	2.10	5.00	2.12

Los datos de nitratos no presentan una gran variabilidad y como se observa en la Tabla 4 son relativamente bajos, a diferencia de los datos de fosfatos y boro. En las Figuras 48 y 49 se muestra en mapas la variabilidad de las concentraciones de estos dos elementos en las muestras de agua recolectadas en el callejón interandino.

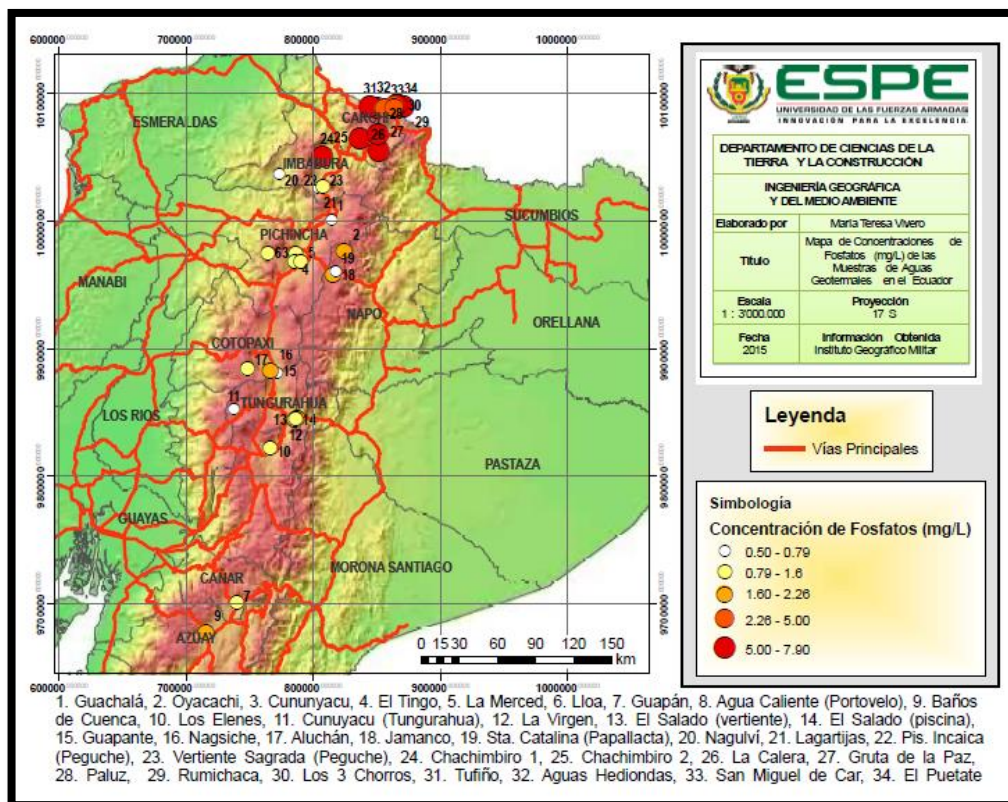


Figura 48. Mapa de Concentraciones de Fosfatos en las muestras de Aguas Geotermiales en el Ecuador

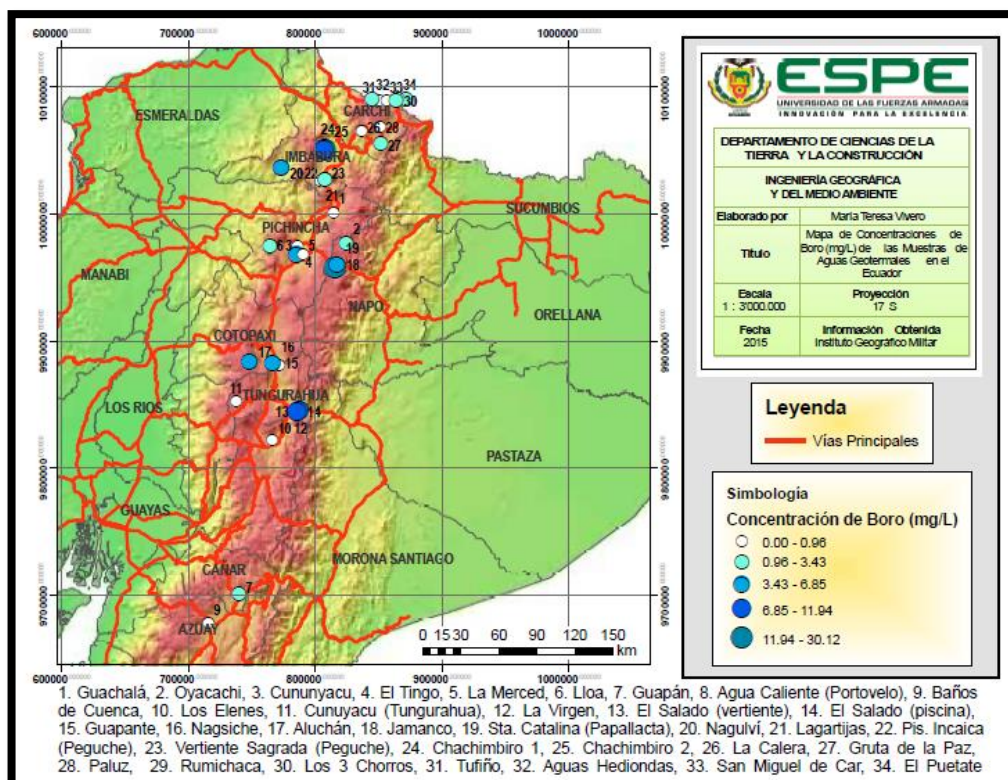


Figura 49. Mapa de Concentraciones de Boro en las muestras de Aguas Geotermiales en el Ecuador

3.4. Comprobación de la exactitud de los resultados

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, existen varios controles para comprobar la exactitud de los resultados. En el primer control de acuerdo a APHA (1995) se obtuvieron los resultados que se indican en la Tabla 5, estos resultados como se puede observar son admisibles de acuerdo al Cuadro 1 indicado en el capítulo anterior.

Tabla 5. Porcentaje de Error de los resultados analíticos

Muestra	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	% error
1	25.48	25.64	0.31
2	52.23	52.84	0.57
3	12.32	12.50	0.71
4	32.40	32.88	0.73
5	12.59	12.97	1.48
6	19.26	18.75	1.35
7	208.05	200.08	1.95
8	33.34	34.55	1.78
9	36.75	38.29	2.05
10	25.57	24.95	1.24
11	50.55	50.38	0.16
12	59.91	57.44	2.11
13	71.71	69.36	1.67
14	90.87	92.25	0.75
15	11.32	11.62	1.28
16	41.32	40.25	1.31
17	13.46	13.74	1.04
18	73.48	75.61	1.43
19	20.74	21.57	1.97
20	47.10	49.48	2.46
21	4.57	4.59	0.17
22	17.81	17.09	2.07
23	20.86	20.58	0.67
24	59.34	62.36	2.48
25	57.58	59.33	1.50

CONTINÚA



26	14.71	14.55	0.58
27	27.86	27.78	0.15
28	10.73	10.62	0.53
29	30.41	31.87	2.34
30	8.95	8.70	1.41
31	9.59	9.93	1.71
32	18.13	18.39	0.72
33	4.32	4.16	1.91
34	1.77	1.78	0.19

Para el segundo control se realizó la gráfica de conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ con respecto a la concentración de aniones y cationes en meq/L en donde la pendiente debe estar entre 0.008 a 0.011. Como se puede observar en la Figura 50 para aniones y en la Figura 51 para cationes, los valores de las pendientes para estas gráficas son de 0.0098 y 0.0099 respectivamente, por lo tanto están dentro de los valores indicados.

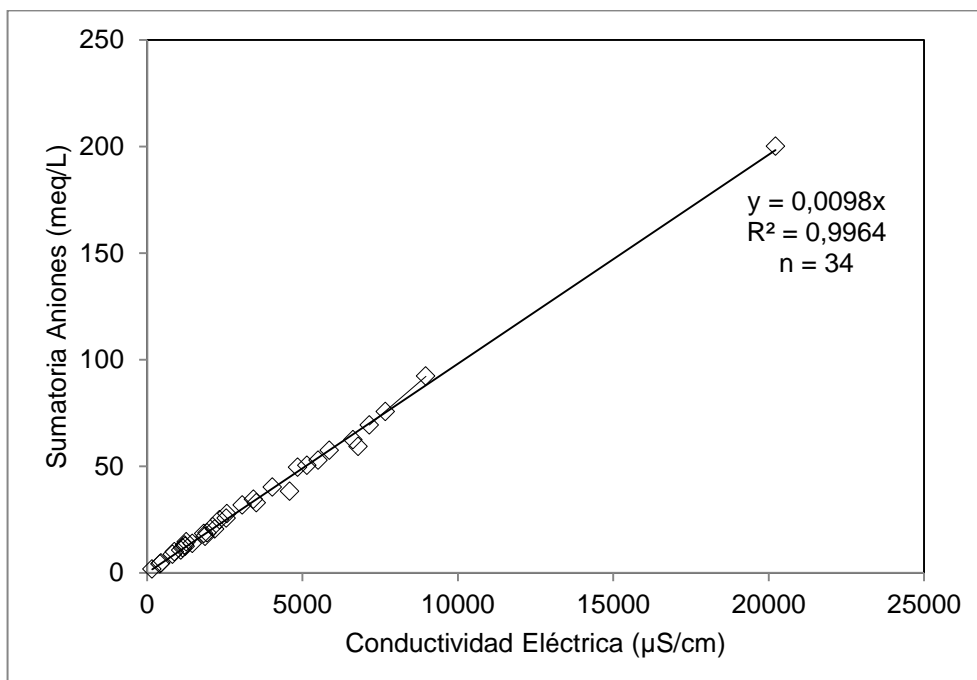


Figura 50. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a la Concentración de Aniones de las muestras de aguas geotermales

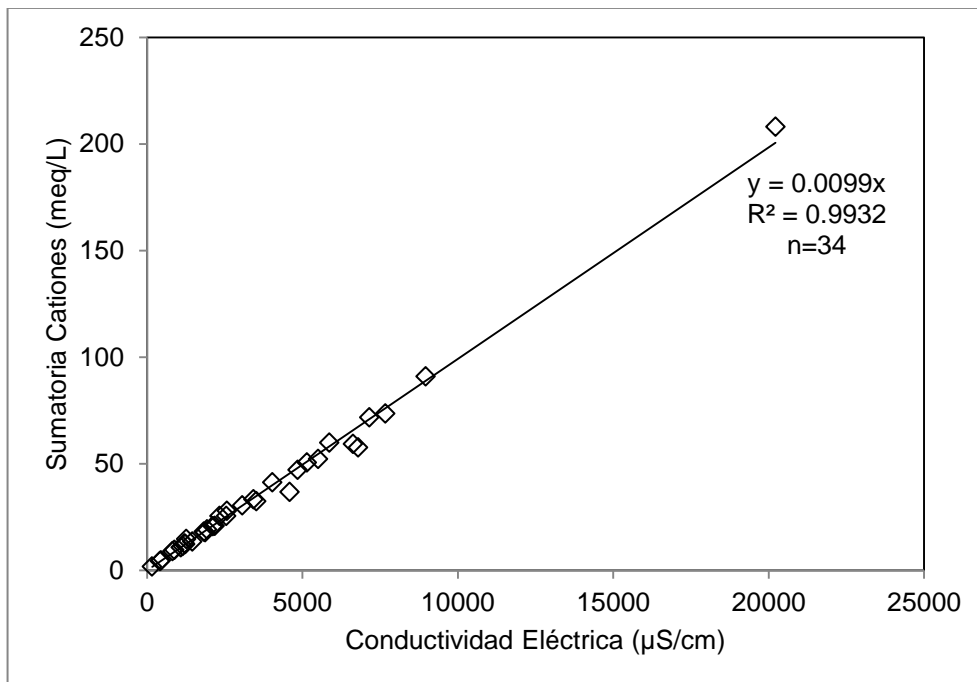


Figura 51. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a la Concentración de Cationes de las muestras de aguas geotermiales

Finalmente para el tercer control se graficó la relación funcional $STD \left(\frac{mg}{L} \right) = a f \left(CE \text{ en } \frac{\mu S}{cm} \right)$, en donde el coeficiente a , es decir la pendiente debe ser igual o similar a 0.64. Como se observa en la Figura 52 (STD como resultado de la suma de los 8 iones: Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) y en la Figura 53 (STD resultado al obtener el RSE) las gráfica tienen los siguientes valores de pendientes 0.6238 y 0.6583 respectivamente, valores que se asemejan a 0.64 motivo por el cual estos valores son admisibles.

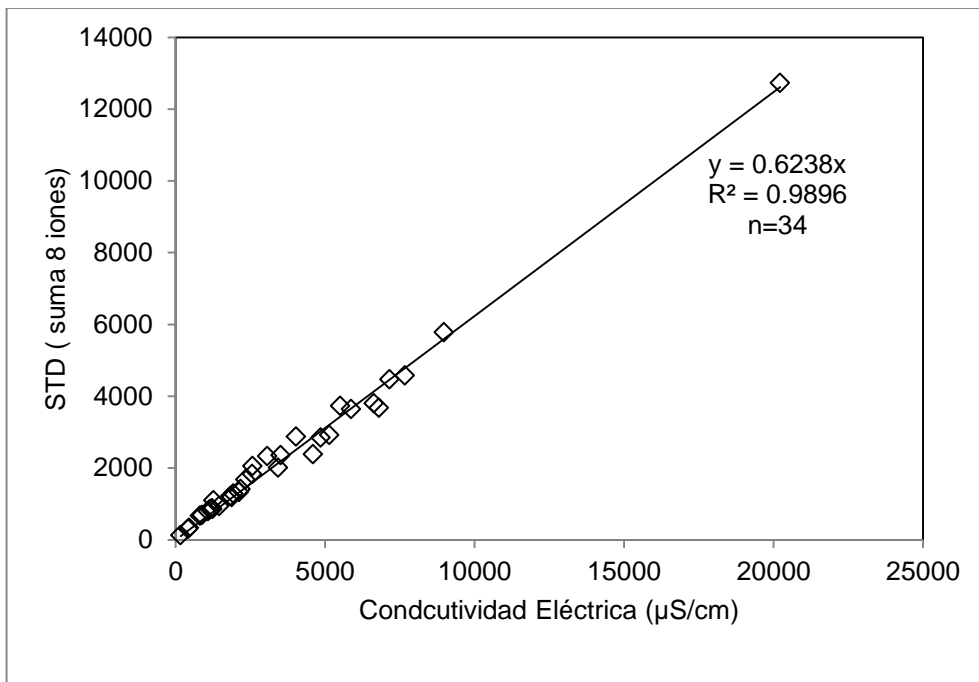


Figura 52. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a STD (8 iones) de las muestras de aguas geotermales

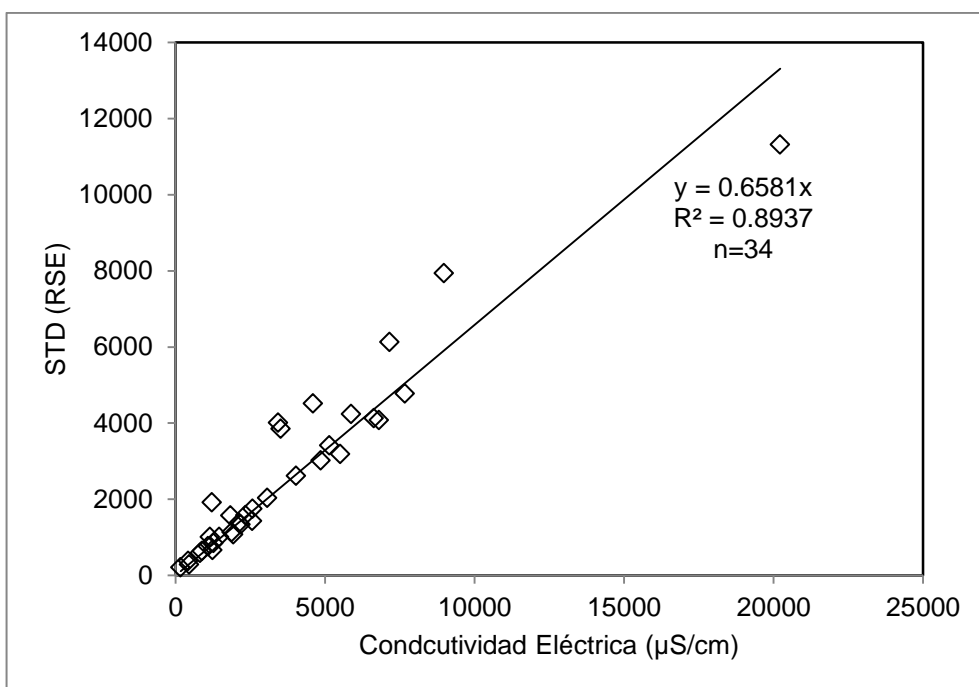


Figura 53. Gráfica de Conductividad Eléctrica con respecto a STD (RSE) de las muestras de aguas geotermales

3.5. Distribución de frecuencia de los datos analíticos del muestreo de Aguas

En el muestreo de aguas en cuanto a temperatura, el 29.41% están en el intervalo de 18 a 25 °C, el 8.82% de 26 a 33 °C, el 20.59% de 34 a 41 °C, el otro 8.82% de 42 a 49 °C, el 17.65% de 50 a 57°C y el 14.71% de 58 a 62°C (Fig. 54). Muñoz (1949), al igual que Custodio y Llamas (2001) mencionan en sus textos que la temperatura de las aguas subterráneas responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, pero también incrementa su valor según la profundidad a la que se encuentren, por lo general este valor aumenta 1°C cada 33 metros en promedio, algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas y algo menor en grandes en cubetas sedimentarias. Debido a las razones explicadas se puede decir que las aguas pertenecientes al primer rango (18°C a 25°C) son probablemente poco profundas y que estén ubicadas dentro de grandes cuencas o zonas donde hay acumulación de sedimentos. Sin embargo, en la clasificación de aguas según su temperatura se observa que posiblemente la mayoría de aguas muestreadas son Hipertermales ya que poseen temperaturas mayores a 40°C.

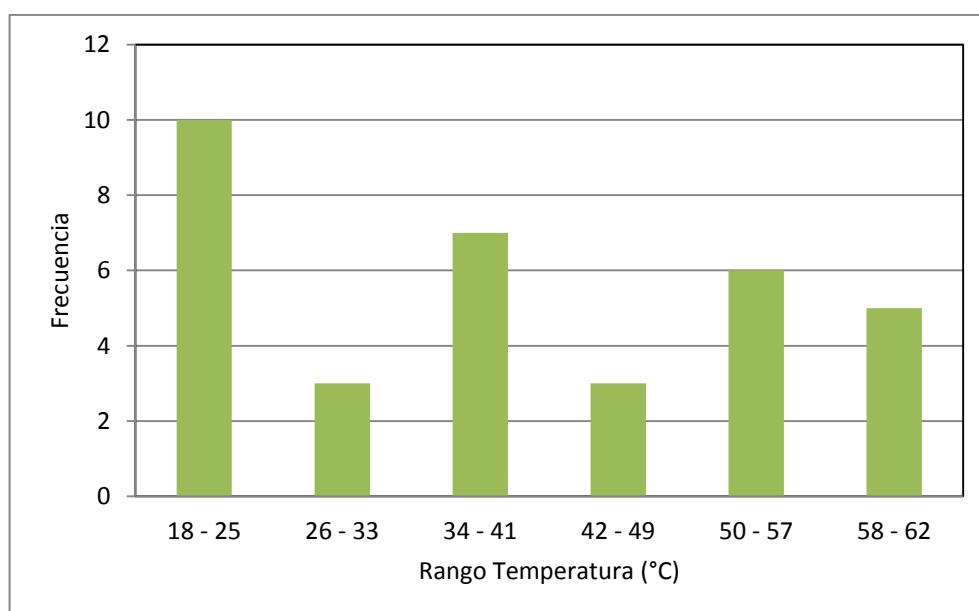


Figura 54. Distribución de frecuencias con respecto a la Temperatura de las muestras de aguas geotermiales

En el muestreo de aguas en cuanto a pH, el 11.76% está en el intervalo de 4.96 a 6.07, el 73.53% de 6.08 a 7.20 y el 14.71% de 7.21 a 8.30(Fig. 55). Custodio y Llamas (2001) explican que la presencia de CO_2 y HCO_3^- en las aguas subterráneas es muy frecuente, razón por la cual este tipo de aguas van a tener un pH entre 6.5 y 8.

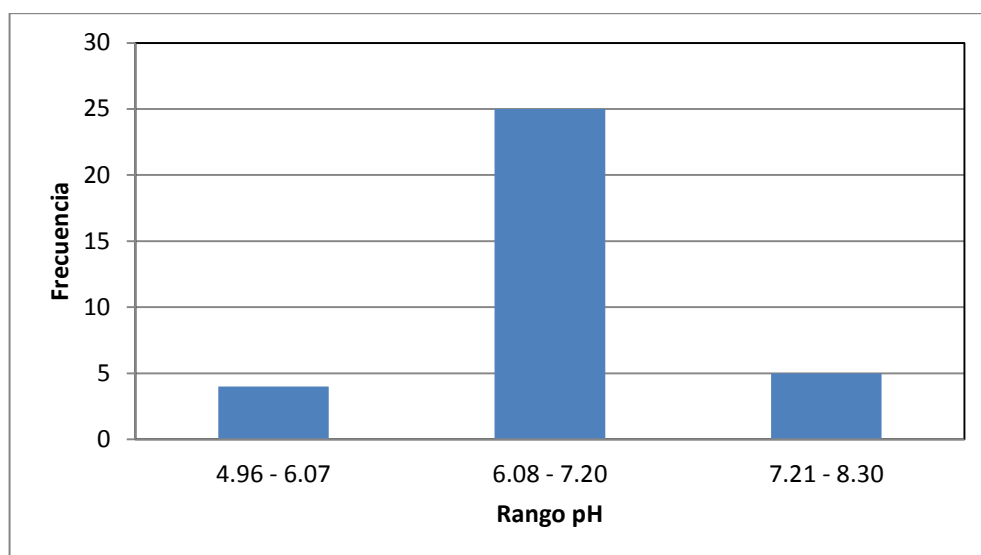


Figura 55. Distribución de frecuencias con respecto al pH de las muestras de aguas geotermiales

En el muestreo de aguas en cuanto a Conductividad Eléctrica, el 29.41% están en el intervalo de 166 a 1415 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el 26.47% de 1416 a 2665 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el 8.82% de 2666 a 3915 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el 11.76% de 3916 a 5165 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el 5.88% de 5166 a 6415 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el 14.71% de 6416 a 8970 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el 2.94% con un valor mayor a 8970 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se trata de la muestra de Guapán en Cañar la cual tiene una Conductividad Eléctrica de 20220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y es la única muestra que posee un valor demasiado alto por lo que está fuera de los demás rangos (Fig. 56). Custodio y Llamas (2001) explican que la Conductividad Eléctrica crece conforme a la Temperatura, al contenido de iones disueltos y al tipo de iones. Se puede ver que el primer rango de frecuencia (116 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1415 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en cuanto a conductividad eléctrica es mayor, al igual que en los primeros rangos de Temperatura, de RSE o STD y RSC.

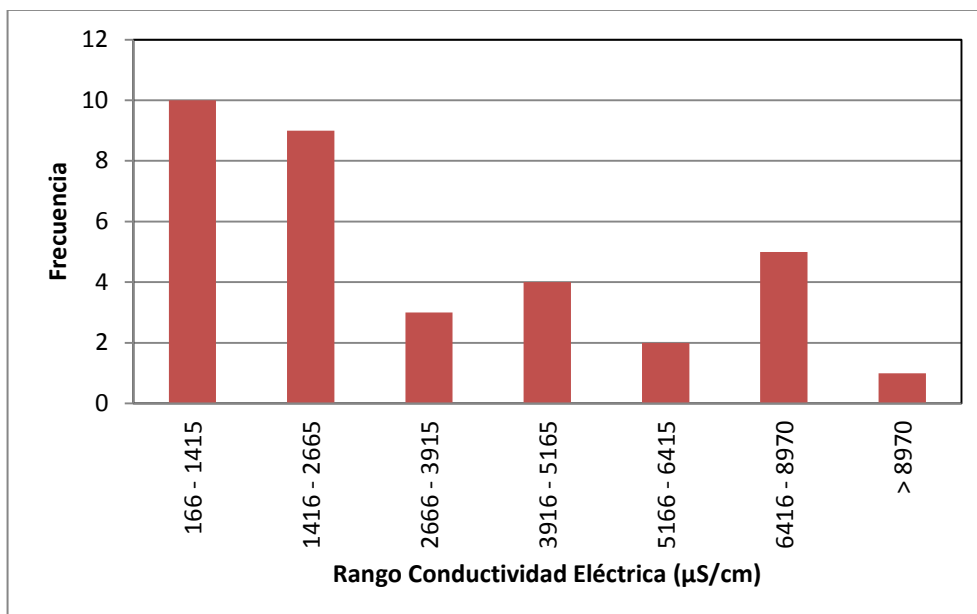


Figura 56. Distribución de frecuencias con respecto a la Conductividad Eléctrica de las muestras de aguas geotermiales

En el muestreo de aguas en cuanto al RSE o STD, el 58.82% están en el intervalo de 208 a 2058 mg/L, el 14.71% de 2059 a 3909 mg/L, el 17.65% de 3910 a 5760 mg/L, el 2.94% de 5761 a 7611 μS/cm, el otro 2.94% de 7612 a 9462 mg/L, y el otro 2.94% de 9463 a 11313 mg/L (Fig. 57). Roldán y Ramírez (2008) mencionan que la capacidad que tiene un agua para conducir una corriente eléctrica está en función de la concentración de iones presentes en ella, razón por la cual se espera que aguas con valores altos de RSE también van a tener valores altos en Conductividad Eléctrica y viceversa, por esta razón es que se encuentra una mayor frecuencia de datos para el primer rango (208 mg/L a 2058 mg/L) de RSE.

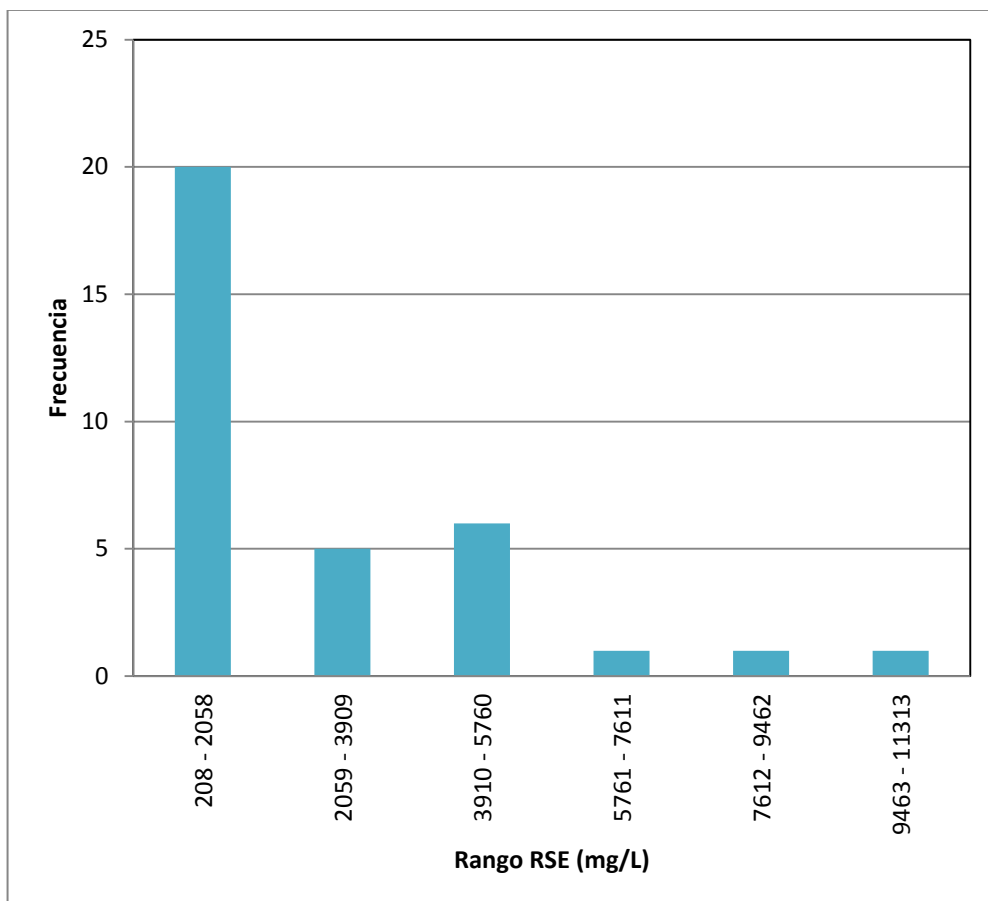


Figura 57. Distribución de frecuencias con respecto al RSE o STD de las muestras de aguas geotermiales

En el muestreo de aguas en cuanto al RSC, el 58.82% están en el intervalo de 116 a 1365 mg/L, el 17.65% de 1366 a 2615 mg/L, el 11.76% de 2616 a 3865 mg/L, el 5.88% de 3866 a 5115 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el otro 2.94% de 5116 a 6365 mg/L, y el otro 2.94% de 6366 a 10124 mg/L (Fig. 58). Para Custodio y Llamas (2001), el RSC tiene relación con la Temperatura, Conductividad Eléctrica y el RSE, razón por la cual existe mayor frecuencia de datos para el primer rango (116 mg/L a 1365 mg/L) de RSC.

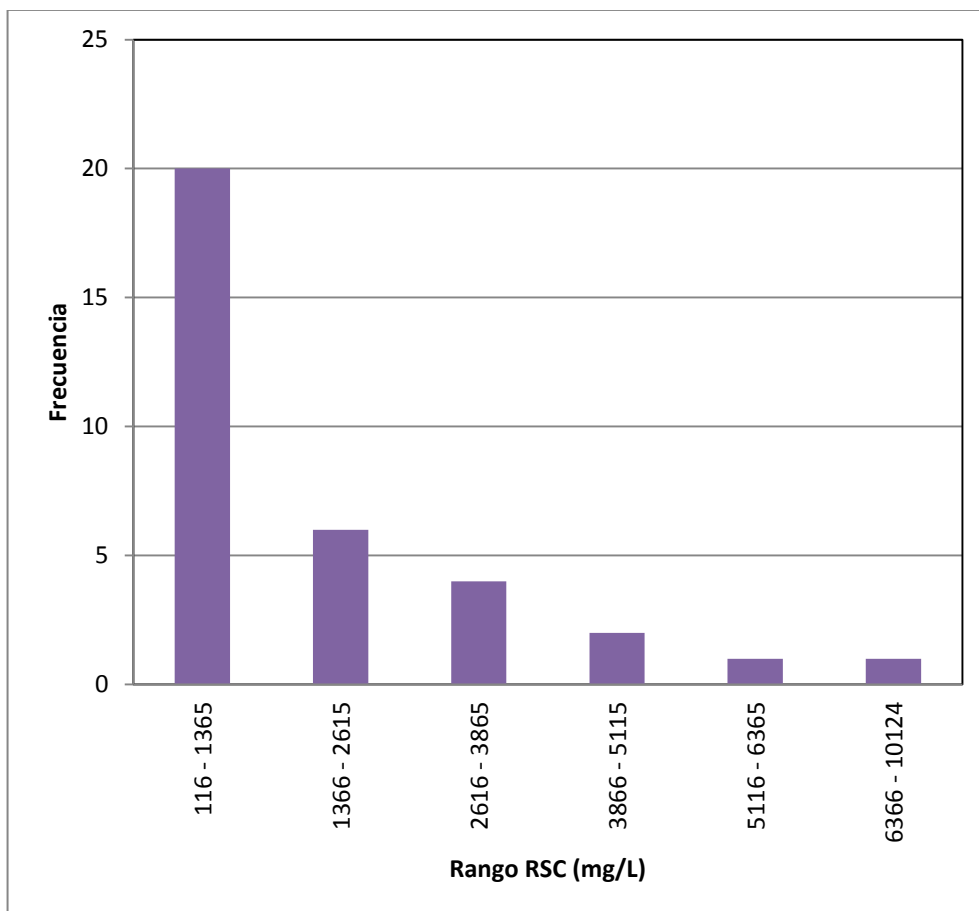


Figura 58. Distribución de frecuencias con respecto al RSC de las muestras de aguas geotermales

3.6. Índice de Langelier en las aguas geotermales muestreadas

El Índice de Saturación de Langelier visto en el capítulo 1 fue calculado para las muestras de agua analizadas como se indica en el Cuadro 5, y se dice que probablemente estas aguas de acuerdo a este índice sean en su mayoría, el 55.88% aguas con corrosión severa, el 26.48% aguas con corrosión leve pero sin formación de incrustaciones, el 8.82% aguas con formación leve de incrustaciones y corrosivas y el 8.82% aguas con formación de incrustaciones pero no corrosivas.

Cuadro 5. Muestras de Agua según el Índice de Saturación de Langelier

Interpretación	Aguas Geotermales Muestreadas
Corrosión Severa	Guachalá, Cununyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Los Elenes, La Virgen, Nagsiche, Aluchán, Lagartijas, Piscina Incaica (Peguche), Vertiente Sagrada (Peguche), Chachimbiro 2, La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, Aguas Hediondas, San Miguel de Car y El Puetate.
Corrosión leve pero sin formación de incrustaciones	Oyacachi, El Tingo, El Salado (piscina), El Salado (Vertiente), Jamanco, Santa Catalina (Papallacta), Nangulví, Gruta de la Paz y Rumichaca.
Equilibrada pero posible corrosión leve	Ninguna
Formación leve de incrustaciones y corrosiva	Guapán, Baños de Cuenca y Chachimbiro 1.
Formación de incrustaciones pero no corrosiva	Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua) y Guapante.

En algunos de los balnearios los administradores y personas encargadas de la limpieza de estos lugares manifestaron que por lo general se realiza un mantenimiento de las tuberías y conexiones de agua para evitar problemas de taponamiento. En balnearios como el de Jamanco por ejemplo, se realiza un mantenimiento de tuberías dos veces al año, en Guapán el mantenimiento y limpieza se realiza los días lunes, en Baños de Cuenca la limpieza de los canales de agua es semanal, en Nangulví la limpieza de tuberías se la realiza una vez al mes. En Santagua, balneario de Chachimbiro, existe una planta de ablandamiento del agua para evitar el taponamiento de las tuberías.

En la Figura 59 se puede observar el Mapa del Índice de Saturación de Langelier de las muestras de agua geotermal recolectadas.

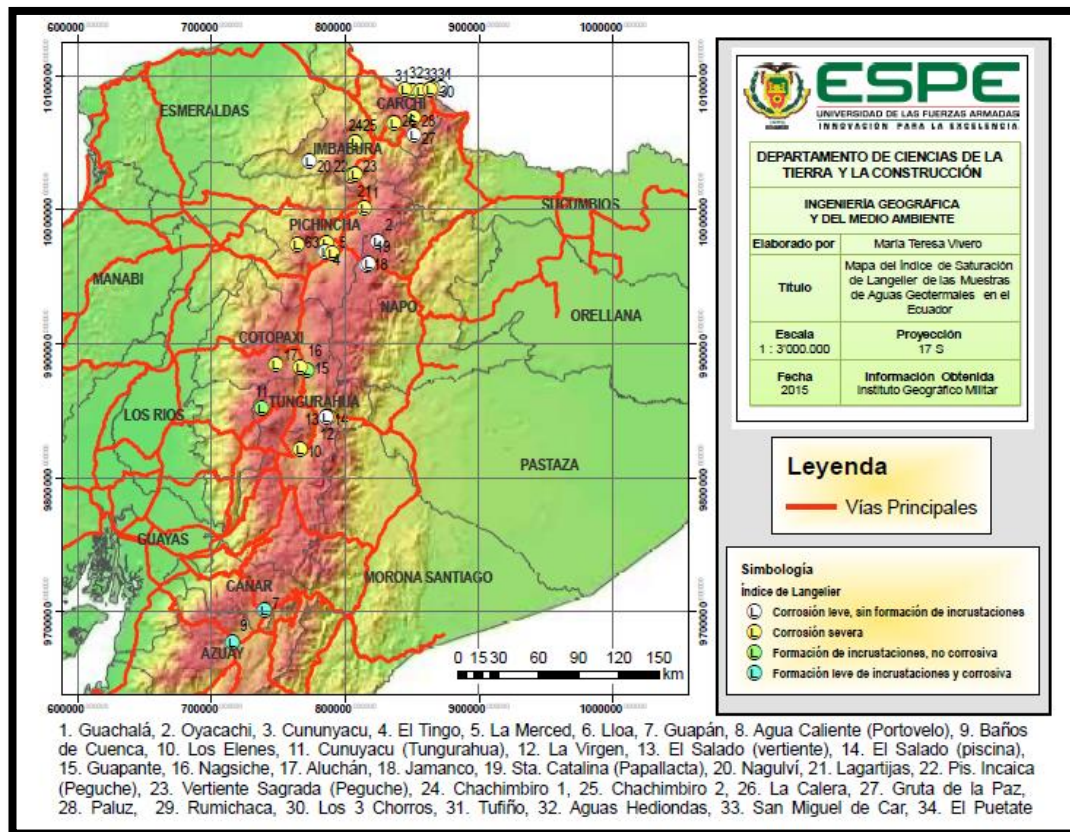


Figura 59. Mapa del Índice de Saturación de Langlier de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador

3.7. Clasificación de las aguas según los datos obtenidos

3.7.1. Clasificación por su Temperatura

En el Capítulo 1 se observó que las aguas geotermales pueden clasificarse en Frías, Hipotermales, Termales e Hipertermales según el criterio de INAMHI (2013). Como se aprecia en la Figura 560, las aguas geotermales muestreadas son en su mayoría Hipertermales ya que el 41.18% son de este tipo, mientras que el 20.59% son termales, el 32.35% hipotermales y el 5.88% son frías. Anteriormente se mencionó que la temperatura del agua tiene relación con la profundidad a la que estas se encuentran y que también la temperatura es mayor en zonas tectónicas y volcánicas y algo menor en grandes cubetas sedimentarias. Por esta razón, se dice que probablemente las aguas muestreadas que son Hipotermales y Termales, sean a su vez profundas y que estén ubicadas en zonas tectónicas y volcánicas. A diferencia de las aguas Hipotermales y frías que

pueden ser posiblemente aguas poco profundas y que estén ubicadas en zonas donde existe gran acumulación de sedimentos.

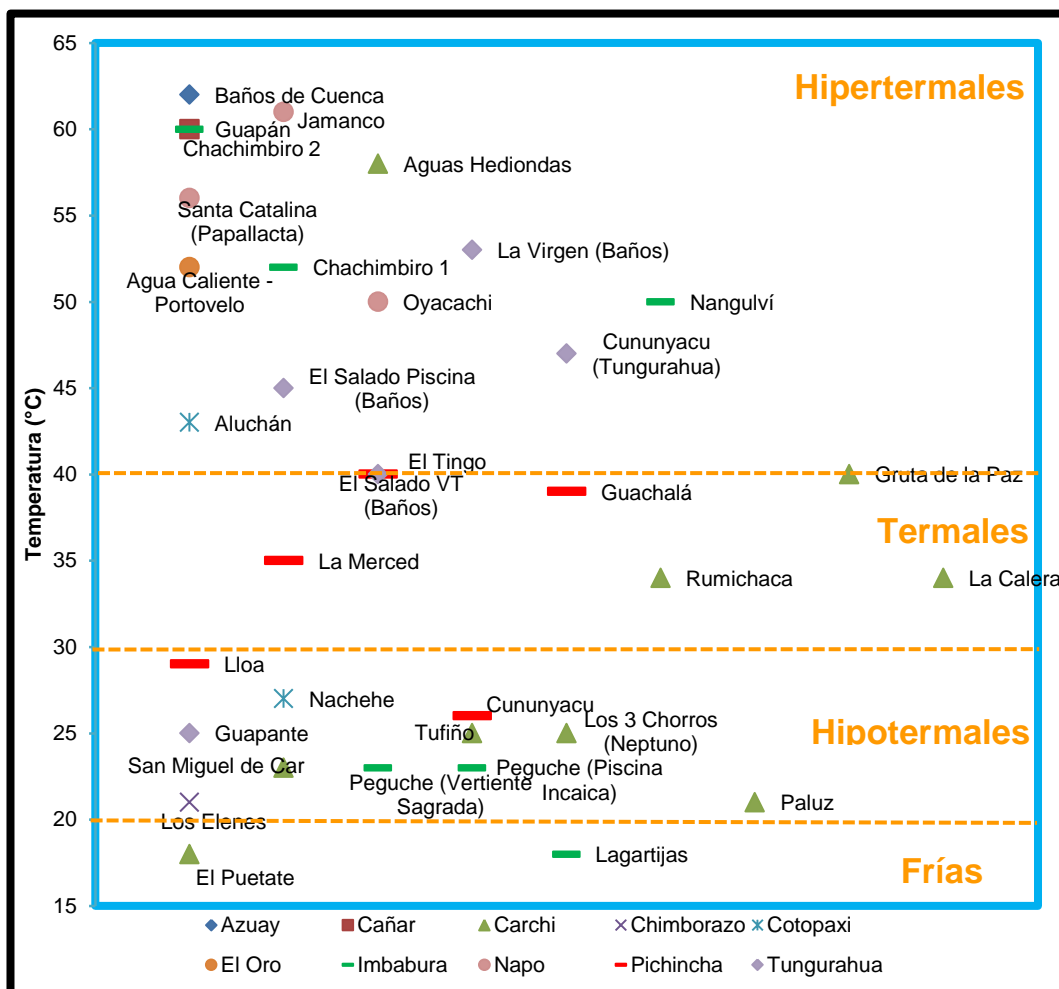


Figura 60. Clasificación de las Aguas Geotermiales muestreadas según su Temperatura

En la Figura 61 se puede observar el Mapa de la Clasificación según la Temperatura de las muestras de agua geotermal recolectadas.

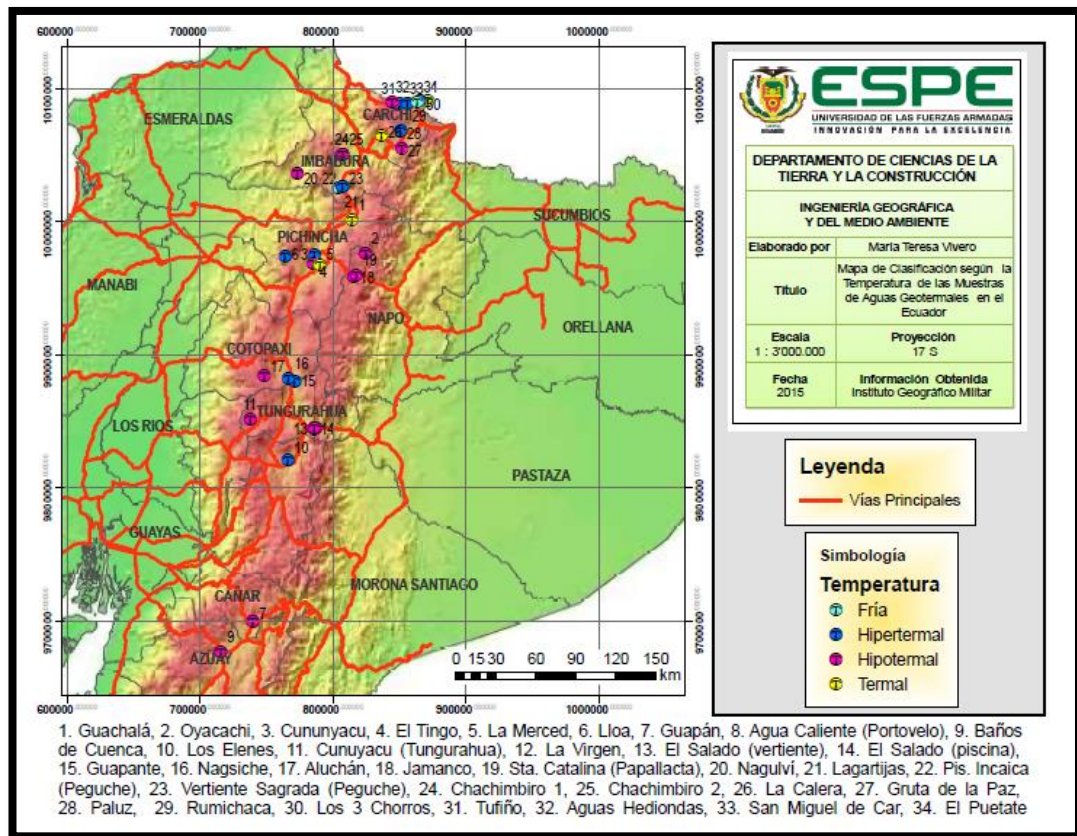


Figura 61. Mapa de la Clasificación según la Temperatura de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador

3.7.2. Clasificación según su Residuo Seco Evaporado a 110°C

En el capítulo 1 se mencionó que las aguas termominerales de acuerdo a su RSE o STD a 110 °C, según Maraver *et al.*(2003) pueden clasificarse en Oligometálicas, de Mineralización muy Débil, de Mineralización Débil, de Mineralización Media y de Mineralización Fuerte. Según la Figura 62 que se observa a continuación las aguas geotermales muestreadas en su mayoría, es decir un 76.37%, son de mineralización fuerte, mientras que el 14.71% son de mineralización media, el 5.88% son de mineralización débil, el 2.94% son de mineralización muy débil y ninguna es Oligometálica.

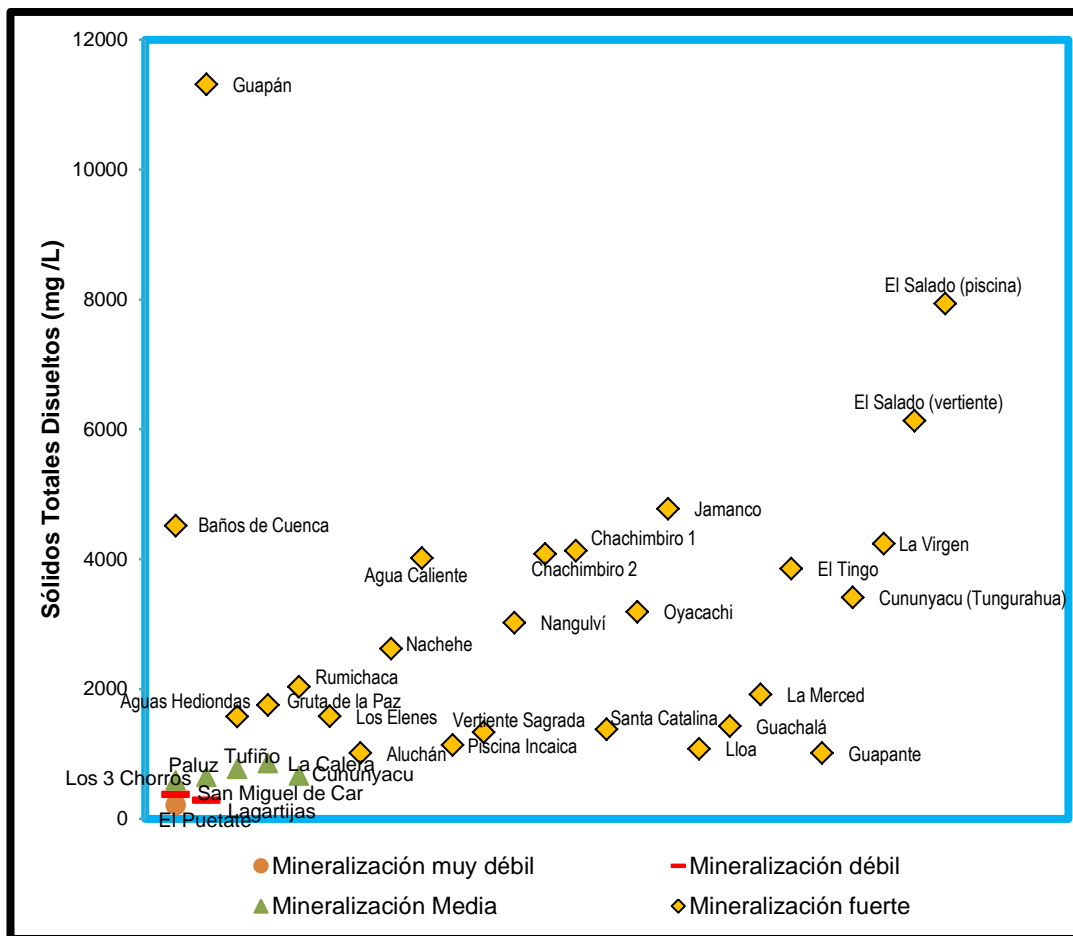


Figura 62. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas según el RSE

En la Figura 63 se puede observar el Mapa de la Clasificación el RSE a 110°C de las muestras de agua geotermal recolectadas.

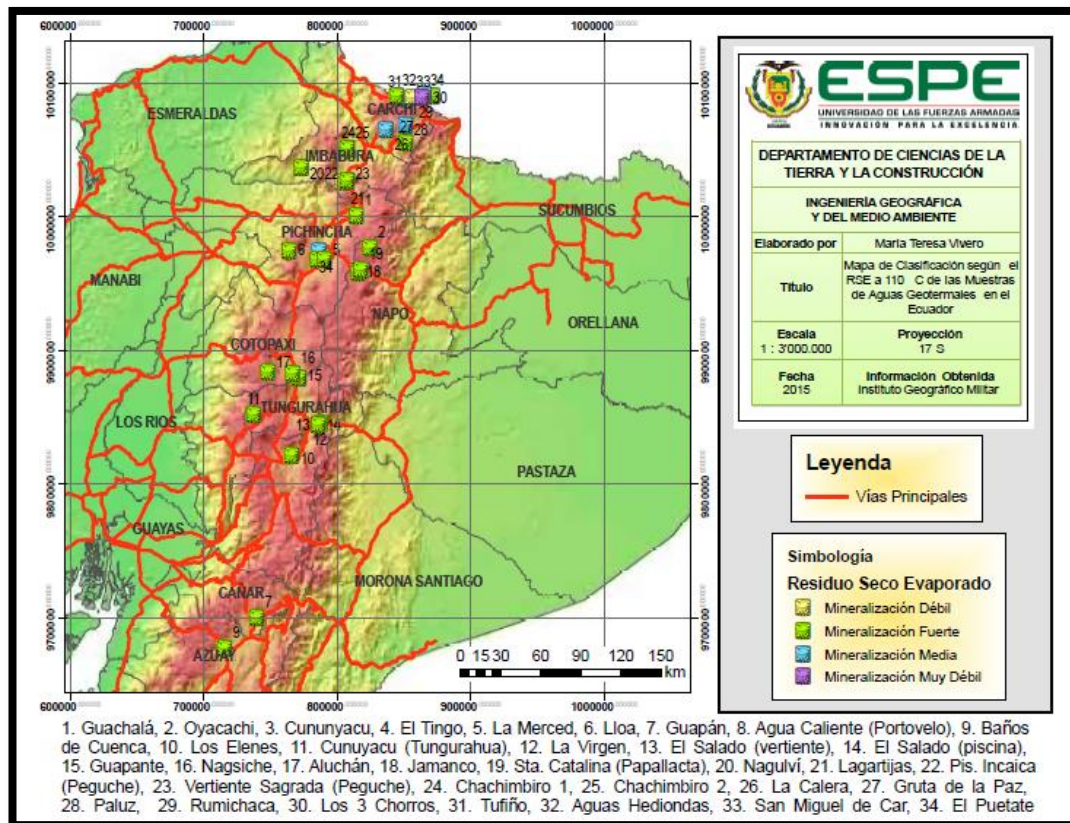


Figura 63. Mapa de la Clasificación según el RSE a 110°C de las Muestras de Aguas Geotermales en el Ecuador

3.7.3. Clasificación por su composición química

3.7.3.1. Según los aniones y cationes

En el Capítulo 1 se revisó que las aguas con más de 1 g/L de sustancia mineralizante pueden ser Cloruradas, Sulfatadas y Bicarbonatadas, y con mineralización inferior a 1 g/L de acuerdo a Maraver *et al.* (2003). Según este criterio se puede clasificar a las aguas geotermales muestreadas del callejón interandino del Ecuador, de modo que esta clasificación probablemente quedaría de la forma en que se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas según sus aniones y cationes

Tipo de Agua	Aguas Geotermales Muestreadas
Aguas Cloruradas	Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2.
Aguas Sulfatadas	Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas.
Aguas Bicarbonatadas	Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca.
Aguas con mineralización inferior a 1 g/L	Cunuyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate.

Como se puede observar la muestra de agua de La Virgen está en dos categorías, esto es debido a que no se observa una clara predominancia de una sustancia mineralizante específica, a diferencia de las demás muestras de agua geotermales analizadas. También se puede verificar el 44.12% de estas muestras de agua son aguas con mineralización inferior a 1 g/L, el 23.53% son aguas cloruradas, el 20.59% son aguas bicarbonatadas y el 11.76% son sulfatadas.

Sánchez (2012) además comenta que si se tiene aguas bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas, se puede distinguir tres zonas de profundidad a las que pueden encontrarse este tipo de aguas geotermales. Al tratarse de aguas bicarbonatadas y poco salinas, se habla de aguas localizadas en zonas superiores, con recorridos cortos y tiempos de permanencia de años o decenas de años. Para aguas más salinas y sulfatadas, se puede decir que se tratan de aguas ubicadas en zonas intermedias, con recorridos más largos y tiempo de permanencia de cientos a miles de años. Finalmente, si son aguas cloruradas y de salinidad más elevada, van a estar ubicadas en

zonas inferiores, van a tener largos recorridos y tiempos de permanencia de millones de años.

En la Figura 64 se puede observar el Mapa de la Clasificación según los aniones y cationes de las muestras de agua geotermal recolectadas.

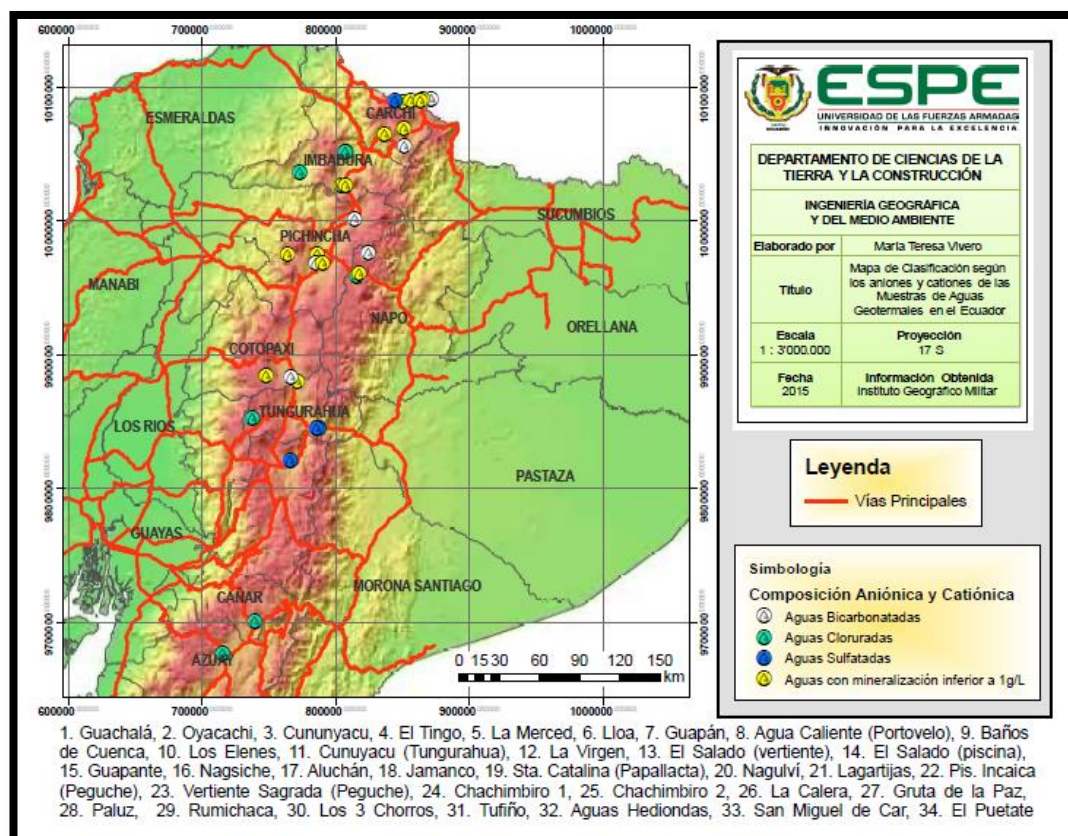


Figura 64. Mapa de la Clasificación según aniones y cationes de las Muestras de Aguas Geotermiales en el Ecuador

3.7.3.2. Según el Diagrama de Piper

En la Figura 65 se observa el diagrama trilineal de Piper para las aguas geotermiales muestreadas del callejón interandino del Ecuador. Para el caso de los cationes, el 38.24% son de tipo de sodio o potasio, el 8.82% son de tipo Na – Mg, el 20.59% son Mg – Na, y el 32.35% son de Tipo de Magnesio. En el caso de los aniones el 8.82% son de Tipo de Sulfato, el 55.88% son de Tipo de Bicarbonato, el 26.48% son de Tipo de Cloruro, el 2.94% son Cl – HCO₃, el otro 2.94% son Cl – SO₄ y el otro 2.94% son HCO₃ – SO₄.

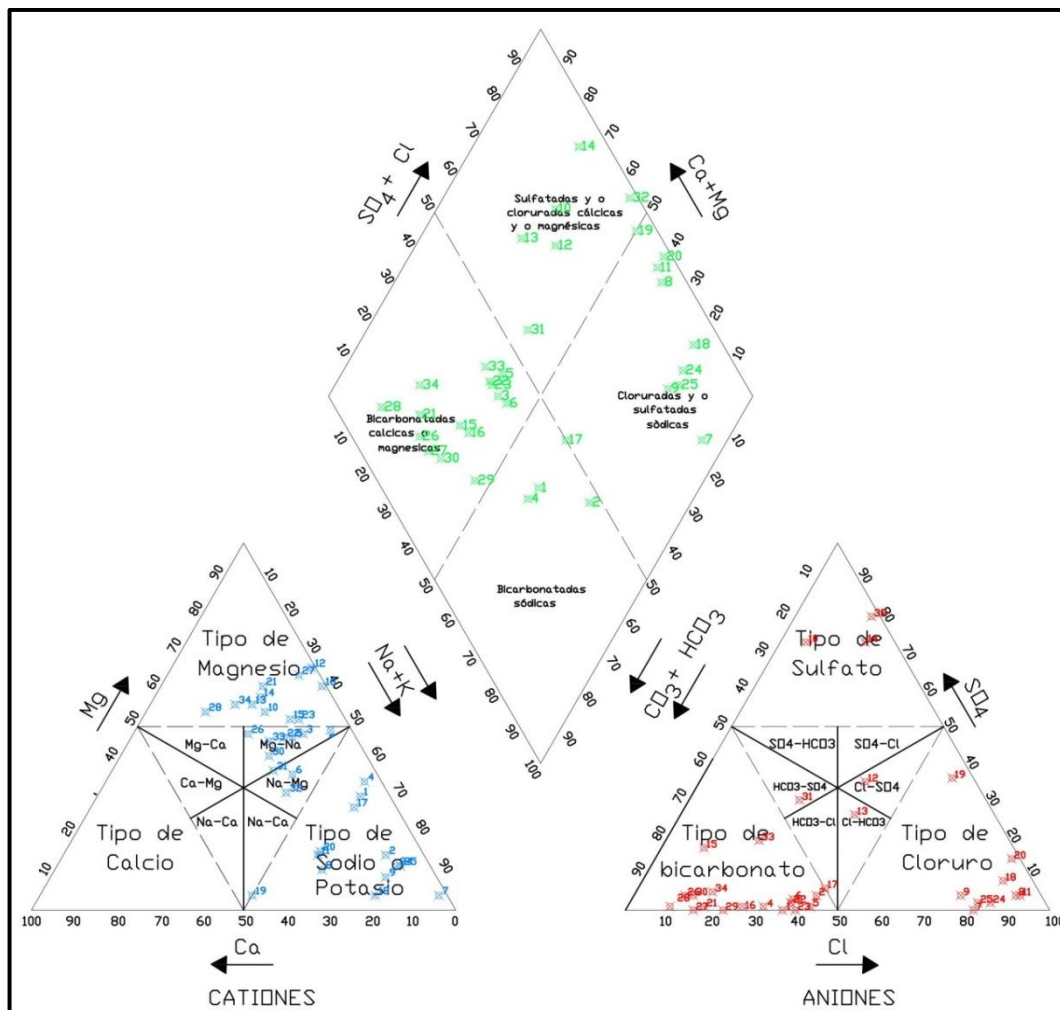


Figura 65. Diagrama de Piper de las 34 muestras de aguas geotermiales

Según la clasificación hidrogeoquímica de Piper se tiene que las aguas muestreadas sean clasificadas de la siguiente manera, como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación de las Aguas Geotermales muestreadas de acuerdo al Diagrama de Piper

Tipo de Agua	Aguas Geotermales Muestreadas
Aguas Bicarbonatadas Sódicas (17.65%)	Guachalá, Oyacachi, El Tingo, Aluchán, Chachimbiro 1 y 2.
Aguas Bicarbonatadas Cálcicas o Magnésicas (44.12%)	Cununyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Nagsiche, Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche), La Calera, Gruta de la Paz, Paluz, Rumichaca, Los Tres Chorros, San Miguel de Car y El Puetate.
Aguas Cloruradas sódicas (20.59%)	Guapán, Agua Caliente (Portovelo), Baños de Cuenca, Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Santa Catalina (Papallacta) y Nangulví.
Aguas Sulfatadas Cálcicas y/o Magnésicas (2.94%)	El Salado (piscina)
Aguas sulfatadas sódicas (2.94%)	Aguas Hediondas
Sulfatadas y/o Cloruradas Cálcicas y/o Magnésicas (11.76%)	Los Elenes, La Virgen, El Salado (vertiente) y Tufiño.

En la Figura 66 se puede observar el Mapa de la Clasificación según el Diagrama de Piper de las muestras de agua geotermal recolectadas.

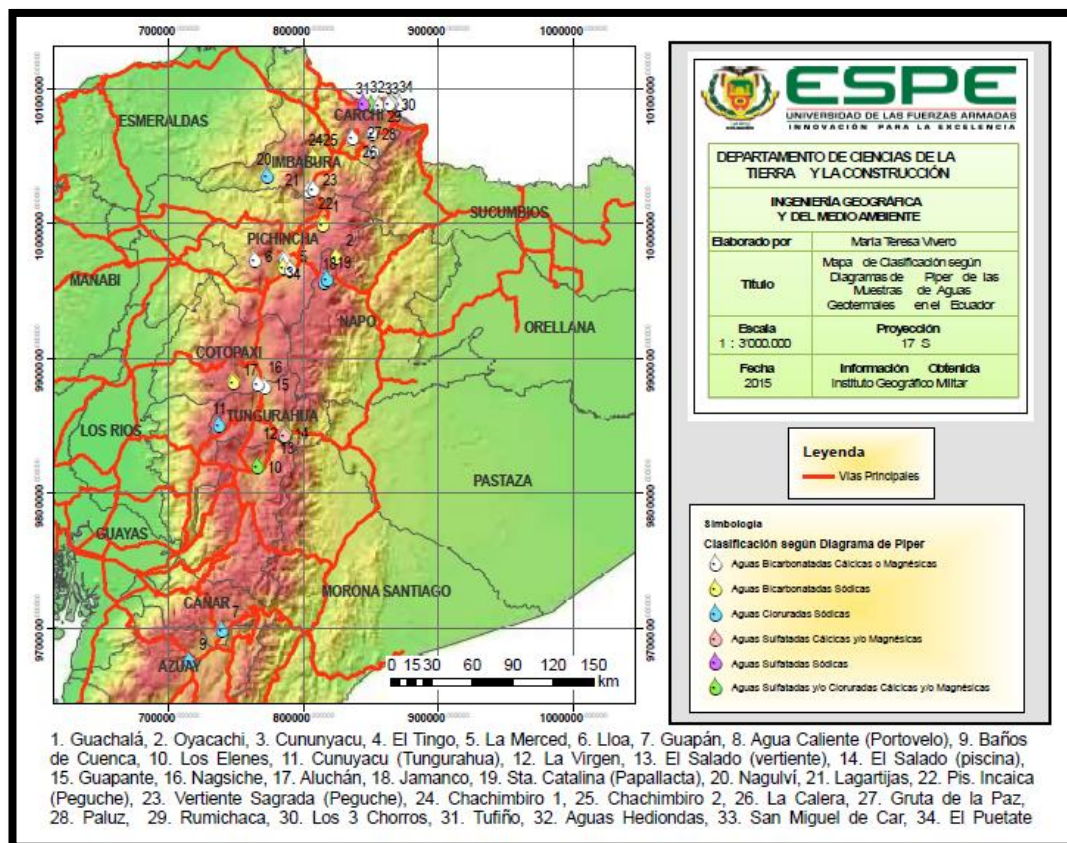


Figura 66. Mapa de la Clasificación según el Diagrama de Piper de las Muestras de Aguas Geotermiales en el Ecuador

3.7.4. Usos recomendables de aguas según su composición iónica para varios problemas de salud

3.7.4.1. Mecanismos de Acción

Una vez obtenida la clasificación de aguas geotermiales según su contenido aniónico y catiónico, Maraver *et al.* (2003) expone que las aguas mineromedicinales de este tipo tienen los siguientes mecanismos de acción que se muestran en el Cuadro 8:

Cuadro 8. Mecanismos de Acción de las Aguas Geotermales muestreadas

Tipo de Agua	Aguas Geotermales Muestreadas
<p>Aguas Cloruradas: Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanca, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2.</p>	<p>Actúan como estimulantes sobre las funciones metabólicas, mejoran el trofismo celular y los procesos de cicatrización y reparación tisular. Favorecen la circulación linfática y sanguínea.</p>
<p>Aguas Sulfatadas: Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas.</p>	<p>Actúan como purgantes, coleréticas (activadoras de la producción de bilis como función hepática), también actúa como colagogas (facilitador de la expulsión de la bilis retenida en la vesícula biliar), también son estimulantes del peristaltismo intestinal (contracciones y relajaciones del tubo digestivo para movilizar los alimentos).</p>
<p>Aguas Bicarbonatadas: Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca.</p>	<p>Actúan como antiácidas, aumentan la actividad pancreática, favorecen la digestión de las grasas, son hepatoprotectoras, favorecen la glucogenosis (transformar glucógeno en glucosa o favorecen la síntesis de la misma), favorecen la movilización y eliminación del ácido úrico en la orina.</p>
<p>Aguas con mineralización inferior a 1 g/L: Cunuyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate.</p>	<p>Actúan con efectos diuréticos, con acciones mecánicas de lavado y arrastre de sedimentos que dificultan todo tipo de calculosis.</p>

3.7.4.2. Vías de Administración

Jiménez (2002) y Maraver *et al.* (2003) indican que las principales vías de administración, las más sencillas y frecuentes son las que se muestran a continuación en el Cuadro 9:

Cuadro 9. Principales vías de administración para aguas geotermales

Vías de Administración	Indicaciones	Casos en aguas muestreadas
Hidropínica o cura en bebida	La finalidad de esta forma de administración es conseguir una diuresis superior a la dosis ingerida. Las aguas bicarbonatadas, cloruradas de escasa mineralización y las sulfatadas por lo general son administradas de esta manera.	Todas las aguas muestreadas
Balneación	Es decir la inmersión del cuerpo o parte de él en el agua minero – medicinal. Este tipo de balneaciones pueden ser generales (en piscinas, aerobaños, chorros subacuáticos o tipo jacuzzi) o locales (maniluvios, pediluvios o baños de asiento). Vía de administración recomendado para aguas cloruradas, sulfatadas y de escasa mineralización.	Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanca, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2, Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas, Cunuyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate.

CONTINÚA



Aplicaciones con presión	<p>Son las diferentes duchas o chorros, en donde puede variar la presión y la temperatura del agua. Pueden ser generales (ducha a presión, chorros, duchas masajes), locales (pediluvios, duchas lumbares, duchas anales y perianales, duchas hepáticas) y especiales (duchas babeantes es decir sin presión, duchas filiformes con alta presión para afecciones dermatológicas, odontología, irrigaciones vaginales y enteroclasia). Recomendado para aguas cloruradas, sulfatadas y de escasa mineralización.</p>	<p>Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2, Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas, Cunuyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguiche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate.</p>
Estufas	<p>Cuando se utiliza los gases, vapor de agua termal y nebulizaciones. Pueden darse en salas de nebulizaciones colectivas, estufas locales de pies o manos y en estufas dorsales o de columna. Se recomienda para aguas cloruradas y de escasa mineralización.</p>	<p>Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2, Cunuyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguiche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate.</p>

CONTINÚA



Peloides	Unión de un sustrato sólido con uno líquido, se caracterizan porque su aplicación permite mayor tolerancia a las temperaturas.	Todas las aguas muestreadas
Atmiátricas	Usadas para afecciones respiratorias y otorrinolaringologías a manera de lavados e irrigaciones (nasales y de senos), duchas (faríngeas o retronasales) y técnicas inhalatorias (humajes o humectaciones). Se recomienda para aguas cloruradas y de escasa mineralización.	Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2, Cununyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate.

3.7.4.3. Principales Indicaciones

Dolores osteoarticulares

San José (2008) menciona que este es uno de los motivos por el que los bañistas acuden a balnearios que usan este tipo de aguas. Para estas enfermedades se recomienda un tratamiento con aguas cloruradas, bicarbonatadas y sulfatadas pero que sean hipertermales como las de Oyacachi, El Tingo, Guapán, Agua Caliente (Portovelo), Baños de Cuenca, Cunuyacu (Tungurahua), La Virgen, El Salado (vertiente y piscina), Aluchán, Jamanco, Santa Catalina, Nangulví, Chachimbiro, Gruta de la Paz y Aguas Hediondas. Lo que se puede lograr con este tipo de aguas es una disminución de dolor e inflamación. Por lo general son recomendadas a pacientes con enfermedades como: artrosis, reumatismos inflamatorios, tendinitis, fibromialgia, secuelas de fracturas osteoporóticas.

Respiratorio

Según San José (2008) se emplean aguas cloruradas (Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2) por sus efectos broncodilatadores y aguas bicarbonatadas (Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca) por su acción desensibilizante en aplicaciones directas sobre la mucosa respiratoria. Maraver *et al.* (2003) comenta que estas aguas se emplean en tratamientos de rinitis crónica simple, rinitis hipertrófica, rinitis atróficas, sinusitis crónicas, catarro nasofaríngeo crónico, laringitis traqueal crónica y asma bronquial. Para problemas donde predomina la hipertrofia mucosa y linfática se emplean aguas cloruradas o sulfuradas cloruradas.

Digestivo

Maraver *et al.* (2003) menciona que en dispepsias (trastornos en la digestión después de las comidas) se emplean aguas bicarbonatadas sódicas (Guachalá, Oyacachi, El Tingo, Aluchán, Chachimbiro 1 y 2) y sulfatadas (Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas). Ulcus péptico gástrico o duodenal como coadyuvante aguas bicarbonatadas (Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca). Hernias del hiato y síndrome postgastrectomizados con aguas bicarbonatadas. Estreñimiento y constipación con aguas cloruradas sulfatadas (Los Elenes, La Virgen, El Salado (vertiente) y Tufiño). En atonía intestinal, litiasis biliar y discinesias con aguas sulfatadas, cloruradas y bicarbonatadas. Diverticulosis sigmoidea y prurito anal con aguas sulfatadas.

Riñón y vías urinarias

Según Maraver *et al.* (2003) se emplean aguas de origen geotermal para insuficiencia renal leve, litiasis renal sobre todo en tratamientos preventivos para la formación de cálculos úricos, oxálicos o fosfátidos, facilitando la expulsión, y para infecciones de vías urinarias.

Dermatología

Según San José (2008) las aguas cloruradas sódicas de fuerte y muy fuerte mineralización como las de Guapán, Agua Caliente (Portovelo), Baños de Cuenca, Cununyacu (Tungurahua), Jamanca, Santa Catalina (Papallacta) y Nangulví inhiben la proliferación celular en la piel psoriásica. Para Maraver *et al.* (2003) también se pueden tratar afecciones como pruritos, secuelas de quemaduras evitando cicatrices hipertróficas, liquen plano bucal, y dermatosis (en casos de ictiosis o úlceras varicosas) con aguas cloruradas como las de Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanca, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2 y sulfatadas como las de Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas.

3.7.5. Contraindicaciones de las Aguas Termales

Según Maraver *et al.* (2003) son muchos los factores que intervienen en una respuesta terapéutica ante el agua mineromedicinal, y estos pueden ser los que se indican a continuación en el Cuadro 10:

Cuadro 10. Contraindicaciones de las Aguas Termales muestreadas

Factores que intervienen	Explicación
La variación biológica o variancia	Son las diferencias de magnitud en la respuesta a una misma dosis de droga o agente entre individuos de la misma población. Es decir que, los efectos de los agentes nunca van a ser los mismos en todos los pacientes, ni si quiera en un mismo paciente en diferentes ocasiones.
Interacciones con drogas	Para pacientes medicados que no abandonan su medicación durante un tratamiento en un balneario.

CONTINÚA



El efecto placebo	Es decir la predisposición que tiene un paciente para curarse y que involucra una aceptación al conjunto de cambios en el ritmo habitual de vida durante su tratamiento. A este efecto se lo toma como un elemento más en el resultado final del tratamiento.
La interacción de los factores ambientales	Durante el tratamiento con aguas geotermales se tiene interacción con factores como el clima, el cambio de entorno, la alteración del ritmo de vida en función de una finalidad terapéutica, el reposo, el cambio en la actividad física y en los hábitos alimenticios. Todos estos son factores integrantes del conjunto de fenómenos que constituyen el tratamiento con este tipo de aguas.

Maraver et al. (2003) enumera como contraindicaciones a los siguientes procesos y estados:

- Embarazo
- Fase menstrual (puede resultar engorroso y atentatorio contra alguna norma de pudor)
- Ancianidad, se debe conocer el estado individual del mayor y el grado de control de su potencial pluripatología
- Edad infantil, sobre todo en casos de tratamientos respiratorios y de otorrinolaringología
- Enfermedades mentales graves, en el caso en que la cura termal puede agravar el estado del paciente diagnosticado de un proceso psiquiátrico controlado por un servicio especial
- Bronquiectasias sólo cuando un paciente ha sufrido una reinfección
- Cor pulmonale si es que se trata de un proceso agudo y con síntomas de insuficiencia cardíaca derecha
- En casos de insuficiencia renal grave e incluso terminal en diálisis se puede recibir este tipo de tratamientos pero se recomienda mantener una coordinación con un centro de referencia

- Cirrosis e insuficiencia hepática, en cuadros como hepatitis crónica, antecedentes de hábitos alcohólicos, cirrosis biliar primaria. Se contraindica la cura en los casos terminales debido al deterioro del estado general y en aquellos pacientes en los que la hipertensión suponga un compromiso de riesgo
- El infarto agudo de miocardio es una indicación de hecho en la rehabilitación del proceso, una vez controlados los factores de riesgo vascular
- Un accidente cerebrovascular recibe la misma consideración que un infarto agudo de miocardio
- Enfermedades como la esclerosis múltiple y otros procesos neurológicos degenerativos exigen una adecuada selección de la técnica a emplear, sobre todo en cuanto a la temperatura de aplicación del agua

Para San José (2008) existen las contraindicaciones que se muestran en el Cuadro 11 para cada tipo de agua geotermal:

Cuadro 11. Contraindicaciones para cada tipo de aguas geotermales muestreadas

Contraindicación	Tipo de aguas geotermales muestreadas
Reumatismos inflamatorios, reumatismos infecciosos, hemofilia, leucemia, mieloma, conectivopatías lúpicas, procesos tumorales malignos, grandes deformidades articulares.	<p>Aguas Cloruradas: Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cununyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2.</p> <p>Aguas Bicarbonatadas: Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca.</p> <p>Aguas Sulfatadas: Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas.</p>

CONTINÚA



Infecciones agudas, tuberculosis, asma grave e inestable	<p>Aguas Cloruradas Sódicas: Guapán, Agua Caliente (Portovelo), Baños de Cuenca, Cununyacu (Tungurahua), Jamanco, Santa Catalina (Papallacta) y Nangulví</p> <p>Aguas bicarbonatadas: Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca</p>
Insuficiencia renal, glomerulonefritis, neuropatías intersticiales, prostatitis, procesos malignos renales y de vías urinarias, cálculos difíciles de eliminar, insuficiencia cardíaca	<p>Aguas bicarbonatadas: Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca</p>
Enfermedades relacionadas con úlceras activas, patologías quirúrgicas y procesos malignos	<p>Aguas Cloruradas: Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cununyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2.</p>
Infecciones bacterianas y lesiones malignas	<p>Aguas Cloruradas Sódicas: Guapán, Agua Caliente (Portovelo), Baños de Cuenca, Cununyacu (Tungurahua), Jamanco, Santa Catalina (Papallacta) y Nangulví.</p>

3.7.6. Nocividad y Toxicidad de los iones y sustancias analizadas en las muestras de aguas geotermales del Ecuador

Custodio y Llamas (2001) hacen referencia en su texto a los principales aspectos de nocividad y toxicidad de los iones y sustancias disueltas más importantes, es así que se mencionan en el siguiente cuadro la probabilidad de nocividad y toxicidad que puede presentarse en las muestras de agua geotermal recolectadas a lo largo del callejón interandino en el Ecuador (Cuadro 12):

Cuadro 12. Nocividad y Toxicidad de los elementos analizados en las muestras de aguas geotermales del Ecuador

Elemento	Nocividad y Toxicidad	Casos en Aguas Muestreadas
Ion Cloruro, Cl^-	Más de 300 mg/L comunican sabor salado al agua de bebida, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm. Es esencial para la vida. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua.	Guachalá, Oyacachi, El Tingo, Guapán, Agua Caliente (Portovelo), Baños de Cuenca, Cununyacu (Tungurahua), La Virgen, El Salado (vertiente y piscina), Nagsiche, Jamanco, Santa Catalina, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2.
Ion Sulfato, SO_4^{2-}	Las aguas selenitosas (alto contenido en sulfato) no quitan la sed y tienen poco sabor agradable y amargo. Por sí mismo o si va asociado a magnesio o sodio en cantidad importante puede comunicar propiedades laxantes. En cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas.	Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas.
Ion Bicarbonato y Carbonato, HCO_3^- y CO_3^{2-}	No presenta problemas de toxicidad. Las aguas bicarbonatadas son malas para el riego, debido a la fijación de sodio en el terreno y creación un medio alcalino. El equilibrio entre CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} y pH es determinante de la corrosividad o incrustabilidad.	Formación de incrustaciones: Guapán, Baños de Cuenca y Chachimbiro 1, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua) y Guapante.

CONTINÚA



Ion Nitrato, NO_3^-	Concentraciones elevadas en agua de bebida puede producir cianosis en los niños y comunican corrosividad (oxidaciones) al agua y producen interferencias en fermentaciones.	Ninguna
Ion Sodio, Na^+	Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo: son especialmente nocivas si las concentraciones de calcio y magnesio son bajas.	Oyacachi, Agua Caliente (Portovelo), Jamanca, Chachimbiro 1 y 2.
Ion Potasio, K^+	No presenta problemas especiales a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas.	Ninguna
Ion Calcio, Ca^{2+}	El mayor inconveniente va asociado al aporte de dureza y producción de incrustaciones.	Formación leve de incrustaciones: Guapán, Baños de Cuenca y Chachimbiro 1, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua) y Guapante.

CONTINÚA



<p>Ion Magnesio, Mg^{2+}</p>	<p>Propiedades laxantes y da sabor amargo al agua de bebidas si hay algunos centenares de ppm. Contribuye a la dureza del agua y además a pH elevado puede dar $Mg(OH)_2$ incrustante.</p>	<p>Propiedades laxantes en aguas como: La Virgen, El Salado (vertiente y piscina), Nagsiche.</p>
<p>Iones derivados del Boro</p>	<p>En pequeñas cantidades ya es nocivo para las plantas pero no en el agua de bebida. Estudios de IPCS (1998) demuestran que exposiciones a corto plazo puede causar irritación en los ojos, vías respiratorias superiores y nasofaringe, esta irritación desaparece cuando cesa la exposición. Experimentos en animales de laboratorio comentan que el boro puede afectar la reproducción y el desarrollo del feto.</p>	<p>Para consumo humano, aguas con valores muy elevados y fuera del límite máximo permisible (0.75 mg/L) del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2: Guachalá, Oyacachi, El Tingo, Lloa, Guapán, Agua Caliente (Portovelo), La Virgen, El Salado (vertiente y piscina), Guapante, Nagsiche, Aluchán, Jamanco, Nangulví, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguiche), Santa Catalina, Chachimbiro 1 y 2, Gruta de la Paz, Rumichaca, Aguas Hediondas y El Puetate.</p>
<p>Fosfato, PO_4^{3-}</p>	<p>En las concentraciones usuales no origina problemas. Es esencial en el ciclo vital de los seres vivos pero lo adquieren por otros medios.</p>	<p>Ninguna</p>

CAPÍTULO IV

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

Con relación al contenido de carbonatos, según los análisis realizados se observó que en el balneario de Cunuyacu en Tungurahua se midió este anión. En el libro de INAMHI (2013) se pudo ver que existe un error, ya que todos los balnearios de la provincia del Carchi tenían concentraciones altas de carbonatos, y esto no puede darse debido a que el pH de estos balnearios en este texto y en los datos que se obtuvieron en esta investigación es inferior a 8.2.

Muestras como la de Guapán, Jamanco y Chachimbiro 1 mostraron valores altos de concentraciones de Na^+ y Cl^- , razón por la cual se pudo decir que probablemente estas aguas estuvieron cerca o atravesaron diapiros salinos.

Existieron valores altos de Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Solubles o RSE y Temperatura en Balnearios como el de Guapán, Jamanco, El Salado (vertiente), El Salado (piscina), La Virgen, Oyacachi, Cunuyacu (Tungurahua), Chachimbiro 1, Chachimbiro 2 y Baños de Cuenca, estos valores fueron revisados en bibliografía anterior y se observaron valores similares, lo que indicó que los mismos fueron correctamente medidos y analizados. Según los datos de Residuo Seco Evaporado se tuvo que la mayoría de las aguas geotermales estudiadas son de Mineralización Fuerte.

Más de la mitad de los balnearios fueron Hipertermales, es decir su temperatura fue mayor a 40°C. Los tres valores más altos de temperatura en las aguas geotermales muestreadas fueron los de Baños de Cuenca con 62°C, Jamanco con 61°C y Chachimbiro y Guapán y Chachimbiro 2 con 60°C. Mientras que los tres valores más bajos de temperatura en las aguas geotermales muestreadas fueron los de El Puetate y Lagartijas con 18°C, Los Elenes y Paluz con 21°C, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche) y San Miguel de Car con 23°C.

Los valores más altos de CE y STD fueron los de la muestra de agua de Guapán, con valores de 20220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 11380 mg/L respectivamente. Mientras que los valores más bajos de CE y STD fueron los de la muestra de agua de El Puetate, con valores de 166.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 208 mg/L respectivamente.

El diagrama de Piper ayudó a determinar que de las 34 muestras de agua geotermal recolectadas, 6 fueron Bicarbonatadas Sódicas, 15 fueron Bicarbonatadas Cálcicas y o magnésicas, 7 fueron Cloruradas Sódicas, 1 fue Sulfatada Cálcica o Magnésica, 1 fue Sulfatada Sódica y 4 fueron Sulfatadas y o Cloruradas Cálcicas y o Magnésicas.

Nueve de las aguas muestreadas (Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca) se clasificaron como Bicarbonatadas, de estas aguas se pudo decir que se ubicaron en una zona de poca profundidad, con recorridos cortos y tiempo de permanencia de años o decenas de años. Además cuatro de las aguas muestreadas (Los Elenes, La Virgen, El Salado (piscina), Aguas Hediondas) fueron clasificadas como sulfatadas y a estas aguas se las reconoció como aguas ubicadas en zonas intermedias, de recorridos más largos y con tiempo de permanencia de cientos a miles de años. Siete de las aguas muestreadas (Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cununyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2) fueron clasificadas como cloruradas, a partir de esto se pudo decir que se trataron de aguas ubicadas en zonas profundas, con largos recorridos y tiempo de permanencia de miles a millones de años.

Según el Índice de Saturación de Langelier estas aguas en su mayoría fueron aguas con corrosión severa, en menor porcentaje pero no menos importante aguas con corrosión leve pero sin formación de incrustaciones, y en porcentajes bajos aguas con formación leve de incrustaciones y corrosivas y aguas con formación de incrustaciones pero no corrosivas.

Con la clasificación de aguas geotermales según su composición iónica se llegó a determinar los principales efectos en la salud de los usuarios. Tal

es el caso de las aguas Sulfatadas las cuales sirven como purgantes naturales; en balnearios de la ciudad de Baños en la provincia de Tungurahua muchos turistas y lugareños manifestaron que ingieren el agua geotermal para facilitar su digestión y función intestinal, lo cual ayuda a corroborar la información que proporcionó este estudio. A esta clasificación también pertenecen las aguas de balnearios como el de Los Elenes y Aguas Hediondas quienes también pueden actuar como purgantes, coleréticas (activadoras de la producción de bilis como función hepática), también actúa como colagogas (facilitador de la expulsión de la bilis retenida en la vesícula biliar), también son estimulantes del peristaltismo intestinal (contracciones y relajaciones del tubo digestivo para movilizar los alimentos).

Aguas como las de Guapán, Baños de Cuenca, Agua Caliente (Portovelo), Cunuyacu (Tungurahua), Jamanco, Nangulví, Chachimbiro 1 y 2, clasificadas como cloruradas probablemente actúen como estimulantes sobre las funciones metabólicas, mejorarían el trofismo celular y los procesos de cicatrización y reparación tisular, favorecerían la circulación linfática y sanguínea.

Aguas como las de Guachalá, Oyacachi, El Tingo, La Virgen, El Salado (vertiente), Nagsiche, Gruta de la Paz, Rumichaca, clasificadas como bicarbonatadas probablemente actuarían como antiácidas, aumentarían la actividad pancreática, favorecen la digestión de las grasas, son hepatoprotectoras, favorecerían la glucogenosis (transformar glucógeno en glucosa o favorecen la síntesis de la misma), favorecerían la movilización y eliminación del ácido úrico en la orina.

Aguas como las de Cunuyacu (Pichincha), La Merced, Lloa, Guapante, Aluchán, Santa Catalina (Papallacta), Lagartijas, Piscina Incaica y Vertiente Sagrada (Peguche), La Calera, Paluz, Los Tres Chorros, Tufiño, San Miguel de Car y El Puetate, caracterizadas por poseer mineralización inferior a 1 g/L probablemente actuarían con efectos diuréticos, con acciones mecánicas de lavado y arrastre de sedimentos que dificultarían todo tipo de calculosis.

Las aguas de origen geotermal poseen varias propiedades preventivas y curativas, pero siempre es importante tomar en consideración las distintas contraindicaciones y los niveles de nocividad y toxicidad que estas podrían tener en relación a su composición iónica.

El presente estudio resaltó la importancia que tiene el recurso hídrico geotermal en el Ecuador. La clasificación de las aguas geotermales según su composición iónica ayudó a conocer la importancia de los diferentes efectos en la salud de los usuarios, razón por la cual se debería incentivar el desarrollo responsable del turismo comunitario de salud a lo largo del país.

4.2. Recomendaciones

Para conocer otras propiedades que poseen las aguas geotermales desde el punto de vista de la salud se puede realizar un análisis de sustancias mineralizantes especiales (para determinar si estas aguas son además sulfuradas, ferruginosas, radiactivas o carbogaseosas).

Si se desea seguir un tratamiento con aguas geotermales se recomienda acudir con un especialista en medicina, medicina natura, o en hidroterapia, el cual ayude a que el tratamiento sea más llevadero y por consiguiente evitar problemas adicionales en la salud.

Valores altos en CE, Sólidos Totales Disueltos, Temperatura y entre otros parámetros llaman la atención para la realización de nuevas e innovadoras investigaciones.

Se sugiere investigar a los diferentes organismos que se observan cerca o en estas aguas, y los motivos por los cuales se encuentran cerca a este tipo de lugares.

Se debería hacer un seguimiento médico multianual a los bañistas que se encuentren realizando cierto tratamiento que involucre el uso de este tipo de aguas geotermales con el propósito de conocer y evaluar si se ha dado una recuperación total o si se ha llegado a un estado de salud satisfactorio gracias a este tratamiento.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aguas con Mineralización Fuerte.- Son aguas de mineralización fuerte cuando contienen una gran concentración de minerales.

Aguas Oligometálicas.- Son aguas que presentan concentraciones minerales muy bajas.

Conductividad Eléctrica (CE).- Es la capacidad de un agua para conducir para conducir electricidad.

Contraindicación.- Es una situación específica en la cual no se debe usar un fármaco, procedimiento, tratamiento ya que puede dañar para el paciente.

Corrosividad.- Es la medida que sirve para determinar qué tan agresiva puede ser un agua, o que tanto puede llegar a deteriorar un material (tuberías, conexiones, instalaciones en redes de distribución de agua en los balnearios).

Incrustación.- Se llama así a la capa de residuos minerales que se forman en la superficie de algunos cuerpos (en este caso tuberías en las instalaciones de los distintos balnearios). Estas incrustaciones pueden provocar taponamientos en la tubería y en el sistema de distribución de agua geotermal.

Mecanismo de Acción.- Es el conjunto de efectos bioquímicos y fisiológicos que puede tener un fármaco, procedimiento o tratamiento sobre un paciente.

Nocividad y Toxicidad.- Son términos que sirven para designar y calificar a sustancias o elementos que resulten dañinos para algún tipo de organismo, en este caso para el ser humano.

Residuo Seco Evaporado (RSE) O Sólidos Totales Disueltos (STD).- Son los sólidos suspendidos totales o material volátil y no volátil resultante de evaporar cierta cantidad de agua a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Residuo Seco Calcinado (RSC).- Es la cantidad de materia orgánica (incluidos aquellos inorgánicos) capaz de volatilizarse por el efecto e calcinación a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 15 minutos a 20 minutos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, E., Cioni, R., Gherardi, F., Magro, G., Marini, L., & Pang, Z. (2005). Chemical and isotope characteristics of the Chachimbiro geothermal fluids (Ecuador). *Geothermics*, 495-517.
- APHA. American Public Health Association. (1995). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. (19th edition ed.). Washington, D.C.: Publication Office American Public Health Association.
- APHA. American Public Health Association. (1998). *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (20th edition ed.). Washington, D.C.: Publication Office American Public Health Association.
- Barrionuevo, Y. (2004). *La explotación de las aguas minero termales con fines turísticos. Estudio de las aguas termales de Machu Picchu y los circuitos turísticos. (Tesis de Maestría en Administración)*. Lima, Perú: Universidad Mayor de San Marcos.
- Benalcázar, C. (1981). *Ecuador, país de primavera en la mitad del mundo*. Ecuador: Editorial Época.
- Carrera, D. (2011). *Salinidad de suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica de Río Verde-Matehuala, San Luis Potosí. (Tesis de Doctorado en Ciencias)*. México: Colegio de Postgraduados.
- Custodio, E., & Llamas, M. (2001). *Hidrología Subterránea. Tomo I*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- De la Torre, S. (1 de Julio de 2015). *Turismo Comunitario ¿otro sueño inalcanzable?* Obtenido de World Tourism Organization Network – UNWTO:
http://www.usfq.edu.ec/publicaciones/polemika/Documents/polemika005/polemika005_006_articulo003.pdf.
- DINAMA. Dirección Nacional de Medio Ambiente – Laboratorio. (1996). *Manual de Procedimientos Analíticos para aguas y efluentes*. Uruguay: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

- EPA. Environmental Protection Agency. (1983). *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. Washington, D.C: EPA.
- HACH COMPANY. (2000). *Manual de Análisis de Agua Segunda Edición en Español*. Loveland, Colorado, EE.UU.
- IES Villalba Hervás. Instituto de Enseñanza Secundaria Villalba Hervás. (28 de 07 de 2015). *Riesgos y Catástrofes Naturales*. Obtenido de <http://riesgosycatastrofes1a.wikispaces.com/>
- INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). *Aguas Termominerales en el Ecuador*. Quito, Ecuador: INAMHI.
- Inguaggiato, S., Hidalgo, S., Beate, B., & Bourquin, J. (2010). Geochemical and isotopic characterization of volcanic and geothermal fluids discharged from the Ecuadorian volcanic arc. *Geofluids, Volumen 10*, 525 – 541.
- IPCS. International Programme on Chemical Safety. (28 de 07 de 2015). *Executive Summary of the Environmental Health Criteria for Boron (EHC 204)*. Obtenido de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc204.htm>.
- Jiménez, R. (23 de 07 de 2015). *Indicaciones y técnicas crenoterápicas de las aguas mineromedicinales*. Obtenido de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/in_n10c.pdf
- Maraver, F., Aguilera, L., Armijo, F., Martin, A., Meijide, R., & Soto, J. (2003). *Vademécum de Aguas Mineromedicinales Españolas*. Madrid: ISCIII-ANET-UCM.
- Moreno, P. (2006). *Readecuación del actual balneario “La Moderna” mediante la creación del complejo turístico de termo – salud e hidroterapia “Termas de la Virgen” para el desarrollo del turismo en el Cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua*. Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Muñoz, J. (1949). *Aguas Minerales del Ecuador y nociones de hidrología general*. Quito, Ecuador: Talleres Gráficos Nacionales.
- NMX-AA-008-SCFI-2000. (s.f.). *Análisis de agua – Determinación del pH – Método de prueba*.
- NTE INEN 0976. (1984). *Agua potable. Determinación de Cloruros*.

- Pantoja, J., & Gómez, A. (2000). *Géiseres y manantiales termales en México*. México: Ciencias.
- Plan Nacional del Buen vivir (2013 –2017). (27 de Junio de 2015). Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- Rafferty, K. (17 de Julio de 2015). *Scaling in geothermal heat pump systems*. Obtenido de <http://www.oit.edu/docs/default-source/geoheat-center-documents/otl/resources/scaling-geothermal-heat-pump-systems.pdf?sfvrsn=4>
- Rodríguez, R. (2000). *Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situados en Castilla – La Mancha. (Tesis de Doctorado)*. . La Mancha: Universidad de Castilla.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- WTW Inc. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH. (2012). *Laboratorio y Medio Ambiente – Manual de Uso de Equipo*. Alemania.