

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y
AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA

COMPARACIÓN GENÉTICA ENTRE LAS AGUAS TERMALES
DE BAÑOS DE CUENCA Y BAÑOS DE AGUA SANTA

EDWIN FABIAN QUINCHE FARINANGO

SERGIO VINICIO VELASTEGUI ZAMBRANO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero en
Geología

TUTOR

ING. LEONARDO ASTUDILLO

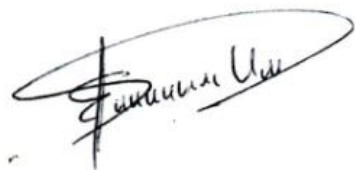
Quito, Enero, 2014

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Nosotros, EDWIN FABIÁN QUINCHE FARINANGO y SERGIO VINICIO VELASTEGUI ZAMBRANO, en nuestra calidad de autores de la tesis realizada sobre: **“COMPARACIÓN GENÉTICA ENTRE LAS AGUAS TERMALES DE BAÑOS DE CUENCA Y BAÑOS DE AGUA SANTA”**, por la presente autorizamos a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización seguirán vigentes a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, al mes de Enero de 2014



Edwin Fabián Quinche

C.C 171985206-1



Sergio Vinicio Velastegui

C.C 050324511-0

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor de Grado, presentado por los señores EDWIN FABIÁN QUINCHE FARINANGO y SERGIO VINICIO VELASTEGUI ZAMBRANO para optar el Título o Grado de **INGENIERO EN GEOLOGÍA**, cuyo título es: “**COMPARACIÓN GENÉTICA ENTRE LAS AGUAS TERMALES DE BAÑOS DE CUENCA Y BAÑOS DE AGUA SANTA**”, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Quito al mes de Enero del 2014



Ing. Leonardo Astudillo

TUTOR DE TESIS

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL


El tribunal constituido por: Ing. Galo Albán, Ing. Napoleón Báez. **DECLARAN:** Que la presente tesis denominada: “**COMPARACIÓN GENÉTICA ENTRE LAS AGUAS TERMALES DE BAÑOS DE CUENCA Y BAÑOS DE AGUA SANTA**”, ha sido íntegramente elaborada por los señores Edwin Fabián Quinche Farinango y Sergio Vinicio Velastegui Zambrano, egresados de la Carrera de Ingeniería en Geología, ha sido revisada y verificada, dando fe de originalidad del presente trabajo.

Ha emitido el siguiente veredicto: Se ha aprobado el Proyecto de Tesis para su Defensa Oral.

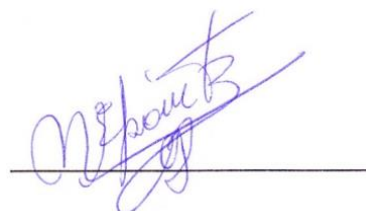
En la ciudad de Quito, al mes de Enero del 2014



Ing. Leonardo Astudillo
TUTOR DE TESIS



Ing. Galo Albán
ASESOR DE TESIS



Ing. Napoleón Báez
ASESOR DE TESIS

Dedicatoria

A nuestras familias por todo su sacrificio, dedicación e incondicional apoyo.

Agradecimientos

Ing. Leonardo Astudillo (UCE)

Ing. Galo Albán (UCE)

Ing. Napoleón Báez (UCE)

Ing. Napoleón Burbano (INAMHI)

Ing. Lenin Álvarez (ETAPA- CUENCA)

CONTENIDO	pág
RESUMEN:	XXI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 ENUNCIADO DEL TEMA	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 MARCO INSTITUCIONAL	6
2.2 MARCO LEGAL	6
2.3 MARCO ÉTICO	8
2.4 MARCO REFERENCIAL	9
2.4.1 ANTECEDENTES	9
2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO	10
2.4.2.1 BAÑOS DE AGUA SANTA (TUNGURAHUA)	10
UBICACIÓN	10
MORFOLOGÍA	12
HIDROGRAFÍA	14
VEGETACIÓN	16
2.4.2.2 BAÑOS DE CUENCA (AZUAY)	16

MORFOLOGÍA.....	19
HIDROGRAFÍA	21
VEGETACIÓN.....	24
VÍAS DE ACCESO	24
2.4.3 GEOLOGÍA	25
2.4.3.1 BAÑOS DE AGUA SANTA.....	25
GEOLOGÍA REGIONAL	25
GEOLOGÍA LOCAL.....	26
ROCAS DEL BASAMENTO.....	27
GEOMORFOLOGÍA.....	32
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	34
TECTÓNICA Y VOLCANISMO	36
2.4.3.2 BAÑOS DE CUENCA	37
GEOLOGÍA REGIONAL	37
SERIES DE RELLENO DE LA CUENCA	38
EVOLUCIÓN	45
GEOLOGÍA LOCAL.....	54
GEOMORFOLOGÍA.....	60
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	63
TECTÓNICA Y VOLCANISMO	65
2.4.4 HIDROLOGÍA	66
CICLO HIDROLÓGICO.....	67
2.4.4.1 METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	68
METEOROLOGÍA.....	68
CLIMATOLOGÍA.....	68
2.4.4.2 ELEMENTOS DEL CLIMA	69

PRECIPITACIÓN	69
2.4.4.3 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA	72
MÉTODO DE LAS ISOYETAS	73
MÉTODO DE THIESSEN	73
TEMPERATURA	75
EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN	75
MÉTODO DE THORNTHWAITE.....	76
BALANCE HÍDRICO.....	77
2.4.4.4 CLIMATOLOGÍA DE BAÑOS DE AGUA SANTA.....	78
PRECIPITACIÓN	78
BALANCE HÍDRICO.....	86
PRECIPITACIÓN	87
TEMPERATURA	93
EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	96
BALANCE HÍDRICO.....	96
2.4.5 HIDROGEOLOGÍA	98
2.4.5.1 PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA	99
2.4.5.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	99
POROSIDAD (Ø).....	100
PERMEABILIDAD (K)	101
2.4.5.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	103
2.4.6 HIDROGEOQUÍMICA	104
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA.....	104
2.4.6.1 CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	105
2.4.6.2 COMPORTAMIENTO DE LOS IONES PRINCIPALES	106
2.4.6.3 RELACIONES IÓNICAS.....	109

2.4.6.4 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS.....	110
2.4.6.5 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS TERMOMINERALES	111
SEGÚN SU ORIGEN GEOLÓGICO.....	111
SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	111
SEGÚN SU TEMPERATURA.....	114
2.4.6.6 MANIFESTACIONES TERMALES	114
2.4.6.7 ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES	116
ORIGEN METEÓRICO DE LAS AGUAS TERMALES	116
ORIGEN JUVENIL DE LAS AGUAS TERMALES	117
2.4.6.8 INTERACCIÓN AGUA TERMOMINERAL-ROCA.....	119
2.4.6.8 CALIDAD DEL AGUA	121
2.4.6.9 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS.....	123
EL PH DEL AGUA	123
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	123
SALINIDAD	125
ALCALINIDAD (TAC).....	126
DUREZA	126
2.4.6.10 MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA ...	127
DIAGRAMAS CIRCULARES	127
DIAGRAMA DE TICKEL	128
DIAGRAMA DE PIPER	129
DIAGRAMA DE STIFF	130
DIAGRAMAS DE SCHOELLER – BERKALOFF	132
2.7 HIPÓTESIS.....	133
CAPÍTULO III	134
DISEÑO METODOLÓGICO.....	134

3.1 TIPO DE ESTUDIO	134
3.2 UNIVERSO Y MUESTRA.....	134
3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	134
3.3.1 TÉCNICA.....	135
3.3.2 TRABAJO DE CAMPO.....	136
PROCESAMIENTO DE DATOS	136
3.4 PROCEDIMIENTO	136
3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	136
3.4.2 CLIMATOLOGÍA.....	138
3.4.3 PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	139
3.4.4 PROSPECCIÓN HIDROGEOQUÍMICA.....	139
3.5 FACTIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD	143
CAPÍTULO IV	144
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	144
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA.....	144
4.1.1 MICROCUENCAS DE BAÑOS DE AGUA SANTA.....	144
4.1.2 MICROCUENCAS DE BAÑOS DE CUENCA	146
4.1.3 ELEVACIÓN DE BAÑOS DE AGUA SANTA	148
4.1.4 ELEVACIÓN DE BAÑOS DE CUENCA	149
4.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	150
4.2.1 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	150
4.2.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE BAÑOS DE AGUA SANTA	151
4.2.3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE BAÑOS DE CUENCA.....	155
4.3 MECANISMO DE SURGENCIA DE LAS AGUAS TERMALES.....	161
GRADIENTE HIDRÁULICO:.....	161

EXPANSIÓN DEL VAPOR DE AGUA:	161
ACCIÓN DE LOS GASES OCLUIDOS Y DISUELTOS:	161
ACCIÓN DE LA TEMPERATURA:	161
ACCIÓN DE LA VISCOSIDAD:	162
4.4 CORRELACIÓN DE DATOS HIDROGEOQUÍMICOS	162
4.4.1 TEMPERATURA	162
4.4.2 PH	163
4.4.3 CONDUCTIVIDAD	163
4.4.4 DUREZA	164
4.4.5 SALINIDAD	165
4.5 INTERACCIÓN AGUA-ROCA	166
4.5.1 RELACIÓN CONDUCTIVIDAD VS TEMPERATURA	166
4.5.2 PH VS LA CONDUCTIVIDAD	168
4.6 RELACIONES IÓNICAS	169
4.7 MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA	171
4.8 TIPOS DE AGUAS	179
4.8.1 DESCRIPCIÓN DEL MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE BAÑOS DE AGUA SANTA	179
4.8.2 DESCRIPCIÓN DEL MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE BAÑOS DE CUENCA	183
CAPÍTULO V	188
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	188
5.1 CONCLUSIONES	188
5.2 RECOMENDACIONES	196
CAPITULO VI	198
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	198
6.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	198

6.2 WEBGRAFÍA	201
7. ANEXOS.....	202
ANEXO A. HIDROGEOQUÍMICA DE BAÑOS DE AGUA SANTA	202
ANEXO A - 1. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE SALADO_MUNICIPIO_1977 (INERHI).....	202
ANEXO A - 2. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE SALADO_GERARDOGUEVARA_SIN USO_1977 (INERHI).....	203
ANEXO A - 3. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE SALADO-2013 (INAMHI).....	204
ANEXO A - 4. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE SANTA ANA_DITURIS_1977 (INERHI)	205
ANEXO A - 5. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE LA VIRGEN_MUNICIPIO_1977 (INERHI).....	206
ANEXO A - 6. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE LA VIRGEN (INAMHI).....	207
ANEXO A - 7. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE LA VIRGEN_2013 (INAMHI).....	208
ANEXO A - 8. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE LA VIRGEN_DOMINGO SÁNCHEZ_1977 (INERHI)	209
ANEXO A - 9. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DE ILLUCHI BAJO_ADOLFO (INERHI)	210
ANEXO A – 10. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA TERMAL EN BAÑOS DE AGUA SANTA	211
ANEXO B. HIDROGEOQUÍMICA DE BAÑOS DE CUENCA.....	212
ANEXO B - 1. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE EL RIÑÓN – 2013 (INAMHI).....	212
ANEXO B - 2. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE PIEDRA DE AGUA - 2013 (INAMHI).....	213

ANEXO B - 3. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE DURÁN – 2013 (INAMHI).....	214
ANEXO B - 4. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE MERCHÁN L. - 2013 (INAMHI).....	215
ANEXO B - 5. DIAGRAMA DE TICKEL DE LA VERTIENTE SUSANA L. - 2013 (INAMHI).....	216
ANEXO B - 6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA TERMAL EN BAÑOS DE CUENCA	217
ANEXO C. GEOLOGÍA LOCAL DE LAS ZONAS DE ESTUDIO	218
GEOLOGÍA LOCAL DE BANOS DE AGUA SANTA	218
GEOLOGÍA LOCAL DE BAÑOS DE CUENCA.....	222
ANEXO D. GLOSARIO DE TERMINOS.....	226

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de Baños de Agua Santa.....	11
Figura 2. Ubicación de Baños de Cuenca.....	18
Figura 3. Mapa de rasgos estructurales principales del Ecuador...	35
Figura 4. Evolución de la cuenca de Cuenca.....	48
Figura 5. Evolución tectónico – sedimentaria de la cuenca de Cuenca, mostrando los diferentes episodios de depositación.....	50
Figura 6. Evolución de la cuenca de Cuenca, 1992.....	52
Figura 7. Columna estratigráfica del suroeste de la cuenca de Cuenca.....	58
Figura 8. Mapa de Pliegues y Fallas cuaternarias para la zona centro del Ecuador y regiones oceánicas adyacentes.....	64
Figura 9. Ciclo del Agua.....	67
Figura 10. Precipitaciones convectivas.....	70
Figura 11. Precipitaciones orográficas.....	71
Figura 12. Precipitaciones frontales.....	72
Figura 13. Diagrama para Método Thiessen.....	74
Figura 14. Balance Hídrico de la Estación Baños.....	87
Figura 15. Balance Hídrico de la Estación El Labrado.....	97
Figura 16. Esquema del origen meteórico de las aguas termales..	117
Figura 17. Esquema del origen mixto de las aguas termales.....	119
Figura 18. Diagrama Circular	128
Figura 19. Diagrama de Tickel.....	128
Figura 20. Diagrama de Piper.....	129
Figura 21. Tipos de Aguas Subterráneas en función del Diagrama de Piper.....	130
Figura 22. Diagramas de Stiff típico.....	131
Figura 23. Diagrama de Schoeller – Berkaloff.....	132
Figura 24. Relación CE vs Temperatura de las vertientes termales de Baños de Agua Santa.....	167
Figura 25. Relación CE vs Temperatura de las vertientes termales de Baños de Cuenca.....	167

Figura 26. Relación CE vs pH de las vertientes termales de Baños de Agua Santa.....	168
Figura 27. Relación CE vs pH de las vertientes termales de Baños de Cuenca.....	169
Figura 28. Diagrama de Piper de las muestras de agua termal en Baños de Agua Santa.....	173
Figura 29. Diagrama de Piper de las muestras de agua termal en Baños de Cuenca	174
Figura 30. Interpretación del Diagrama de Piper y tipos de fluidos presentes en las aguas termales de Baños de Agua Santa.....	175
Figura 31. Interpretación del Diagrama de Piper y tipos de fluidos presentes en las aguas termales de Baños de Cuenca.....	175
Figura 32. Diagrama de Schoeller de las aguas termales de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca.....	176
Figura 33. Modelo conceptual de la surgencia de las aguas termales de Baños de Agua Santa.....	181
Figura 34. Modelo conceptual de la surgencia de las aguas termales en Baños de Cuenca.....	183

LISTA DE CUADROS

Tabla N.1 Resumen de la geomorfología de Baños de Agua Santa.	34
Tabla N.2 Resumen de la geomorfología de Baños de Cuenca.....	50
Tabla N. 3 Series de precipitación media mensual de Baños de Agua Santa	80
Tabla N. 4 Tabla de Estaciones de Baños de Agua Santa por el Método de Thiessen	82
Tabla N.5 Series de temperatura media mensual de Baños de Agua Santa	85
Tabla N. 6 Balance Hídrico de la Estación Baños.....	86
Tabla N. 7 Series de precipitación media mensual de Baños de Cuenca.....	90
Tabla N. 8 Tabla de Estaciones de Baños de Agua Santa por el Método de Thiessen.....	92
Tabla N. 9 Series de temperatura media mensual de Baños de Cuenca	95
Tabla N.10 Balance Hídrico de la Estación El Labrado.....	97
Tabla N.11 Porosidad de sedimentos y rocas.....	101
Tabla N.12 Clasificación de las rocas según su permeabilidad.....	102
Tabla N. 13 Rango de concentraciones normales en aguas subterráneas y origen principal de algunos cationes y aniones.....	108
Tabla N.14 Relaciones iónicas habituales y su interpretación.....	109
Tabla N. 15 Rangos por el tipo de pendiente.....	137
Tabla N.16 Clasificación del agua según la escala de dureza.....	141
Tabla N. 17 Características de las microcuencas en Baños de Agua Santa.....	145
Tabla N. 18 Características de las microcuencas en Baños de Cuenca.....	147
Tabla N.19 Inventario de puntos de agua (INAMHI).....	150
Tabla N.20 Inventario de puntos de agua.....	151
Tabla N.21 Resultados de dureza del agua termal de Azuay y Tungurahua.....	165

Tabla N.22 Resultados de relaciones iónicas en Baños de Agua Santa.....	170
Tabla N.23 Resultados de relaciones iónicas en Baños de Cuenca	170
Tabla N.24 Clasificación de fuentes termales presentes en Baños de Agua Santa.....	171
Tabla N.25 Clasificación de fuentes termales presentes en Baños de Cuenca.....	172
Tabla N. 26 Tabla de porcentajes de iones en las aguas termales de Baños de Cuenca.....	187
Tabla N. 27 Parámetros de diferencia entre las zonas de estudio...	191

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de elevaciones de Baños de Agua Santa.....	13
Mapa 2. Mapa base de microcuencas de Baños de Agua Santa.....	15
Mapa 3. Mapa de elevaciones de Baños de Cuenca.....	20
Mapa 4. Mapa base de microcuencas de Baños de Cuenca.....	23
Mapa 5. Mapa geológico de Baños de Agua Santa.....	31
Mapa 6. Mapa geomorfológico de Baños de Agua Santa.....	33
Mapa 7. Mapa geológico de Baños de Cuenca.....	59
Mapa 8. Mapa geomorfológico de Baños de Cuenca.....	62
Mapa 9. Mapa de isoyetas de Baños de Agua Santa.....	79
Mapa 10. Mapa de Thiessen de Baños de Agua Santa.....	81
Mapa 11. Mapa de isotermas de Baños de Agua Santa.....	84
Mapa 12. Mapa de isoyetas de Baños de Cuenca.....	89
Mapa 13. Mapa de Thiessen de Baños de Cuenca.....	91
Mapa 14. Mapa de isotermas de Baños de Cuenca.....	94
Mapa 15. Mapa hidrogeológico de Baños de Agua Santa.....	154
Mapa 16. Mapa hidrogeológico de Baños de Cuenca.....	160
Mapa 17. Mapa de interpretación de los diagramas de Tickel para Baños de Agua Santa.....	178
Mapa 18. Mapa hidrogeoquímico de Baños de agua Santa.....	182
Mapa 19. Mapa hidrogeoquímico de Baños de Cuenca.....	186

LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

- 1) **IGM** Instituto Geográfico Militar.
- 2) **USGS** Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- 3) **INAMHI** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- 4) **INERHI** Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos.
- 5) **TULAS** Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario.
- 6) **INIGEMM** Instituto de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico.
- 7) **MAGAP** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y
AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA

COMPARACIÓN GENÉTICA DE LAS AGUAS TERMALES ENTRE BAÑOS DE
CUENCA Y BAÑOS DE AGUA SANTA

Autores: Edwin Fabián Quinche Farinango
Sergio Vinicio Velastegui Zambrano
Tutor: Ing. Leonardo Astudillo
Enero, 2014

RESUMEN:

Tesis sobre la “Comparación Genética entre las Aguas Termales de Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa”. **OBJETIVO GENERAL:** comparar genéticamente las aguas termales de Baños de Cuenca (Azuay) y Baños de Agua Santa (Tungurahua), de acuerdo a parámetros hidrogeológicos, geomorfológicos, geológicos e hidrogeoquímicos, con el fin de determinar su origen. **PROBLEMA** diferencia genética entre las aguas termales de Baños de Cuenca y de Baños de Agua Santa. **HIPÓTESIS:** En Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa existen condiciones geotectónicas favorables, se investigará su origen y tipo de fuente para la ocurrencia de sus manifestaciones termales. **MARCO TEÓRICO:** ubicación, condiciones geológicas, hidrológicas, hidrogeoquímicas, análisis físico-químicos y uso terapéutico. **MARCO REFERENCIAL:** El proyecto se desarrolla entre las provincias de Tungurahua cantón Baños y la provincia de Azuay parroquia Baños, particularmente sus vertientes termominerales. **MARCO METODOLÓGICO:** recolección de muestras de aguas, mapeo geológico, análisis e interpretación de datos. **CONCLUSIÓN GENERAL:** en Baños de Agua Santa las manifestaciones termales de tipo sulfatadas están asociadas al volcanismo activo del Tungurahua, mientras que para

Baños de Cuenca estas vertientes cloruradas se asocian una fuente geotérmica profunda.

RECOMENDACIÓN GENERAL: realizar un muestreo, análisis e interpretación más detallada de las fuentes termales y gases, así como de las rocas con alteración hidrotermal para caracterizar un posible sistema geotérmico, además se destaca que las enfermedades que podrían tratarse con estas aguas necesitan de un control médico o de un especialista.

DESCRIPTORES: HIDROLOGÍA, GEOLOGÍA, GEOQUÍMICA, PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA, ORIGEN DE LAS AGUA TERMALES.

CATEGORIAS TEMATICAS: <AT-BC-BAS–Climatología> <AT-BC-BAS–Interacción agua-roca> < AT-BC-BAS–Tipos de Agua Termal> <AT-BC-BAS–Uso terapéutico>.

DOCUMENTARY ABSTRACT

Thesis on "Genetic comparison between Hot Springs Baños of Cuenca and Baños of Agua Santa." **GENERAL PURPOSE:** To compare genetically Hot Springs Baños of Cuenca (Azuay) and Baños of Agua Santa (Tungurahua), according to hydrogeological, geomorphological, geological and hydrogeochemical parameters in order to determine its origin. **PROBLEM:** genetic difference between the Hot Springs Baños of Cuenca and Baños of Agua Santa. **HYPOTHESIS:** In Baños de Cuenca and Baños de Agua Santa geotechnical conditions are favorable, its origin and source type for the occurrence of the thermal manifestations are investigated. **THEORETICAL FRAMEWORK:** location, geological, hydrological, hydrogeochemical, physicochemical analysis and therapeutic use. **REFERENCE FRAMEWORK:** The project is located between the provinces of Tungurahua canton Baños and the province of Azuay parish Baños, particularly its thermal mineral springs. **METHODOLOGICAL FRAMEWORK:** collecting water samples, geological mapping, analysis and interpretation of data. **GENERAL CONCLUSION:** Baños de Agua Santa the sulfated type thermal manifestations are associated with active volcanism Tungurahua, while for these chlorinated Baths Basin slopes deep geothermal source is associated. **GENERAL RECOMMENDATION:** a sampling, analysis and more detailed interpretation of the hot springs and gases, as well as hydrothermally altered rocks to characterize a possible geothermal system also highlights that diseases could be treated with these waters require a control physician or a specialist.

WORDS: HYDROLOGY, GEOLOGY, GEOCHEMISTRY, EXPLORATION
HYDROGEOLOGICAL, ORIGIN OF HOT WATER.

THEMATIC CATEGORIES: <AT-BC-BAS– Weather> <AT-BC-BAS– water-rock interaction> < AT-BC-BAS– Thermal Water Types > <AT-BC-BAS– Therapeutic Use >.

INTRODUCCIÓN

La explotación de las fuentes termales data desde la época de los romanos y han sido utilizadas en todo el mundo debido a sus propiedades terapéuticas. Actualmente en el Ecuador el uso de este recurso ha aumentado debido al turismo médico y recreativo.

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo, su finalidad es la comparación entre las aguas termales de Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa (Universo), con el fin de relacionarlas con su génesis de acuerdo a la información geológica, hidrogeológica y geoquímica generada por el INAMHI, y por otras investigaciones disponibles en libros, informes y tesis.

En el Capítulo I se plantea el problema de investigación, su objetivo general, objetivos específicos y la justificación necesaria para determinar cuál es la génesis de las agua termales.

Dentro del Capítulo II del marco teórico, se identifican los parámetros institucional, ético y legal del instituto que brindara apoyo técnico al desarrollo del trabajo, además de una breve descripción de trabajos afines realizados anteriormente, incluye también la ubicación de las áreas de estudio y se establece y desarrolla el temario a seguir para evaluar las condiciones actuales del recurso termal en las zonas de estudio.

En el Capítulo III cuya sección corresponde al diseño metodológico, se especifica los métodos a utilizarse para la recolección de datos consultados, así como los datos facilitados por el INAMHI, además de las técnicas y software empleados para el desarrollo de la base de datos, elaboración de mapas, interpretación y comparación de datos para cada zona de estudio.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ENUNCIADO DEL TEMA

Comparación Genética entre las Aguas Termales de Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la diferencia genética entre las aguas termales de Baños de Cuenca y de Baños de Agua Santa?

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A lo largo y ancho del Ecuador existen varias manifestaciones termales, debido a su gran cantidad de complejos volcánicos, aunque no todas las aguas termales están relacionadas con el volcanismo. Así tenemos el complejo termal ubicado en la parroquia Baños de Cuenca en Azuay y la fuente termal en Baños de Agua Santa en Tungurahua.

“Las características físico-químicas de cada fuente termal están determinadas por su recorrido subterráneo, su profundidad, el tiempo de tránsito, los compuestos minerales y la variedad de rocas del subsuelo por las que pasan las aguas”, (GUBERT, 2008).

De la mineralización total del agua dependen muchas propiedades, tales como sus efectos osmóticos, densidad, viscosidad, etc., de gran significación bioquímica. Sin embargo, la mayoría de los efectos sobre el organismo se relacionan con su composición; esto es el

contenido de los iones disueltos, entre los que figuran los cationes sodio, calcio, magnesio, potasio, litio, hierro, etc., y los aniones cloruro, sulfato, bicarbonato, fluoruro, yoduro, además de la temperatura, conductividad que dependerán en gran parte a su origen; pero su distribución en la superficie de la tierra no es uniforme y obviamente está relacionada con zonas de actividad tectónico-volcánica reciente en términos geológicos, lo cual quiere decir que esta actividad ha tenido lugar en los últimos cientos de miles de años (Fagundo-1996).

Se estudia la relación entre la composición, la geología local y clasificación de las aguas de acuerdo a diferentes criterios como: temperatura, mineralización e hidroquímica, posteriormente, de acuerdo a la concentración de aniones y cationes, se estudia la variación temporal de la composición química, se evalúa la calidad químico – física y sanitaria, así como el potencial existente para su explotación, protección y uso terapéutico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar genéticamente las aguas termales de Baños de Cuenca (Azuay) y Baños de Agua Santa (Tungurahua), de acuerdo a parámetros hidrogeológicos, geomorfológicos, geológicos e hidrogeoquímicos, con el fin de determinar su origen.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información existente disponible para las zonas de estudio (Informes, Cartas Geológicas, literatura científica).
- Realizar un estudio de los parámetros hidrogeológicos de la zona Baños de Agua Santa y de Baños de Cuenca, para comprender el modelo conceptual hidrogeológico de las áreas y su posible aprovechamiento hidrológico.
- Investigar las estructuras tectónicas regionales, los aparatos y productos volcánicos recientes, para evaluar la existencia de una potencial fuente de calor.

- Establecer los principales rasgos geológicos, geomorfológicos y estructurales para definir las condiciones de circulación de aguas hidrotermales en las zonas de estudio.
- Elaborar los mapas temáticos: hidrogeológicos, hidrogeoquímicos y geológicos, para determinar la presencia de manifestaciones termales.
- Analizar las propiedades físico-químicas de las aguas termales, en base al análisis de temperatura, pH, conductividad, aniones, cationes de las muestras tomadas de vertientes y/o pozos perforados, para determinar las propiedades de cada fuente hidrotermal.
- Determinar las condiciones de calidad y potencial de las aguas termales en Baños de Cuenca y de Baños de Agua Santa, para uso terapéutico y como fuente de energía alternativa.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo económico e industrial de un país, está directamente relacionado con el beneficio y explotación racional de sus recursos naturales, tanto hídricos como minerales, por esta razón se debe reflexionar sobre su riqueza, y las posibilidades de un desarrollo sostenible, el fin es proporcionar una actividad económica adicional para el desarrollo del país.

Este trabajo pretende ser un aporte técnico y práctico para el estudio de las propiedades de los diferentes tipos de aguas termales, pues en el caso de Baños (Tungurahua) las aguas termales están relacionadas directamente con el volcán Tungurahua y en el caso de Baños (Azuay) el calentamiento de las aguas está relacionado posiblemente con la tectónica de una cuenca sedimentaria, para verificar esto se utilizara información suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Además el estudio de las aguas termales será un aporte porque busca establecer sus características y propiedades, mismas que pueden ejercer efectos terapéuticos. Dichos efectos benéficos guardan relación con las cualidades físico-químicas de las aguas mineromedicinales al momento en que éstas emergen, dado que, en muchos casos, la

conservación o envasado de las mismas conlleva una pérdida o alteración de tales propiedades terapéuticas; es por lo último que se hace referencia a que el aprovechamiento de las propiedades de las aguas termales debe llevarse a cabo en las cercanías de los manantiales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO INSTITUCIONAL

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es una entidad con autonomía administrativa y técnica, con representación nacional e internacional. El INAMHI fue creado el 4 de agosto de 1961 y por disposición legal es el rector, coordinador y normalizador de la política hidrometeorológica nacional. Su normativa constitutiva le faculta para el establecimiento, operación y mantenimiento de la Red de Estaciones Hidrometeorológicas, razón por la cual es una institución que genera información básica y suministra servicios y productos hidrometeorológicos necesarios para el desarrollo del país (INAMHI, 2013).

2.2 MARCO LEGAL

INAMHI es una Institución con representación nacional e internacional, miembro de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), cuyo servicio es Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador creado por Ley, como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de suministrar información vital sobre el tiempo, el clima y los recursos hídricos del pasado, presente y futuro, que necesita conocer el país para la protección de la vida humana y los bienes materiales para contribuir al desarrollo económico y social del país (INAMHI, 2013).

La Constitución de la República del Ecuador, dicta:

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios

establecidos en la Constitución, en lo que proceda (Capítulo VII, Derechos de la naturaleza, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR).

Art 276.- Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural. (TÍTULO VI RÉGIMEN DE DESARROLLO, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR).

Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución. Biodiversidad y recursos naturales, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR).

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua. (Biodiversidad y recursos naturales, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR)

Mientras que la Ley de aguas en sus artículos establece:

De las aguas minerales, termales y medicinales

Art. 15.- *El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Ley de aguas, 2004)*

Art. 49.- *Las aguas minerales, termales y medicinales se explotarán preferentemente por el Estado, Municipalidades o mediante concesiones del derecho de aprovechamiento a particulares, y también celebrando contratos de asociación, para destinarlas a centros de recuperación, balnearios, plantas de envase, etc. (Ley de aguas, 2004).*

Art. 52.- *El Consejo Nacional de Recursos Hídricos determinará la disponibilidad de las aguas de los ríos, lagos, lagunas, aguas corrientes o estancadas, aguas lluvias, superficiales o subterráneas y todas las demás que contemplan esta Ley, como aptas para los fines de riego. (Ley de aguas, 2004).*

2.3 MARCO ÉTICO

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), produce información fundamental para emitir alertas tempranas que pueden salvar muchas vidas, reducir los daños materiales y proteger el medio ambiente. Además mantiene un sistema de cooperación y suministro de información oportuna y segura, con los medios de comunicación, prensa, radio, televisión para la entrega del pronóstico diario del tiempo, predicciones y avisos de fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos, al público; Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo; Gobierno Central y otros organismos públicos y privados (INAMHI, 2013).

Los procesos que se realizarán en el desarrollo del proyecto de investigación se administran considerando los principios de la empresa, de las economías locales y respetando siempre el desarrollo sustentable y sostenible de los recursos que nos proporciona el ambiente.

2.4 MARCO REFERENCIAL

2.4.1 ANTECEDENTES

Se han realizado varios trabajos sobre el origen de las aguas termales en otras partes del mundo, así como en el Ecuador. De estos podemos destacar el estudio realizado en el Instituto de Aguas de Murcia, España en el año de 1996 por Ignacio Genovés cuyo título es “GÉNESIS GEOLÓGICA E HIDROGEOLOGÍA DE LA SURGENCIA DE AGUAS TERMALES EN LOS BAÑOS DE FORTUNA”; el mismo propone un modelo que explica la surgencia de aguas termales en los Baños de Fortuna y expone los argumentos que sustentan dicho modelo.

Otro estudio importante relacionado al problema de investigación es el de “PROPIEDADES HIDROGEOQUÍMICAS E ISOTÓPICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TULIÁN, PUERTO CORTÉS, HONDURAS” realizado por Tirza Contreras de la Universidad de Costa Rica en el 2011. En este estudio se identifican las propiedades hidroquímicas e isotópicas del agua subterránea recolectada en 11 manantiales. A partir de los valores de los isótopos estables, deuterio y oxígeno 18, se deduce que el origen del agua subterránea es meteórico.

De los estudios realizados en Ecuador se tiene la tesis de grado “CARACTERIZACIÓN GEOTÉRMICA Y CONSIDERACIONES AMBIENTALES DE LOS BAÑOS TERMALES DE SAN VICENTE, PROVINCIA DEL GUAYAS” realizado por Miguel González en 2003. Este trabajo presenta un modelo estructural de la surgencia de las aguas termales de San Vicente, y un estudio bacteriológico de las mismas.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA (2012). “DIAGNOSTICO DEL INVENTARIO DE RECURSOS HIDRICOS EN LA PROVINCIA DEL AZUAY, Cuenca”. El informe citado, plantea entonces evaluar la experiencia sobre el Inventario de los Recursos Hídricos del Azuay, sobre la base de las metodologías utilizadas, para formular una nueva que sirva de prototipo para el país.

Burbano, N., Becerra, S. (2011). Inventario de Puntos de Agua. INAMHI, Grupo de Aguas Subterráneas, Quito.

2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

2.4.2.1 BAÑOS DE AGUA SANTA (TUNGURAHUA)

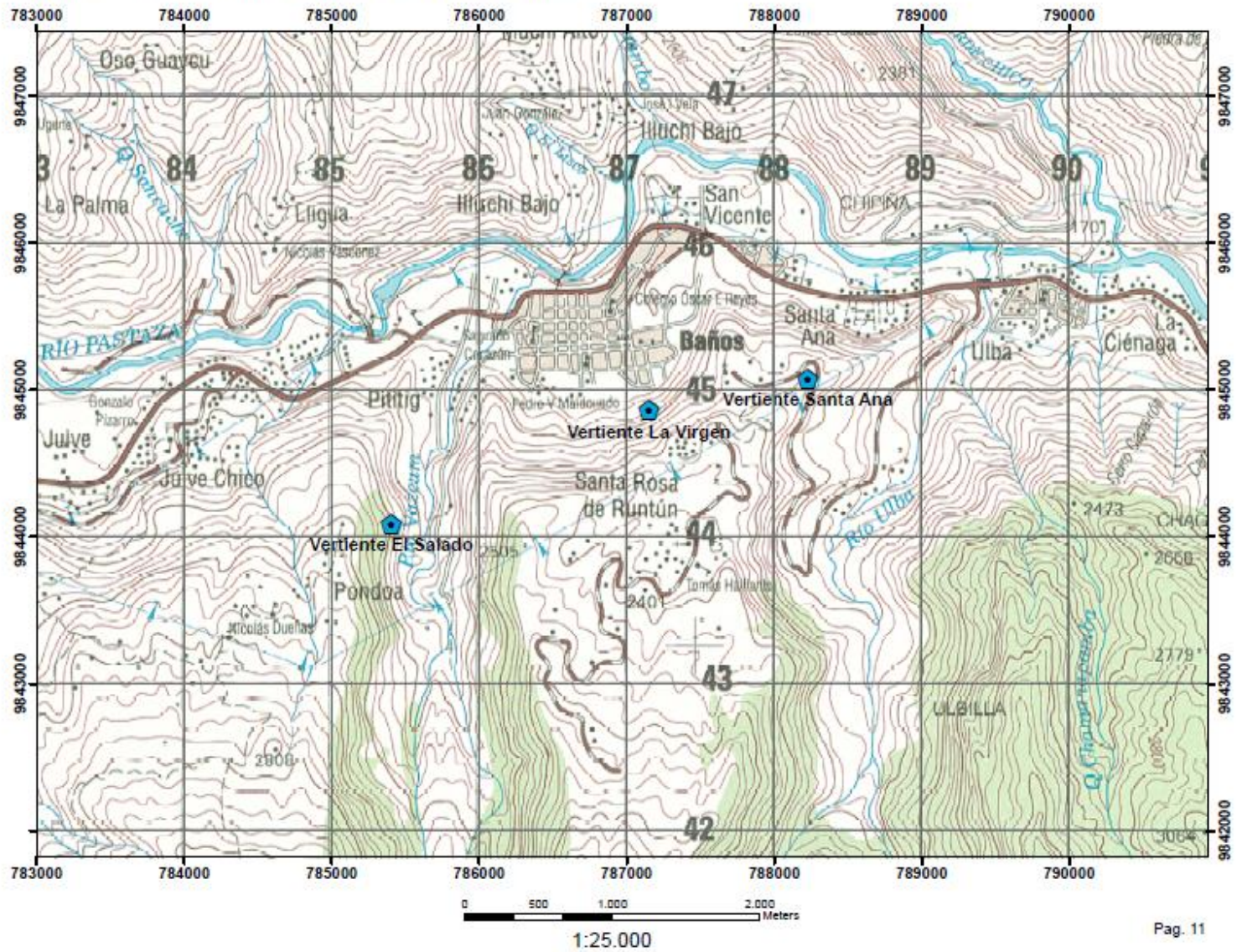
UBICACIÓN

Baños de Agua Santa se encuentra en la provincia de Tungurahua a 180 Km de Quito y 35 Km de Ambato (Figura N.1).

“La ciudad de Baños está ubicada en el valle interandino con cascadas y aguas termales a lado este del volcán Tungurahua (5016 metros) y posee una población con 20 000 habitantes, está a una altura de 1826 m.s.n.m y posee temperatura promedio de 20°C”¹.

¹Fuente: <http://www.banios.com> 14-03-2013

Figura 1. Ubicacion de Baños de Agua Santa



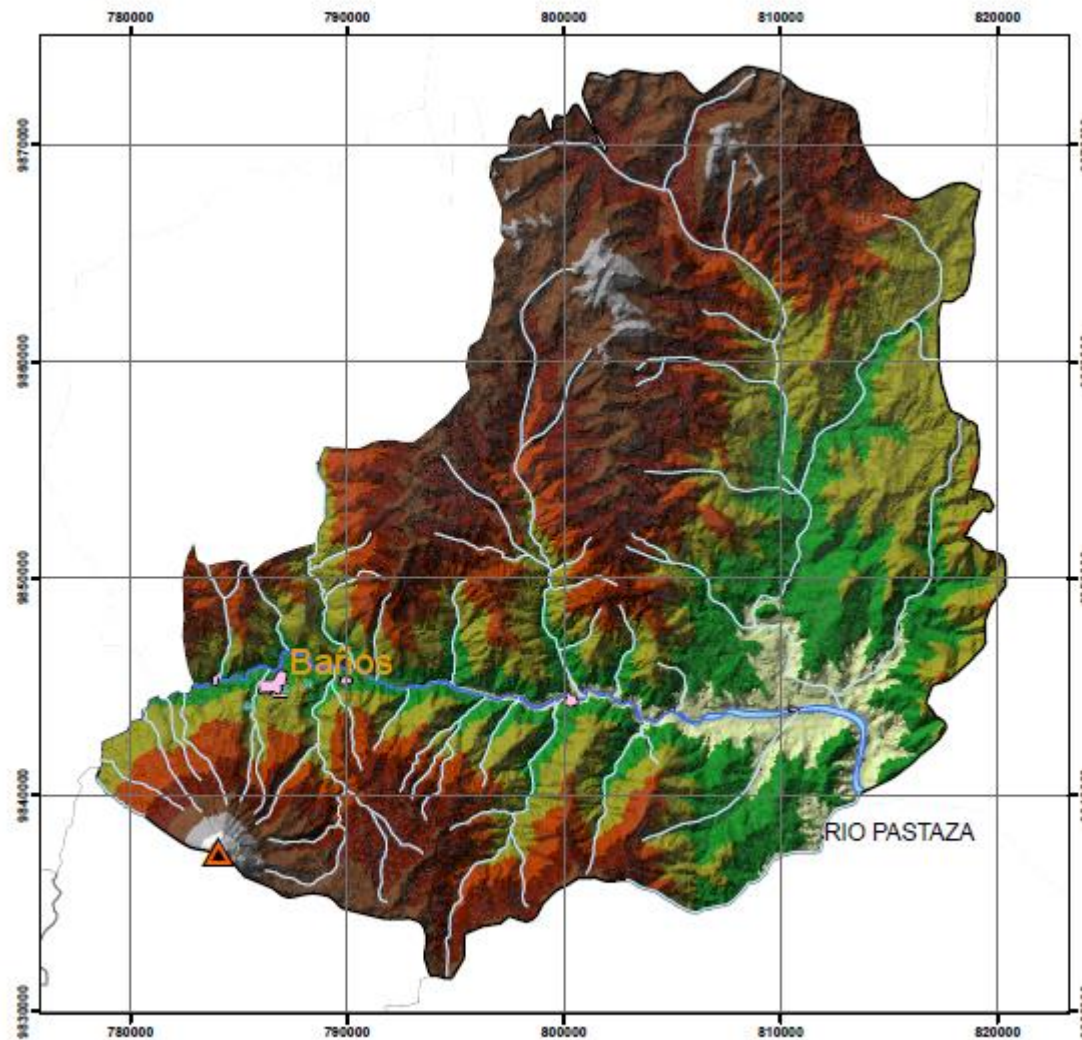
MORFOLOGÍA

La zona de interés está ubicada dentro de la cordillera real, en la cuenca principal del río Pastaza, muestra una topografía muy accidentada con pendientes de medias a abruptas de hasta 90%, que pertenecen a las estribaciones de la Cordillera Real.

En este sector se localizan grandes edificios volcánicos activos como el Chimborazo, el Carihuairazo, pero el más importante es el volcán Tungurahua, además de estrato-volcanes como el Sagoatoa, Huaicutambo y Puñalica.

El mapa de elevaciones que a continuación se presenta sintetiza las características morfológicas del sector.

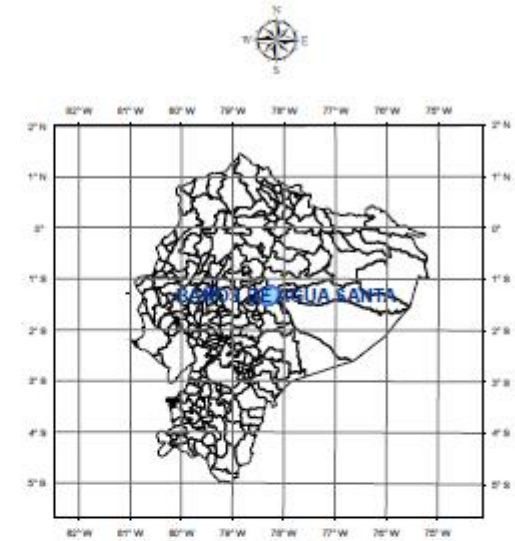
Mapa 1. MAPA DE ELEVACIONES DE BAÑOS DE AGUA SANTA



0 2.000 4.100 6.200 12.300 Meters

1:200.000

DATOS WGS 84 - ZONA 17 SUR



SIMBOLOGIA

- Volcan Tungurahua
- Puntos de agua termales
- Rios secundarios
- Rios Dobles
- Poblados

ELEVACIONES (msnm)

- 4500 - 5000
- 4000 - 4500
- 3500 - 4000
- 3000 - 3500
- 2500 - 3000
- 2000 - 2500
- 1500 - 2000
- 1000 - 1500
- 500 - 1000

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA DE ELEVACIONES
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUILLLO	COLABORACION:
FECHA: ENERO 2014	

HIDROGRAFÍA

El río Pastaza constituye uno de los ríos más grandes del Oriente Ecuatoriano, este nace de la Cordillera Real de los Andes como el resultado de la unión de los ríos Chambo y Patate, pero que pertenece a la Cuenca Hidrográfica del mismo nombre “río Pastaza”. Su presencia realza la belleza de los paisajes localizados a lo largo del recorrido por el sector de estudio, y después constituye el afluente del río Marañón el cual es uno de los tributarios del río Amazonas (GLOWS, 2007).

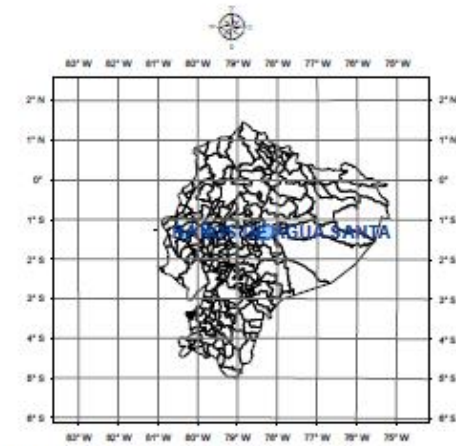
El río Pastaza recorre todo el cantón Baños y es empleado para realizar varias actividades que ayudan al desarrollo económico del sector, pero que sin duda sus aguas son aprovechadas para la generación hidroeléctrica del país por medio del Sistema Nacional Interconectado, con los Proyectos Hidroeléctricos Agoyán y San Francisco.

Es por esta razón que la construcción de la represa Agoyán, ha generado cambios importantes en aspectos físicos, hidrológicos y ambientales ya que el río Pastaza recibe las aguas servidas de Baños, río Verde, río Negro, donde muchas de estas poblaciones depositan además directamente la basura en el río (Edufuturo, 2008).

Uno de los mayores problemas que se tiene en la cuenca del río Pastaza es el arrastre de sedimentos, ya que en la zona de estudio se encuentra el Tungurahua que entro en proceso eruptivo desde el 18 octubre de 1999 y continua hasta el día de hoy, dichas erupciones generan flujos de lodo, caída de ceniza y escombros que son arrastrados hacia el cauce del río Chambo y Pastaza ayudados también por la precipitación.

La principales microcuencas de Baños de Agua Santa se presentan en el siguiente mapa.

Mapa 2. MAPA BASE DE MICROCUENCAS DE BAÑOS DE AGUA SANTA



SIMBOLOGIA

- ◆ Estaciones Meteorológicas
- ▲ Punto de Agua Termal
- ▨ Cuenca Río Napo
- ▨ Cuenca Río Pastaza
- ▬ Ríos dobles
- ▬ Ríos secundarios

MICROCUENCAS

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 0 R. Parcayacu | 13 Drenajes Menores |
| 1 R. Negroyaco | 14 R.Las Juntas |
| 2 R.Leytopamba | 15 R.San Pablo |
| 3 R.Puela | 16 R.Ulba |
| 4 Drenajes Menores | 17 Q.S.N. |
| 5 R.Verde Chico | 18 R.Chinchin |
| 6 R.Verde | 19 R.Cristal |
| 7 R.Topo | 20 Q.Estancia Chico |
| 8 R.S.N. | 21 R.Zunac |
| 9 R.Mejoo | 22 R.Encanto |
| 10 R.Negro | 23 R.Alpayacu |
| 11 R.León | |
| 12 R.Tigre | |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA BASE DE MICROCUENCAS
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUILLLO	COLABORACION: INAMHI
FECHA: ENERO 2014	

VEGETACIÓN

La vegetación de la zona de estudio cubre un área muy amplia, desde la región interandina hasta la región amazónica, razón por la cual es una zona de abundante biodiversidad.

Igualmente la presencia del volcán Tungurahua, ha generado a su alrededor una gran variedad de microclimas, factor que, combinados con otros más como la presencia de abundantes recursos hídricos ha dado lugar para que allí se desarrolle una gran variedad de flora y fauna silvestre, además de la influencia del hombre en los suelos. La variación altitudinal en Baños de Agua Santa ha sido un factor favorable para que exista una gran diversidad de especies tanto en la flora como en la fauna. (ECUADORONLINE, 2008).

Según los estudios realizados por el MAGAP a través del SIGAGRO se tiene el siguiente patrón de uso de suelos (Año 2000), que establecen bosques naturales y cultivados 87.48% de las cuales aproximadamente un 25% tienen capacidad agrícola, zonas agrícolas 6.84% y 5.69% de zonas no agrícolas (páramos, poblaciones, nieve, cuerpos de agua y afloramientos rocosos).

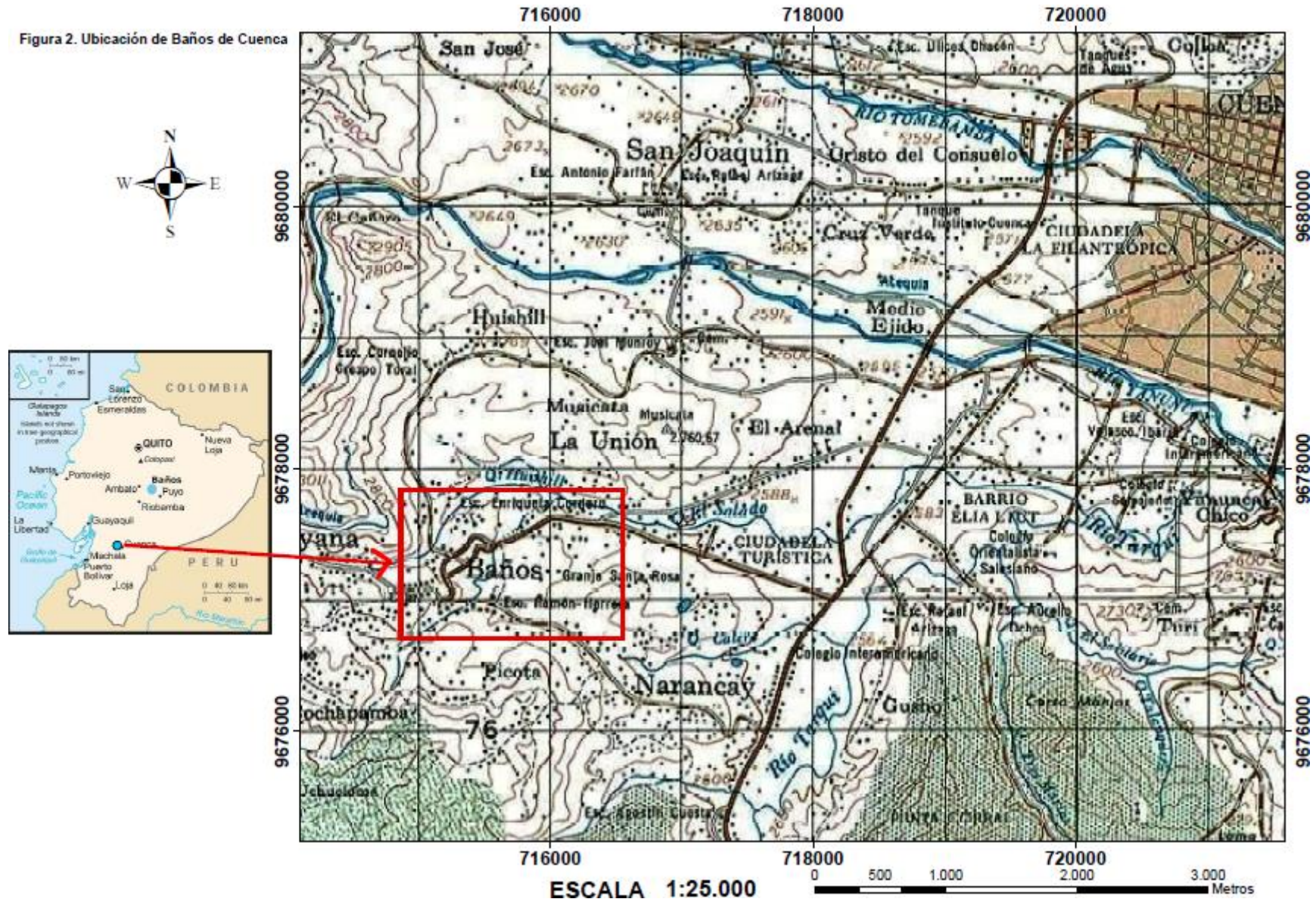
2.4.2.2 BAÑOS DE CUENCA (AZUAY)

La parroquia Baños se sitúa a 8 Km al suroccidente de la ciudad de Cuenca, por la vía Cuenca- Loja, entre los 2° 56' 29'' de latitud sur y 79° 3' 45'' de longitud oeste en las estribaciones orientales de la cordillera del Cajas. Limitada: al norte con la parroquia San Joaquín; al sur con las parroquias Tarqui, Victoria del Portete, Chumblín del cantón San Fernando y Zhaglli del cantón Santa Isabel; al este con la ciudad de Cuenca y la parroquia Turi; y por el oeste limita con la parroquia Chaucha. (Figura N.2).

“Baños tiene una extensión de 33,34 km², con alturas que van desde los 2580 hasta los 4200 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 14° C. La mayor parte de su territorio está incluida dentro de las declaratorias de Bosques y Vegetación Protectoras conocidos como “Yanuncay” y “Sunsun Yanasacha”, áreas de protección de la cuenca del río Paute, posee además una población de 12,000 habitantes.²

² Fuente: <http://www.parroquiabanos.gob.ec/banos> 14-03-2013

Figura 2. Ubicación de Baños de Cuenca



MORFOLOGÍA

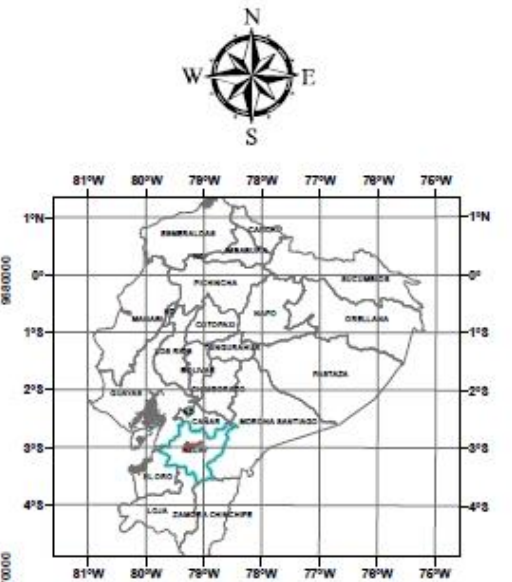
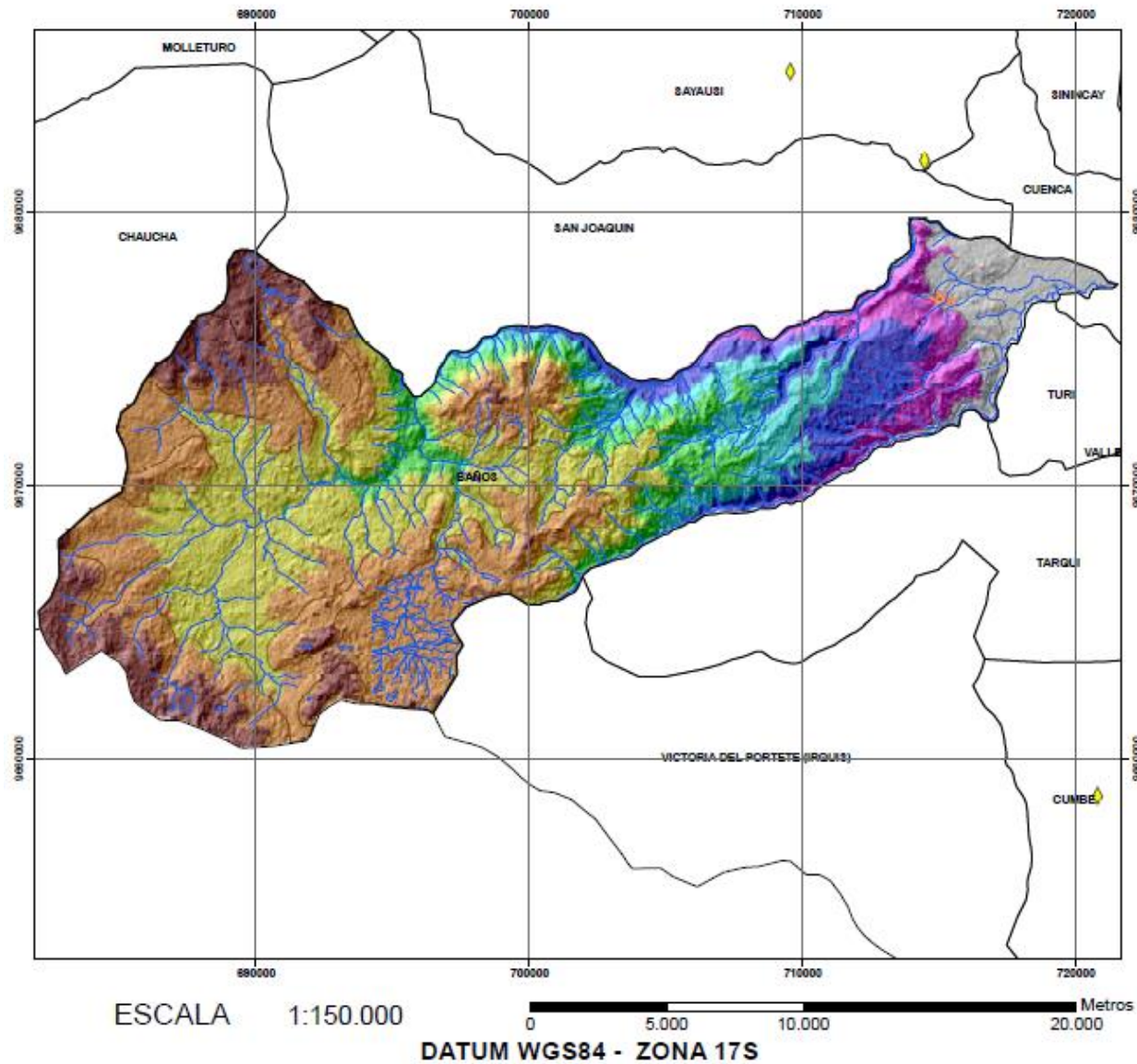
En las partes altas del sector de estudio y a lo largo de la Cordillera Occidental, las lenguas de los glaciares han labrado en la corteza, generalmente compuesta de lavas, profundos valles de fondo plano y paredes abruptas que superan los 300 m de desnivel relativo, los que son conocidos con el nombre de cajones glaciáricos o cajas.

La morfología del sector es muy irregular, con valles y elevaciones de gran importancia que van aproximadamente desde los 2.580 m.s.n.m. hasta los 4.200 m.s.n.m.

Las pendientes y desniveles más pronunciados se manifiestan en la cordillera del Cajas y en las elevaciones cercanas a la parroquia como son La Curiquina, Huacaloma y la loma de Huishil y también las colinas de Minas, Narancay, Alpachaca y Nero, en cuyas laderas se localizan depósitos coluviales significativos muchos de los cuales continúan su formación hasta los actuales días, el material constituyente difiere de acuerdo a las formaciones que recubren estos relieves; al descender al valle de Cuenca las pendientes tienden a suavizarse y se pueden diferenciar algunos niveles de terrazas con pendientes muy suaves a planas, mismas que han sido modeladas por los principales drenajes, las terrazas litológicamente están compuestas de material grueso de origen volcánico principalmente, cementados por arenas de diferente granulometría. Se les puede considerar como material fluvio-glacial y aluvial antiguo, proveniente de las partes altas de la Cordillera Occidental.

Los rasgos morfológicos de Baños de Cuenca se muestran en el respectivo mapa, que se pone en consideración a continuación.

Mapa 3. Mapa de elevaciones de Baños de Cuenca



SIMBOLOGÍA	
	Límite parroquial
	Ríos
	Vertiente
	Estaciones Meteorológicas

ELEVACIÓN (msnm)	
	2.498 - 2.732
	2.732,000001 - 2.939
	2.939,000001 - 3.138
	3.138,000001 - 3.343
	3.343,000001 - 3.545
	3.545,000001 - 3.704
	3.704,000001 - 3.845
	3.845,000001 - 4.127

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA DE ELEVACIONES DE BAÑOS DE CUENCA
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION:
FECHA: ENERO 2014	

HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Paute, que posteriormente drena a la cuenca del río Santiago, la cuenca del Paute cubre aproximadamente 5055.40 km² en las provincias de Azuay y Cañar. La misma que forma una hoya central entre las cordilleras real y occidental del sur de los Andes ecuatorianos y está limitada al sur por el nudo Portete - Tinajillas y al norte por el nudo del Azuay. Sus recursos hídricos constituyen la fuente de agua potable e irrigación agrícola para la mayor parte de cantones de las dos provincias. Además, el 60 % de la energía eléctrica del país se produce en esta cuenca y depende directamente de caudales regulados por los páramos y bosques nativos de la región.

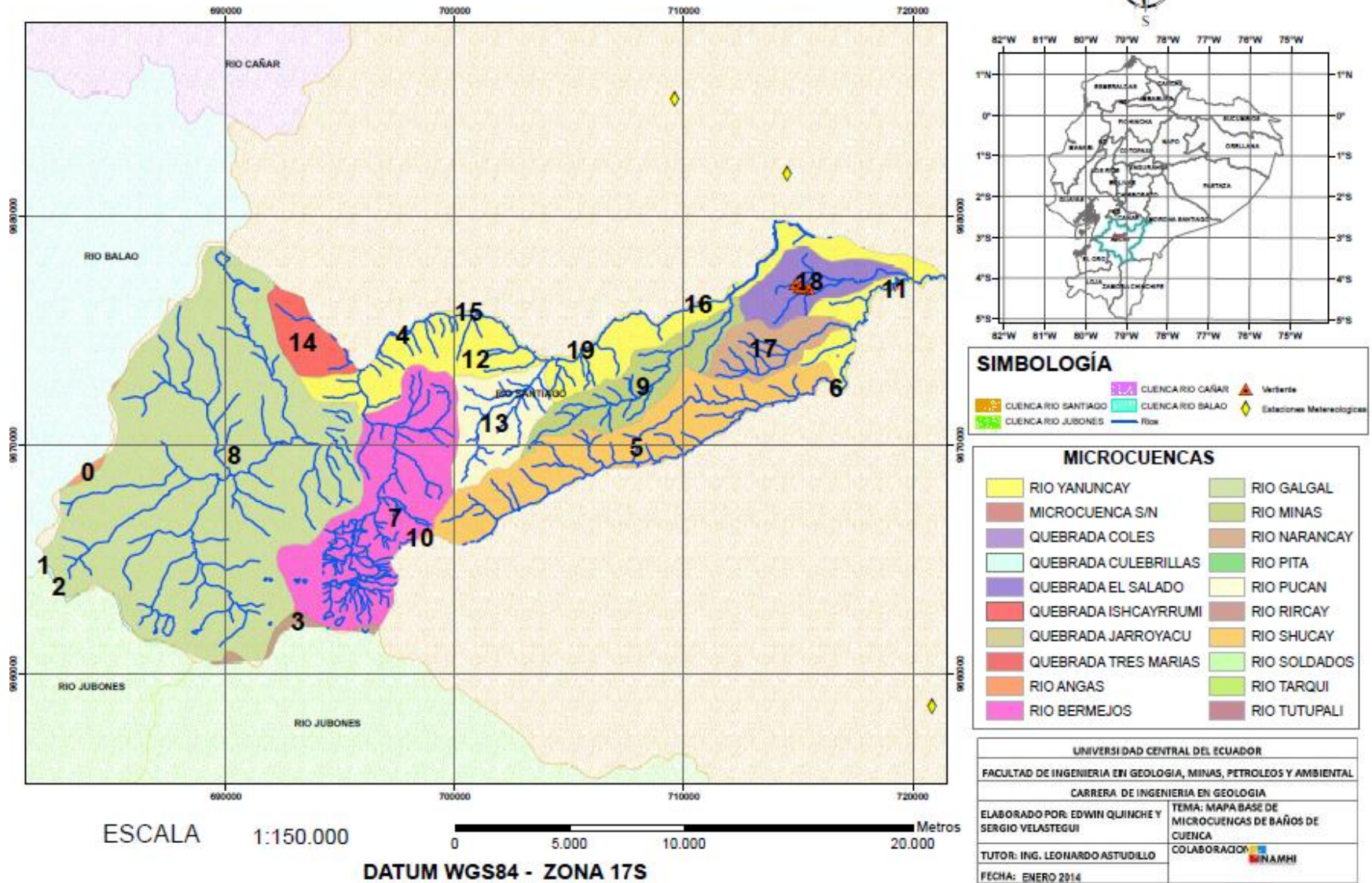
Localmente la cuenca se divide en las subcuencas de los ríos Upano, Balao, Rircay y San Francisco que a su vez se dividen en las microcuencas del río Yanuncay y Tarqui, que constituyen los límites políticos de la parroquia. La microcuenca del río Yanuncay, corresponde a un valle largo y estrecho, en el cual el río tiene características de torrente. En la parte alta el valle se amplía, dividiéndose en zonas lagunares y cenagosas. Los aportes más importantes vienen de los ríos Soldados y Bermeos. Desde la parte baja de la subcuenca hasta la población de San Joaquín, la zona es urbanizada con terrenos dedicados a sembríos. Más arriba hasta la comuna de Soldados la zona baja del valle está dedicada a pastos y ganadería; las áreas laterales presentan bosques naturales, pinos y eucaliptos. El río Yanuncay nace en los páramos de Angas a una altitud de 4000 m.s.n.m., a partir de donde corre con una dirección casi constante de oeste a este. Esta microcuenca tiene solamente un Área de Bosque y Vegetación Protectora, relativamente pequeña de 4368 ha, llamado Yunguilla.

El río Tarqui tiene el mismo patrón de dirección del río Yanuncay, su microcuenca en la parte alta se desarrolla de una manera sinuosa a través de una llanura la cual es inundable en épocas de lluvia, hasta la población de Tarqui. Luego desciende a un valle estrecho, en su trayecto recibe las aportaciones de otros ríos de pendientes moderadas que nacen de los cerros circundantes, entre los cuales se puede mencionar a los ríos Irquis, Cumbe y Sucia. La mayor parte de las orillas del río está dedicada a pastizales para la ganadería y en las

partes altas se ha sustituido la vegetación natural por bosques de eucalipto y pino, con pocas extensiones de terreno dedicados a sembríos. Los ríos que conforman esta microcuenca son: Portete, Irquis, San Agustín, Cumbe y Shucay. Esta microcuenca casi en su totalidad está destinada a la ganadería. Es importante mencionar la presencia del bosque Sunsun Yanasacha, declarado como bosque protector, con una extensión de 3550 ha. Este se encuentra en la divisoria de aguas de los ríos Tarqui y Yanuncay.

En conjunto los drenajes forman un modelado dendrítico. Se muestra a continuación el mapa de microcuencas de Baños de Cuenca.

Mapa 4. Mapa base de microcuencas de Baños de Cuenca



VEGETACIÓN

El desarrollo de la flora está en función de las características del clima, suelo y la altura. Es por eso que Baños al estar situado en los flancos exteriores de la cordillera del Cajas presenta una gran variedad de vegetación.

Al ubicarse entre cotas que van desde los 2.580 a los 4.200 m.s.n.m. posee paisajes de páramo cuya vegetación representativa es la paja (*stipa ichu*); además entre las laderas, quebradas y planicies todavía es posible encontrar formaciones boscosas, con especies como: chilca, quinuas, tugshis, joyazas, helechos, etc. y una infinidad de hierbas y arbustos que en conjunto forman matorrales de flora silvestre; también son evidentes las asociaciones de bambúes andinos tales como el suro (*chasquea scandeus*).

Entre los árboles más importantes está el capulí (prunas cerotina), el nogal o tocte (juglar neo-tropical), los cedros y alisos. Otra vegetación característica es de los pencos (agave americana). Estas formaciones vegetales van perdiendo su espacio y esto se debe a que las actividades agrícolas y ganaderas van en aumento cubriendo sectores de alta montaña.

VÍAS DE ACCESO

El acceso por vía terrestre a Cuenca y posteriormente a Baños desde el norte se lo realiza a través de la autopista Azogues-Cuenca o por la Panamericana Norte. Por el sur la ruta es la Panamericana Sur. Otras rutas terrestres son: Quito-Cuenca (450 km), Machala-Cuenca (188 km), Loja-Cuenca (205 km), Guayaquil-Naranjal-Molleturo-Cuenca (180 km), Guayaquil-Azogues-Cuenca (250 km).

El acceso por vía aérea se lo realiza por el Aeropuerto Mariscal Lamar para operación de vuelos nacionales.

2.4.3 GEOLOGÍA

2.4.3.1 BAÑOS DE AGUA SANTA

GEOLOGÍA REGIONAL

La Cordillera Real está constituida por un basamento Precámbrico sobreyacido por cinturones sublineales alargados de rocas metamórficas de edad Paleozoico-Cretácico Inferior, intruídas por granitoides tipo S e I (Aspden & Litherland, 1992).

Estas rocas metamórficas han sido afectadas por una sucesión de eventos tectónicos y magmáticos desde el Mesozoico hasta el Cuaternario. En el modelo más aceptado, Aspden y Litherland, (1992) las han subdividido en cinco terrenos litotectónicos, los cuales se cree están separados por importantes fallas regionales de dirección preferencial norte sur. Los terrenos litotectónicos localizados de oeste a este son: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora, los límites tectónicos entre estas unidades son: Falla Peltetec, Frente Baños, Falla Llanganates, Falla Cosanga-Méndez.

Según Egüez y Aspden (1993), los sedimentos pelíticos del terreno Loja fueron metamorfizados durante el Triásico tardío. Este evento estuvo acompañado de cizallamiento regional transpresional dextral y el emplazamiento de granitoides (tipo I y S) junto a cuerpos máficos de anfibolitas y posiblemente algo de volcanismo en la zona oriental. Dataciones U/Pb indican edades plutónicas de 228 ± 1 Ma y 227.6 ± 3.2 Ma.

Durante el Jurásico medio ocurrió una actividad volcánico-plutónica de importancia a lo largo de la actual zona Subandina y la parte oriental de la Cordillera Real, al norte de los 2° S. Durante este periodo se emplazaron los batolitos de Zamora, Abitagua, Azafrán, Chingual y Rosa Florida, con el contemporáneo volcanismo de la formación Misahualli y los volcánico-sedimentos de la formación Upano (Egüez y Aspden, 1993).

Luego que cesó esta actividad, la Cordillera Real y la Zona Subandina fueron derformadas, levantadas y erosionadas producto de un evento compresivo durante el Jurásico tardío – Cretácico temprano (140 - 120 Ma), edades K/Ar (135-120 Ma) y una isócrona Rb/Sr (120 + 5 Ma), obtenidas de los batolitos jurásicos (Egüez y Aspden, 1993), remanentes de este evento podrían mostrar dentro de la Cordillera Real un importante cizallamiento dextral, a lo largo de las zonas de fallas verticales de rumbo NNE/SSW, predominante en la zona.

GEOLOGÍA LOCAL

En base a la recopilación de información de Informes geológicos acerca de la zona de estudio, se procedió a realizar la campaña de reconocimiento geológico de los afloramientos de macizo rocoso ubicados a lo largo de la carretera Las Juntas - Baños – La Ciénega, con el fin de comprobar la distribución espacial de las diferentes litologías y estructuras, además de reconocer los procesos geológicos presentes. También, durante esta campaña se definieron 5 sitios o estaciones de observación con el objetivo de recopilar datos, como medidas estructurales, estados de meteorización, fracturación y alteraciones de macizo rocoso.

El análisis de la documentación técnica recopilada y de las observaciones realizadas en superficie, permitieron identificar unidades litológicas como Agoyán, Cuyuja y Alao-Paute que conforman el basamento y que corresponden a los terrenos litotectónicos Loja, Salado y Alao respectivamente. A continuación se describen estas unidades y varias formaciones superficiales que cubren el basamento, principalmente localizados hacia el valle principal del río Pastaza.

ROCAS DEL BASAMENTO

- Unidad Agoyán (Paleozoico)

Definida por Litherland (1994), en base a descripciones petrográficas iniciales realizadas por Sauer (1965), la Unidad Agoyán, comprende rocas metamórficas de grado bajo a medio, con una secuencia de esquistos sericíticos, cuarzo sericíticos y biotíticos, mineralógicamente presenta sericita, biotita, cuarzo, grafito, clorita; se atribuye a la facie de esquistos verdes, cuyo protolito es pelítico, se observan estructuras foliadas con texturas esquistosas y deformaciones tipo S1 y S2. Las ocurrencias más accesibles están cerca de Baños, justo al este de los túneles viales de la Hidroeléctrica Agoyán.

El grado metamórfico de estas rocas es muy alto para la preservación fósil pero edades radiométricas K/Ar varían del Precámbrico al Cretácico tardío, aunque se le asume que pertenece al Paleozoico (Litherland & Aspden, 1994).

- Unidad Alao-Paute (Jurásico-Cretácico Inferior)

Se extiende en una franja hacia el norte del río Pastaza y al sur se encuentra cubierta por volcánicos del Tungurahua, es una secuencia de rocas verdes, esquistos cloríticos y metavolcánicos; su composición mineral está constituida por clorita, sericita, grafito y cuarzo; se le atribuye a una facie de esquistos verdes con un grado de metamorfismo de bajo a medio, en secciones locales se tiene una secuencia deformada, de estratos subverticales de 12 a 60 cm de espesor. Los mejores afloramientos se encuentran expuestos a lo largo de la vía paralela al río Pastaza en el lado norte, frente al puente de Las Juntas (9845026; 781636) comprendida por esquistos grafitosos.

- Unidad Cuyuja (J?)

Fue nombrada por Litherland et al., (1994), está compuesto por esquistos pelíticos grafiticos cruzados por vetas de cuarzo que contienen cianita. Además se encuentran intercalaciones de esquistos psamíticos y verdes. Según Duque (1984) considera que los

protolitos son pelitas y sugiere condiciones de metamorfismo en las facies de esquistos verde dentro de una serie de facies de presión intermedia.

La edad de la unidad es controversial, Kennerly (1980), cita edades K/Ar en biotita y moscovita de 82 ± 3 Ma que podrían corresponder al metamorfismo, pero según Litherland et al., (1994) prefieren una edad Jurásica y un metamorfismo relacionado al evento Peltetec (≈ 120 Ma).

La Unidad Cuyuja, es una subdivisión metasedimentaria del terreno Salado que ocurre principalmente al norte de la cordillera Real.

Formaciones Superficiales

Localmente se puede distinguir los siguientes depósitos:

- Depósitos Volcánicos.

La zona de estudio está influenciada por el volcanismo del volcán Tungurahua. Este estratovolcán consta de 3 edificios sucesivos, de los cuales los dos primeros fueron parcialmente destruidos por colapsos sectoriales (Hall et al., 1999).

El viejo edificio volcánico denominado Tungurahua I, es representado por un apilamiento de flujos de lavas de composición andesítica a básica con espesores aproximados de 400 m en los valles de Vazcún y Ulba.

Las estructuras e inclinación de estas series de flujos de lavas, pueden definir claramente la forma y tamaño del Tungurahua I, la proyección hacia la cumbre desde las laderas originales convergen a una altura hipotética similar a la actual, y la proyección de estas laderas hacia la base sugiere que el edificio volcánico terminaba hacia el fondo del valle del Pastaza a 2200 m.s.n.m., o sea 400m más alto que el presente piso. Edades de K/Ar, resultan 0.77 ± 0.05 y 0.35 ± 0.04 Ma, por lo que se le atribuye una edad mayor a 300000 años antes del presente (Hall et al., 1999).

El edificio intermedio llamado Tungurahua II se construyó luego de un periodo de reposo y de erosión importante. Esta unidad constituye una secuencia de aproximadamente 100 m de espesor de lavas andesíticas que se encuentran rellenando paleovalles formados durante el último avance glacial, ocurrido entre 33000 y 14000 años AP (Clapperton, 1993 en Samaniego et al., 2003). Finalmente este edificio sufrió un gran colapso sectorial hace 3000 años.

El edificio actual denominado Tungurahua III; consiste de un cono asimétrico con flancos de 30–35° y ocupa la tercera parte occidental del complejo volcánico; se caracteriza por una continua actividad eruptiva representada por la generación de flujos de lava de composición variada de andesítica básica a andesítica, flujos piroclásticos y flujos de escombros, así como moderadas cantidades de material piroclástico lanzado al aire por el volcán (Samaniego et al., 2003).

- Volcánicos del Cotopaxi

Volcán históricamente muy activo, el Cotopaxi se caracteriza por tres tipos de fenómenos:

- Una gran extensión de los lahares, provocados por los deshielos (parciales o totales) de su cobertura de nieve y hielo, consecutivamente a fenómenos de recalentamiento interno con o sin episodios eruptivos. Los escurrimientos de tipo lodoso así provocados (mezclas de facies volcánicas y de deshielo de manto) recubrieron, de manera a veces catastrófica grandes (T. Wolf, 1982), o hacia la cuenca de Latacunga al sur.

- Erupciones explosivas, originarias del crater, y acompañadas de grandes columnas de gas, humos y proyección de espesas capas de piroclásticas (peleanas, escorias, lapilli y cenizas) sobre los relieves circundantes. El último periodo eruptivo muy activo se produjo entre 1877 y 1904 (fecha de los últimos derrames de lava conocidos).

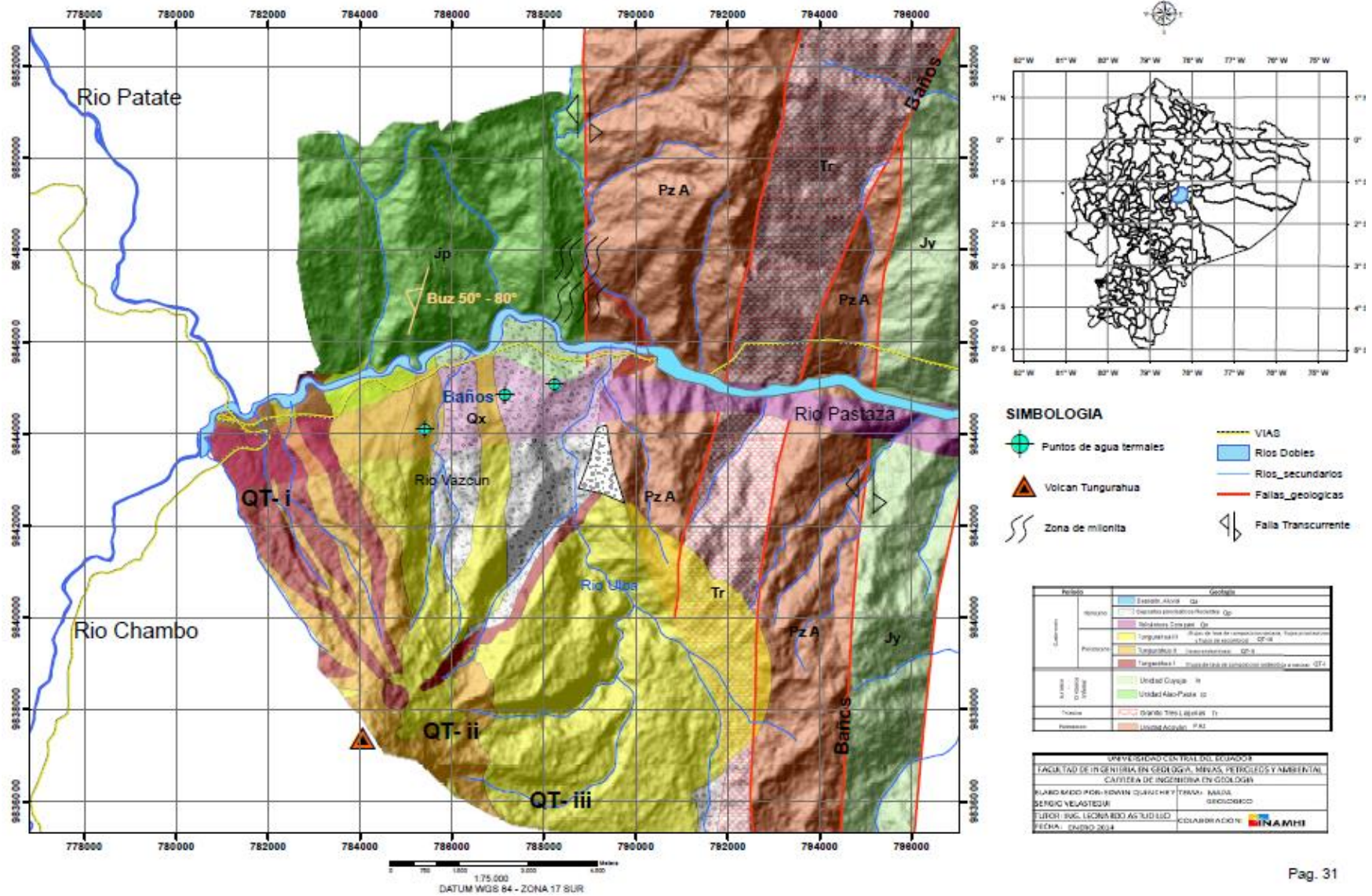
- Una actividad fumarólica, continua, localizada en la cima de los dos cráteres encajonados. Los dos últimos periodos de recalentamiento tuvieron lugar en 1975-1976 y en 1990, provocando en la parte superior suroccidental del cono, un deshielo parcial de la cobertura glacial.

- Depósitos Aluviales

Estos depósitos se encuentran constituyendo planicies en los valles de los principales ríos como el Pastaza, Chambo y Patate. Los depósitos aluviales están constituidos principalmente por clastos redondeados a subredondeados mal clasificados, envueltos en una matriz areno limosa, ya que fueron acarreados por crecidas torrenciales y depositadas en llanuras de inundación y cauces de los ríos. Su espesor es variable y alcanzan unas pocas decenas de metros.

Las características litológicas y estructurales de estas unidades se presentan en el siguiente mapa.

Mapa 5. MAPA GEOLOGICO DE BAÑOS DE AGUA SANTA



GEOMORFOLOGÍA

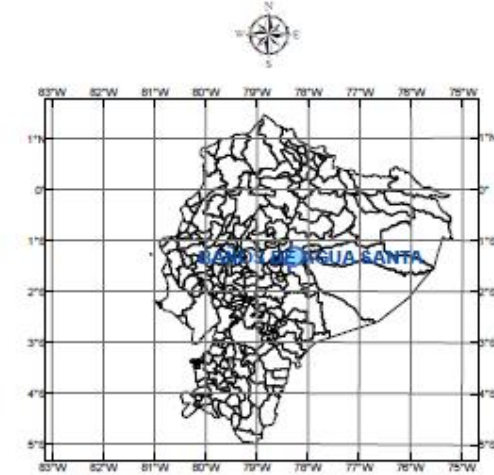
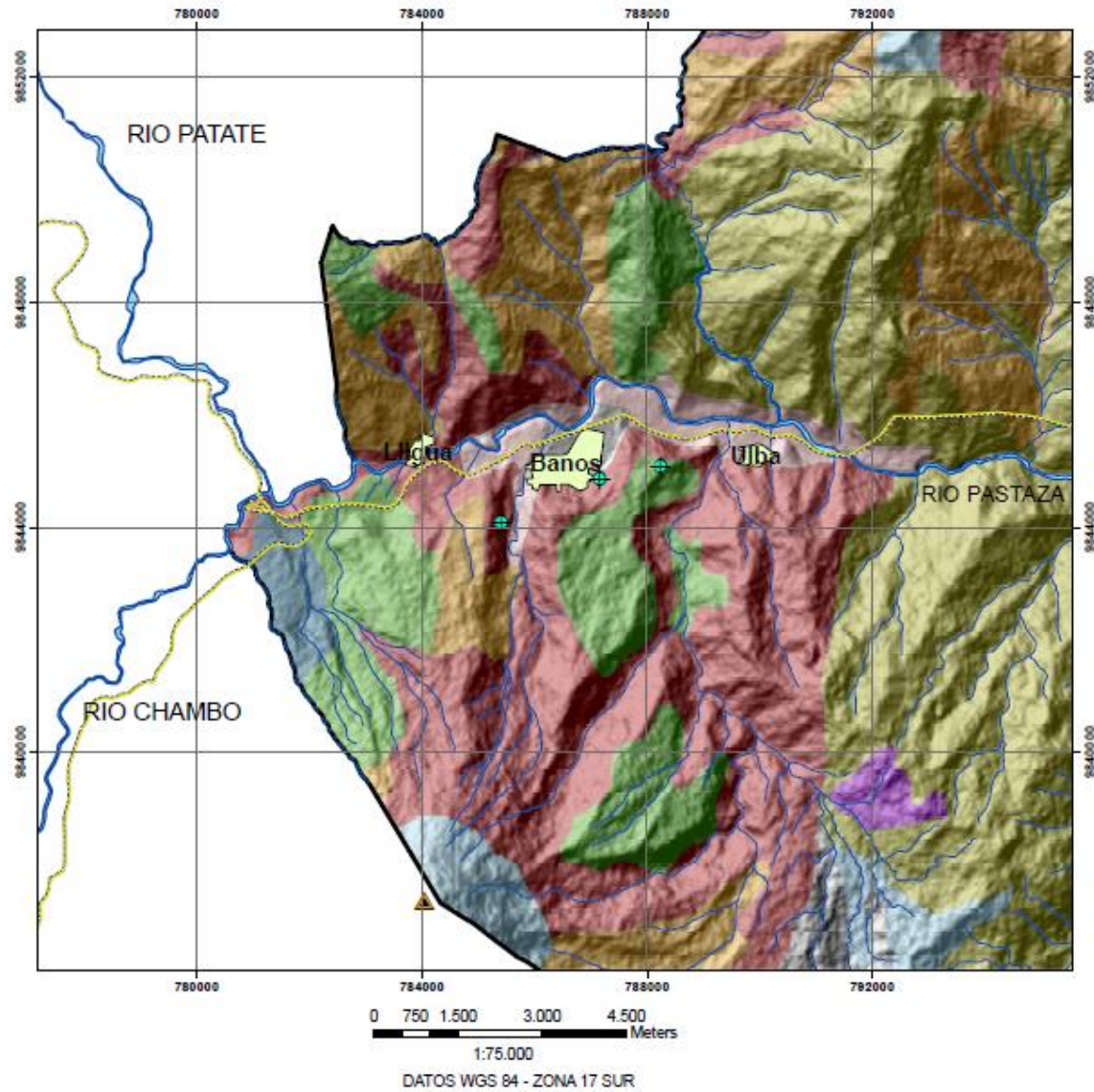
Baños de Agua Santa se encuentra ubicada en las estribaciones de la Cordillera Real, donde presenta geformas como resultado de la interacción de procesos denudativos y agradacionales.

A causa de la naturaleza litológica de los relieves, conformados tanto por rocas metamórficas las cuales presentan relieves montañosos con pendientes muy abruptas, observándose cotas entre 3200 a 1600 m.s.n.m., pero que también conformado por rocas volcánicas del volcán Tungurahua que han generado relieves colinados con pendientes de tipo fuertes, con cimas agudas a redondeadas cuyas vertientes son convexas e irregulares pero que desde el punto de vista morfológico, y así están sujetos a deslizamientos en forma de desprendimientos. El principal curso de agua comprende el río Pastaza que corre en dirección W-E, y que está influenciado por varios cambios morfológicos debido a la influencia de derrames de flujos de lava basáltica del Tungurahua y su posterior erosión dio lugar a la formación de valles profundos, asimismo de la formación de valles aluviales y superficies de conos de deyección que corresponden a formas denudativas que producen desequilibrio entre la velocidad de profundización de los valles y la de ensanchamiento de los mismos.

Los drenajes secundarios, conformados por los ríos como el Vascún, Blanco y Ulba, han sido influenciados por procesos acumulativos pero exclusivamente fueron afectados por sedimentación de cantos rodados acarreados por los ríos pero también por fenómenos volcánicos de gran magnitud; y conformadas por la acumulación de material volcánico primario transportado por flujos de escombros; y cuyas pendientes son de tipo suave a abruptas, por lo que la capacidad erosiva y de transporte es bastante acentuada, características que serán predominantes hasta que estos drenajes alcancen la línea base del río Pastaza.

Las características geomorfológicas se presentan en el mapa geomorfológico de Baños de Agua Santa.

Mapa 6. MAPA GEOMORFOLOGICO DE BAÑOS DE AGUA SANTA



SIMBOLOGIA

- Volcan Tungurahua
- Via Principal
- Punto de Agua Termales
- Poblados
- RIOS secundarios
- RIOS DOBLES

Unidades Geomorfológicas

- Relieves colinados altos
- Depositos glaciares
- Relieves colinados medios
- Relieves montañosos
- Depositos aluviales (terrazas)
- Relieves colinados bajos
- Superficie de cono de deyeccion
- Relieves colinados muy altos

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	
TEMA: MAPA GEOMORFOLOGICO	
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION:
FECHA: ENERO 2014	

Tabla N.1 Resumen de la geomorfología de Baños de Agua Santa.

Geoformas	Génesis	Litología	Relieve	Drenaje	Pendiente
Relieves colinados muy altos y montañosos	Tectónico – erosivo	Unidad Agoyán, Unidad Alao-Paute, flujos de lava del Tungurahua	Abrupto	Subdentrítico	45 a 75 %
Relieves colinados bajos a medios	Tectónico – erosivo	Unidad Agoyán, Unidad Alao-Paute, flujos de lava del Tungurahua	Ondulado a Fuerte	Dendrítico	15 a 25 %
Superficies de Cono de Deyección	Deposiciona l o acumulativo	Líticos volcánicos embebidos en una matriz areno-limosa	Suave a ondulado	-----	5 a 15 %
Depósitos aluviales (Terrazas)	Deposiciona l o acumulativa	Arenas, gravas y clastos subredondeados a redondeados	Plano	-----	0 a 5 %
Depósitos glaciares	Glaciar	Rocas volcánicas redondeadas a subangulares en una matriz areno arcillosa poco consolidada.	Plano a suave	-----	0 a 5 %

Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

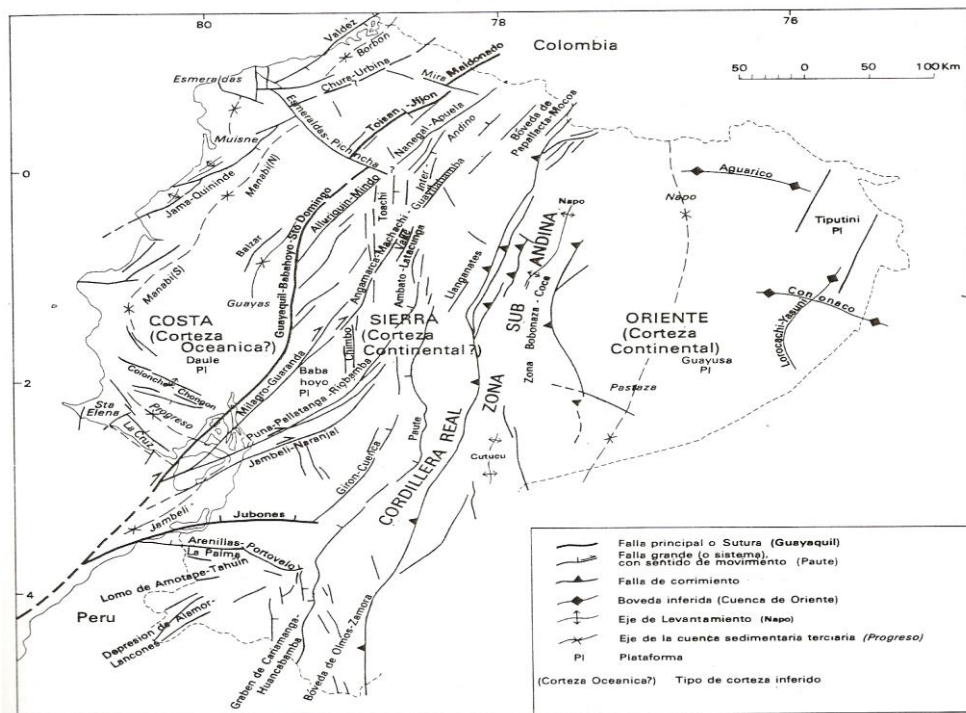
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Como se mencionó anteriormente la cordillera Real está conformada por terrenos litotectónicos orientados N–S, estos terrenos fueron producto de acreciones acontecidas durante una fase colisional debido a esfuerzos compresivos E–W, ocurridos durante el Jurásico a Cretácico temprano.

Los límites de los terrenos litotectónicos corresponden a fallas de rumbo o transcurrentes dextrales con orientaciones NNE - SSE. En la ribera norte del río Pastaza cerca de la población de Baños, se observan pliegues transpuestos con sentido de movimientos dextrales, con los ejes de pliegues asociados a lineamientos minerales con tendencia N-S buzando con ángulos moderados a bajos (Litherland et al, 1994).

Las foliaciones encontradas en las rocas metamórficas, correspondientes a los remanentes de los pliegues, así como las lineaciones del granito orientado (granito de Azafrán), son de dirección preferencial N-S, con muy pequeñas declinaciones al E y W. Mientras que su fracturamiento es muy pronunciado, observando la existencia de varias familias, siendo los más notorios los de rumbo E-W, coincidentes con la dirección del río Pastaza. Así las fallas con rumbos secundarios eran tal vez generadas o removidas más tarde porque están reflejadas con rocas mucho más jóvenes, como las lavas y piroclástos del Tungurahua y que siguen el valle alto del río Pastaza, siendo zonas de fallas tipo inversas que buzanan hacia el oeste. Uno de los rasgos estructurales más importantes es el Frente Baños, que marca un cambio de rocas de origen marino a continental y que presenta un área de milonitización de aproximadamente 2 km de ancho que afecta tectónicamente a las Unidades Metamórficas de Alao-Paute y Agoyán, esta expresión tectónica es exhibida en el margen norte del río Pastaza. El mapa que seguidamente se presenta resume de manera general la geología estructural del Ecuador, el mismo deja notar las orientaciones principales de los lineamientos y fallas.

Figura 3. Mapa de rasgos estructurales principales del Ecuador



Fuente: Geología del Ecuador, Dr.J.W. Baldock. (1982)

TECTÓNICA Y VOLCANISMO

El Ecuador está formado por tres regiones naturales, relacionadas principalmente con el origen tectónico. La Costa o llamada cuenca de Antearco, que es de ambiente marino litoral, en la que se tienen cordilleras costeras que forman cuencas con el arco volcánico de los Andes. Una segunda unidad tectónica es la Sierra, caracterizada por la presencia de la cordillera Andina y por cuencas intramontañosas formadas por relleno sedimentario de estrato creciente. La tercera unidad es el Oriente, que es una cuenca de transarco o trasmontana, con más de 5 Km de espesor de sedimentos continentales y lacustres que sobreyacen sobre rocas sedimentarias.

Todas estas regiones están atravesadas por fallas que constituyen el centro de liberación de energía producida por los movimientos de las placas litosféricas. Por lo tanto constituyen una especie de aparato temporal por la cual la energía es liberada gradualmente a través de sismos de tamaño relativamente menor (Sarria, 1990).

Nuestro arco volcánico ecuatoriano forma parte de la zona volcánica norte de los Andes, siendo el resultado de la subducción de la placa oceánica Nazca bajo la placa continental de América del Sur y se encuentra desarrollado, en su mayor parte, frente a la Cordillera de Carnegie.

La tectónica de la zona es relativamente compleja, donde los rasgos estructurales predominantes en la zona de estudio presentan una orientación preferencial NE-SW, indicando el rumbo andino de la Cordillera Real, dirección que se debe a la migración de la placa de Nazca en sentido W-E, que subduce a la placa sudamericana, por lo que se evidencia que la foliación es principalmente N-S y donde se puede concluir que estas fallas N-S fueron generadas durante el metamorfismo de la Serie Llanganates.

En cuanto al volcanismo se determina que los volcanes en el Ecuador construyeron sus edificios hace varios cientos de miles de años, quizás hasta un millón de años atrás, y

durante el transcurso del tiempo han sufrido colapsos repetidos o etapas de erosión intensa, los cuales han causado destrucción parcial de los conos. Subsecuentemente la renovación de actividad ha construido nuevos conos. Dentro de este grupo, se conoce que el Tungurahua ha tenido actividad en tiempos históricos (desde 1532). Por otro lado, las dataciones C14 han permitido establecer que el cono joven de este edificio volcánico fue construido durante el Holoceno.

Dada la frecuencia de sus erupciones, la altura de su estratovolcán y la frecuente presencia de un casquete glacial, este sigue representando bastante peligro en futuras erupciones, que consistirían de flujos de lava de tipo basálticas-andesítica, flujos piroclásticos, caídas de ceniza, grandes lahares y posiblemente avalanchas de escombros, repercutiendo negativamente en los ámbitos de la economía, social y ambiental del país.

2.4.3.2 BAÑOS DE CUENCA

GEOLOGÍA REGIONAL

El Ecuador continental está dividido en tres regiones fisiográficas importantes, las mismas que presentan características morfológicas y geológicas propias, de este a oeste estas regiones son; El Oriente o Amazonia, la región Andina y la Costa.

La región Andina o Sierra esta subdividida a su vez en la Cordillera Real y Cordillera Occidental, separadas por el valle interandino.

La Cordillera Real está constituida por una serie de divisiones litotectónicas que se extienden con dirección andina, estas incluyen diversos tipos de rocas cuyos límites corresponden a fallas y zonas de cizalla regionales. De este a oeste las divisiones litotectónicas son: Zamora, Salado, Loja, Alao y Guamote. Los límites tectónicos en el mismo orden son Falla Cosanga-Mendez, Falla Llanganates, Frente de Baños y Falla Peltetec (Aspden et al., 1992; Litherland et al.; 1994). Las edades de estas divisiones están comprendidas entre el Paleozoico y Cretácico.

La Cordillera Occidental está constituida por dos terrenos mayores (Terreno Pallatanga y Terreno Macuchi) separados por zonas de cizalla regionales. El terreno más antiguo es conocido como Pallatanga e incluye varias unidades litoestratigráficas cuyo basamento está constituido por rocas máficas y ultramáficas de afinidad plateu oceánico de edad Cretácico temprano a tardío (Hughes y Pilatasig, 2002). El Terreno Macuchi (más joven) consiste de una secuencia volcano-sedimentaria de arco de islas que domina gran parte de la geología de la cordillera occidental, la edad del terreno estaría comprendida entre el Paleoceno y Eoceno medio (Egüez, 1986).

La cuenca de Cuenca forma parte del valle interandino, ubicada al sur del Ecuador, limita al oeste por la Cordillera Occidental y al este por la Cordillera Real. Presenta una forma alargada de dirección NNE-SSO que se extiende desde 2° 25' S a 3° 05' S y 79° 05' O a 78° 40' O, cubriendo un área de aproximadamente 3000 km² (Steinmann, 1997), distribuidos en las provincias de Cañar y Azuay. El área de estudio se ubica dentro de esta cuenca, entre las vertientes de la Cordillera Occidental (Parque Nacional del Cajas), y la prolongación sur de la Cordillera Real.

A continuación se realiza un análisis del desarrollo de relleno de la cuenca de Cuenca según varios autores.

SERIES DE RELLENO DE LA CUENCA

Es preciso señalar que las formaciones sedimentarias de la cuenca de Cuenca, en el sector de estudio actualmente están cubiertas discordantemente por depósitos volcánicos. En orden cronológico desde la más antigua se depositaron de la siguiente manera:

Formación Biblián

Aflora en el núcleo del principal anticlinal de la cuenca de Cuenca, extendiéndose en dirección NNE-SSW, desde el norte de Biblián, hasta cerca de El Valle (740 250) SSE de Cuenca (Bristow, 1973; Steinmann, 1997).

La formación presenta colores de rojo a rojo púrpura y es tipificado por arcillolitas limosas y arenosas. Los clásticos, medianamente suaves, varían desde areniscas finas a gruesas, y conglomerados. En el sector Biblián-Azogues, la secuencia es más argillífera. Los clásticos gruesos ocurren en unidades lenticulares algo más finas (Bristow, 1973). Los sedimentos de la formación Biblián contienen cuarzo y líticos de rocas metamórficas (Steinmann, 1997). La formación Biblián y la formación Quingeo que presentan características similares, eran consideradas como una sola formación.

Los sedimentos de la formación Biblián se depositaron en un ambiente de sedimentación fluvial de un sistema trenzado. Localmente las formaciones más próximas (conos aluviales) son interstratificadas. Las medidas de paleo-corrientes realizadas sobre la parte meridional de la zona de estudio, indican claramente un transporte dominante de sedimentos desde el SSE hacia el NNW para las facies fluviales (Lavenue y Noblet, 1990). Según Steinmann 1997, la formación Biblián fue depositada en un sistema fluvial meándrico con transporte de sedimentos desde el este al oeste, asumido a partir de los componentes metamórficos presentes en los conglomerados finos.

La formación Biblián es inferida a ser del Mioceno inferior, pero posiblemente varían otras dentro del Oligoceno (Bristow, 1973; Noblet et al; 1998).

La formación Biblián y Quingeo consideradas anteriormente como una sola debido a su similitud litológica, fueron diferenciadas por (Steinmann, 1997), el cual mediante trazas de fisión en circonio obtuvo edades del Mioceno medio (14,7 y 12,3 Ma) para muestras de la formación Bilblian tomadas al sureste de Cuenca y edades del Eoceno medio a tardío (45 a 35 Ma) para muestras de la formación Quingeo tomadas al este y sureste de Cuenca.

Formación Loyola

Aflora a cada lado de la estructura anticlinal de Biblián desde Cuenca hasta Ingapirca (Bristow, 1973; Steinmann, 1997).

La formación consiste principalmente de lutitas color gris oscuro a negro, cubiertas por limonita y veteadas con yeso, localmente posee lentes de caliza y azufre, es frecuentemente expuesta y contiene una abundante fauna y flora (Bristow, 1973; Bristow y Parodiz, 1982, Steinmann, 1997). La formación Loyola descansa concordantemente sobre la formación Biblián, pero algunas veces una ligera inconformidad angular puede ser observada. En el sector de Santa Ana, los sedimentos de Loyola sobreyacen el intrusivo de El Descanso. La formación Loyola sobrepasa la formación Biblián hacia el este, para descansar discordantemente sobre la formación Yunguilla. El contacto con la formación Azogues es interdigitacional.

(Bristow, 1973), estimo un espesor de 360 m, mientras (Steinmann, 1997).estimo un espesor total de 450m para la formación.

Los sedimentos de la formación Loyola son predominantemente pelíticos representados por facies proximales sobre el horst de Santa Ana – San Miguel (Noblet et al, 1988).

La formación Loyola forma un complicado patrón de interdigitación de facies marino/salobres, fluvial distales y lacustres. Los sedimentos predominantemente de grano fino indican depositación en ambientes de baja energía. Los ostrácodos, bivalvos, restos de peces y camarones sugieren una depositación en aguas cuya salinidad varía desde dulce a salobre (Steinmann, 1997)

(Steinmann, 1997), mediante dataciones por trazas de fisión ubicó a la formación en el Mioceno medio a tardío (13,9 a 11,1 Ma). Madden et al.(?) mediante dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ determinó dos edades del Mioceno medio ($12,5 \pm 0,6$ y $12,2 \pm 0,7$ Ma), las edades obtenidas por este autor caen en el rango de las edades definidas por (Steinmann, 1997).

Formación Azogues

La formación Azogues esta mejor desarrollada a cada lado del sinclinal de Azogues, se extiende desde el norte de Azogues a cerca de El Valle (Bristow, 1973), esta puede ser dividida en los miembros Azogues, Guapán y Cochás (Steinmann, 1997).

La secuencia es dominada por areniscas tobáceas, de grano medio a grueso, con capas de limonitas, arcilla y lutita dispuestas en pequeñas intercalaciones. Conglomerados están desarrollados en varios niveles, guijarros bien desarrollados de 1-10 centímetros de diámetro consisten mayormente de roca ígneas meteorizadas, con guijarros de cuarzo y posiblemente lutitas y calizas de la Yunguilla (Bristow, 1973).

El contacto con la subyacente formación Loyola es gradacional o interdigitacional. Entre el Descanso de Biblián un agudo contacto y un cambio de facies caracteriza el límite entre las dos formaciones (Steinmann, 1997). El adelgazamiento de la formación Azogues en el área de Azogues parece ser el resultado de un espesamiento de la formación Guapán a expensas de las facies de la formación Azogues (Bristow, 1973), en la región de Santa Ana, las areniscas de la formación Azogues sobrepasan las formaciones Loyola y Biblián y descasan discordantemente sobre la formación Yunguilla (Steinmann, 1997).

Un espesor total de 450 a 500m es estimado para la formación Azogues (Steinmann, 1997). El miembro Azogues en la parte sur y sureste presenta una configuración que es típica para un delta denominado fluvialmente, mientras en la parte norte y noreste, la depositación tuvo lugar en la parte proximal de una pendiente de delta (Steinmann, 1997).

(Bristow, 1973), asigno a la formación una edad del Mioceno Medio, posteriormente (Steinmann, 1997), llevó a cabo un total de 5 determinaciones de edad en trazas de fisión en el Miembro Azogues, estas varían desde Mioceno medio (13,0 Ma) a Mioceno tardío (8,0 Ma). Una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $10,9 \pm 0,6$ Ma, fue obtenida por Madden et al., (?) para el Miembro Guapán.

Formación Mangán

Forma parte del grupo Ayancay, que corresponden a los sedimentos más jóvenes sobre el lado oeste del anticlinal de Biblián (Bristow, 1973).

(Bristow, 1973), dividió a la formación Mangán en tres unidades, la unidad inferior incluyendo la veta de carbón inferior Washington que consiste predominantemente de limonitas, lutitas y areniscas de grano fino, intercaladas en capas menores a 1m de espesor, de colores claros.

La Unidad Media, comprendiendo estratos desde la veta Washington a la veta de carbón Cañari. La Unidad Superior, arriba de la veta de carbón Cañari y consiste principalmente de areniscas tobáceas gruesas, con frecuentes guijarros y volviéndose más conglomerática hacia arriba. La actividad volcánica contemporánea de la sedimentación es acentuada por la presencia de varias tobas interestratificadas dentro de la formación Mangán (Noblet et al, 1988).

En los sitios donde la formación Mangán sucede a la formación Azogues el contacto entre estas parece ser interdigitacional (Bristow, 1973), en el centro de la cuenca, una inconformidad angular entre las formaciones Mangán y la subyacente formación Azogues puede ser observado (Steinmann, 1997).

Un espesor máximo de 1000 a 1200 m es preservado en la parte centro oeste de la cuenca (Steinmann, 1997).

Según (Steinmann, 1997). Las facies de Mangán presentan una configuración que puede ser encontrada sobre un plano de delta en un delta dominado fluvialmente, con incursiones marinas de extensión y duración limitada.

La formación pertenece al Mioceno superior a Plioceno (Lavenu y Noblet, 1990). (Steinmann, 1997). Por medio de trazas de fisión obtuvo edades que varían de 9,9 a 9,5 Ma correspondientes al Mioceno tardío. Una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $11,5 \pm 0,3$ Ma fue obtenida por Madden et al.(?) en una muestra de la parte inferior de la formación Mangán. Las edades obtenidas por estos autores son muy distintas a pesar que las muestras analizadas fueron tomadas probablemente en el mismo sector y nivel estratigráfico.

Formación Turi

La formación Turi representa la secuencia más joven de relleno de la cuenca y puede ser dividida en dos miembros, los miembros Turi y Santa Rosa. Noblet et al, (1998), considero a los miembros Turi y Santa Rosa como parte de la formación Mangán, posteriormente Steinmann, (1997), agrupa estos miembros y les da el estatus de formación Turi. Los miembros sobreyacen inconformemente las formaciones previas con un ángulo de hasta 60° (Steinmann, 1997).

El miembro Turi consiste de conglomerados pobremente clasificados con clastos bien redondeados de hasta 40cm de diámetro. Intercalación de areniscas gruesas con estratificación cruzada son frecuentes. Los componentes son mayormente fragmentos de roca volcánica derivados desde la Cordillera Occidental. Clastos metamórficos son menos abundantes o aun ausentes. El estilo de estratificación y tamaño de grano indican la depositación en un sistema de ríos trenzados con un transporte dirigido de oeste a este (Steinmann, 1997).

Steinmann, (1997), estimó un espesor máximo de alrededor de 300 m para el Miembro Turi en el sector del Cerro Monjas, donde los sedimentos yacen horizontalmente con una aguda inconformidad angular sobre la formación Mangán.

El Miembro Santa Rosa consiste mayormente de conglomerados gruesos, pobremente clasificados con clastos volcánicos (de hasta 50 cm de diámetro) y brechas compuestas de fragmentos de rocas volcánicas (Steinmann, 1997).

Steinmann, (1997), estimó un espesor máximo de alrededor de 150 m cerca de Nabón. El contacto con la subyacente formación Mangán no es claramente visible, pero debido al prominente cambio de tamaño de grano, dirección de flujo y estilo de sedimentación, una inconformidad angular es interpretada (Steinmann, 1997).

La sedimentación de los Miembros Turi y Santa Rosa tomo lugar en un ambiente intermontaña que para el miembro Turi corresponde a la depositación en un sistema de ríos trezados con un transporte dirigido de oeste a este, y para el Miembro Santa Rosa corresponde a depositación sobre un abanico aluvial, el cual fue suministrado desde el oeste (Noblet et al., 1988; Steinmann, 1997).

Cuatro muestras colectadas en el Miembro Turi, dan edades del Mioceno tardío (9,6 a 8,0 Ma), mientras que para el Miembro Santa Rosa las relaciones estratigráficas con las formaciones subyacentes y sobreyacentes datadas, implican depositación contemporánea con el Miembro Turi (Steinmann, 1997).

Formación Tarqui

La formación Tarqui puede ser subdividida en los Miembros Tarqui y Llacao los cuales fueron depositados al mismo tiempo, pero en diferentes ambientes sedimentarios (Steinmann, 1997).

El Miembro Tarqui consiste enteramente de depósitos de caída volcanoclásticos primarios pobremente consolidados y profundamente alterados, la sedimentación tomo lugar en un ambiente volcánico durante una fuerte fase eruptiva y depósitos de caída cubrieron por completo el área, el espesor no excede los 300 m (Steinmann, 1997).

El Miembro Llacao forma el plateau Loma Cochamama, consiste enteramente de depósitos piroclásticos y volcanoclásticos, la sedimentación tomo lugar sobre un abanico aluvial volcanoclástico durante un periodo de pronunciada actividad volcánica, el espesor puede alcanzar los 250 m (Steinmann, 1997).

Los depósitos de los Miembros Tarqui y Llacao inconformemente cubren las series de relleno de la cuenca y los bordes de las viejas formaciones (Steinmann, 1997).

(Steinmann, 1997). Por medio de trazas de fisión obtuvo edades que varía del Mioceno más tardío a Plioceno temprano (6,8 a 5,1Ma) para el Miembro Tarqui, y una edad del Plioceno temprano (5,5 Ma) para el Miembro Llacao.

Estas edades contrastan con una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $9,1 \pm 0,4$ Ma obtenida por Madden et al, (?) en el Miembro Llacao.

EVOLUCIÓN

Los Andes son reconocidos como un arco magmático resultado de la subducción de la placa oceánica Nazca y de la cordillera submarina de Carnegie bajo la placa continental Sudamericana, Pardo-Casas y Molnar (1987) y Daly (1989), consideran que en el Mioceno medio, se produjo un pico en la velocidad de convergencia de las placas.

En este periodo habría iniciado la sedimentación de la cuenca de Cuenca al igual que en el resto de cuencas terciarias andinas del Ecuador (Steinmann, 1997; Hungerbühler et al, 2002). Posterior a este evento se dieron al menos tres eventos tectónicos importantes en los Andes ecuatorianos.

La primera fase se ha definido aproximadamente a los 9 Ma y se relaciona con el cierre de la cuenca de Cuenca (Steinmann, 1997; Hungerbühler et al, 2002). La segunda ocurre entre 6 a 5 Ma relacionada con un nuevo pulso de levantamiento andino (Pardo - Casas y Molnar, 1987), y la última a los 2 Ma relacionada con el inicio de la colisión de Carnegie (Aalto y Millar 1999; Witt et al, 2005).

En este marco varios autores han propuesto modelos de evolución para la cuenca de Cuenca, entre los trabajos más importantes se tiene.

Exadaktylos et al. (2003).

Realiza una modelación de la deformación producida por el deslizamiento a lo largo de una zona de detachment de buzamiento suave.

El autor determina que en las etapas tempranas del deslizamiento se forman dos fallas normales conjugadas. La falla principal y la falla antitética (Figura 4) tienen el mismo buzamiento en el rango de 60° a 70° , formando así un graben simétrico. La falla 1 es la principal, porque la cantidad de desplazamiento de cizalla es más grande que sobre la falla 2, (Figura 4 A y B).

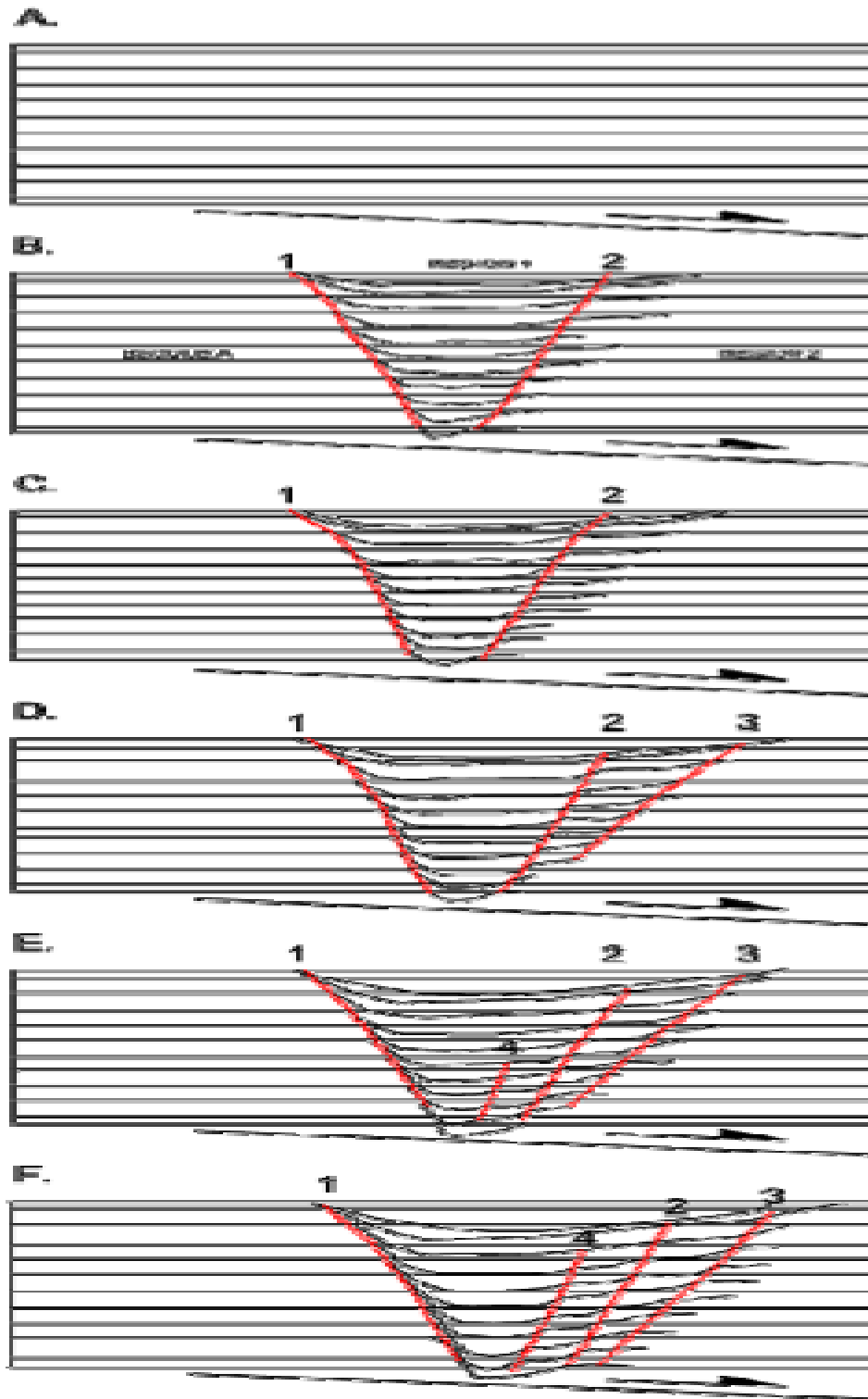
Con el fallamiento inicial se forman tres regiones: un bloque A que permanece sin deformación; una región 1 entre las fallas conjugadas (gaben simétrico), subside como un cuerpo rígido con desplazamientos vertical y horizontal debido al desplazamiento a lo largo del plano de cizalla con buzamiento a la derecha y región 2 que sigue el movimiento a lo largo de la base deslizante.

Con el progresivo deslizamiento de la base, una falla normal secundaria (3) con buzamiento a la izquierda se forma en la región 2 (Figura 4 D), guiando así al ensanchamiento de la zona de cizalla antitética. Subsecuentemente una tercera falla antitética (4), con buzamiento a la izquierda se desarrolla sobre la región 1 (Figura 4 E y F).

El autor concluye que todas las fallas parecen ser activas hasta el término del experimento, mientras el buzamiento de todas las fallas buzantes a la izquierda parecen disminuir con la profundidad (Fallas Listricas).

La evolución del patrón de la discontinuidad estructural debido al deslizamiento a lo largo de una zona de detachment. A, inicio del deslizamiento a lo largo de un plano de detachment de buzamiento suave. B, formación de un sistema de fallas normales conjugadas (1 y 2). Ambas fallas tienen el mismo buzamiento en el rango de 60° y 70° . C, formación de un graben simétrico durante el deslizamiento; D, Desarrollo de una falla antitética secundaria; E y F, formación de fallas antitéticas terciarias. Tomado y modificado de Exadaktylos et al. (2003).

Figura 4. Evolución de la cuenca de Cuenca



Fuente; Exadaktylos et al. (2003)

Hungerbühler. (2001)

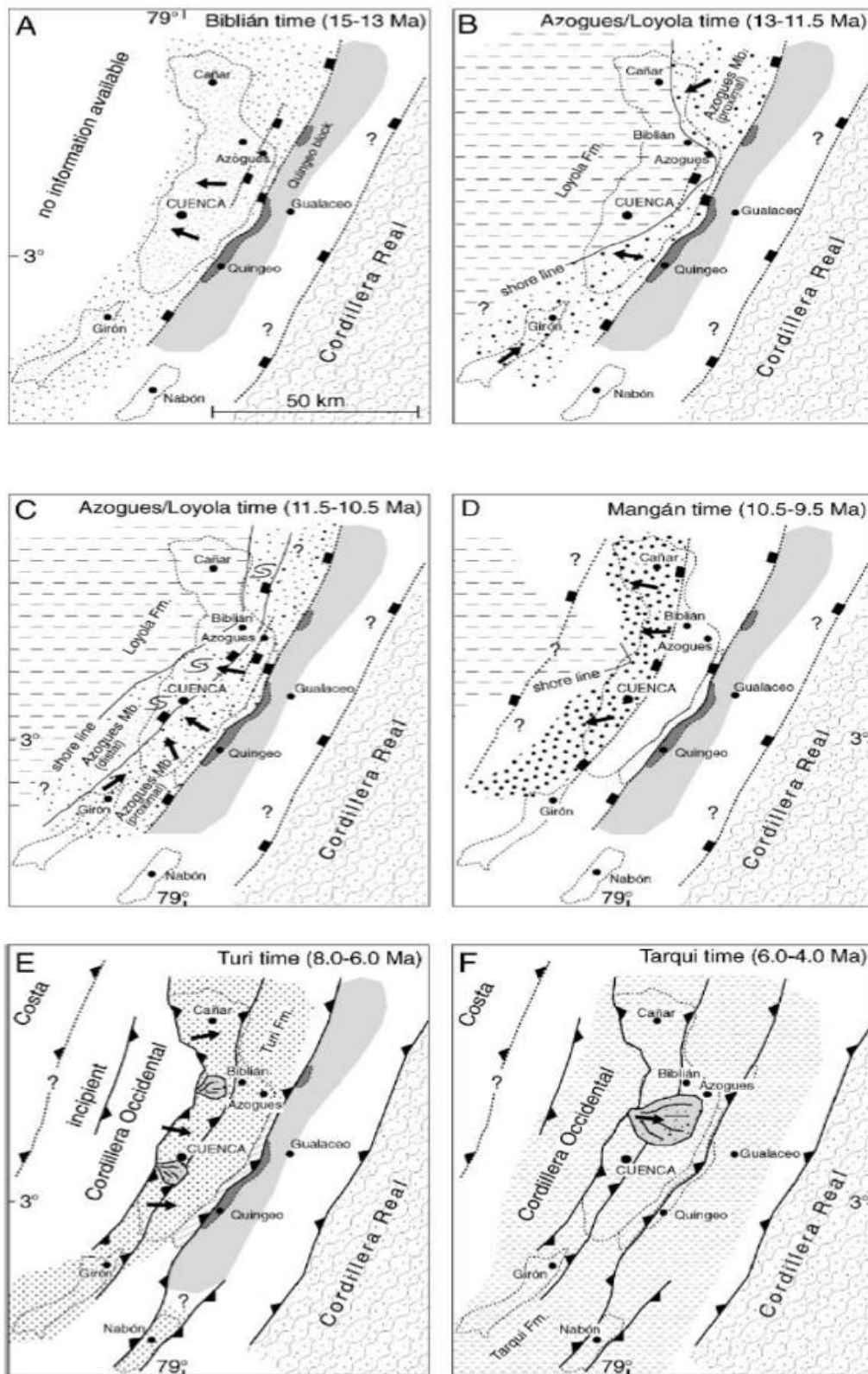
Según Hungerbühler el régimen tectónico que controla la depositación de la secuencia Pacífica costera en el área de Cuenca puede ser derivado de los siguientes argumentos: la presencia de clastos metamórficos en las facies deltaicas y sistemas fluviales implica que la Cordillera Real fue la fuente clástica dominante y que, durante la depositación del estado pacífico costero no hay evidencia para la existencia en esta latitud de la Cordillera Occidental como fuente clástica (Figura 5).

La secuencia inferior del área de Cuenca fue depositada en un ambiente tectónico predominantemente extensional situado entre una insipiente Cordillera Real y el Océano Pacífico.

La evolución tectono-sedimentaria de la cuenca, después de un período erosional durante 20 – 15 Ma, empieza por la depositación de la formación Biblián, la cual cubre parcialmente la formación Yunguilla. Como el material detrítico de la formación Biblián tuvo como fuente la Cordillera Real se puede inferir una falla normal ubicada hacia la Cordillera Real. Posteriormente se presenta una continua subsidencia general causando un ingreso del mar desde el oeste, durante el tiempo de la Fm Loyola.

Esto fue seguido por una variación general hacia el oeste del centro de depositación debido al incremento de la subsidencia durante el tiempo de la formación Mangán, que puede haber sido controlado por la reactivación de una nueva falla normal localizada desde Girón al sur hasta Biblián al norte.

Figura 5. Evolución tectónico – sedimentaria de la cuenca de Cuenca, mostrando los diferentes episodios de depositación



Fuente: Modificado de Hungerbühler, 2001

Una inversión tectónica mayor durante 9,5 y 8 Ma es sugerida para explicar el inicio de las secuencias intermontañas.

Estos argumentos son documentados por: (1) el desarrollo de una disconformidad angular entre las secuencias costeras e intermontañas; (2) el aporte detrítico de la Cordillera Occidental a la formación Turi y Miembro Santa Rosa, y (3) el establecimiento y relleno de la cuenca sedimentaria de Nabón.

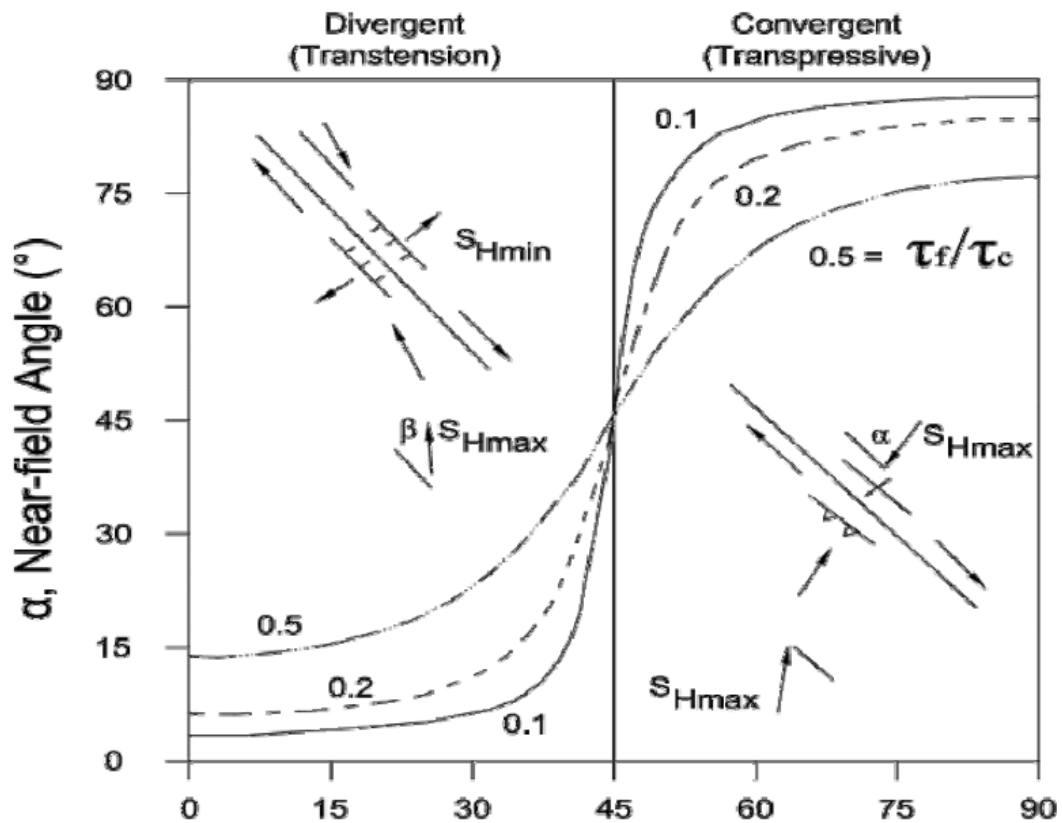
Ben_Avraham et al. (1992)

Afirman que fallas transcurrentes continentales son comúnmente asociadas con cuencas pull - apart relativamente de pequeña escala, pero cuencas de escala mucho más grande, las cuales no son consistentes con el modelo pull - apart, comúnmente existen adyacentes a fallas transcurrentes.

Estos autores realizaron observaciones sobre varias cuencas remarcablemente asimétricas (Cuencas Elat Deep y Dakar Deep, en el Golfo de Elat), limitadas sobre un lado por fallas transformantes y sobre otro por fallas normales correspondientes a segmentos lineares subparalelos, sugiriendo movimientos simultáneos de deslizamiento de rumbo y extensión normal a la falla transcurrente. Los autores concluyeron que las observaciones realizadas son incompatibles con la teoría de fallamiento clásico y puede ser explicado a lo largo de límites de placas divergentes si la falla transformante es mucho más débil que la corteza adyacente (Figura 6).

Los análisis de la orientación de las direcciones horizontales de esfuerzo principal (SH) cerca de una falla transcurrente débil incluida en una corteza firme, muestra que el movimiento de placas convergente y divergente resulta en un campo de esfuerzos caracterizados por compresión y extensión cercanamente normal a la falla transcurrente, respectivamente.

Figura 6. Evolución de la cuenca de Cuenca, 1992



Fuente: Tomado y modificado de Ben_Avraham et al. (1992).

La relación entre la dirección de campo cercano y lejano del esfuerzo principal máximo puede ser determinado para diferentes valores de la fuerza promedio de la falla. Cuando la dirección de esfuerzo del campo lejano es más de 45° desde el rumbo de la transformante débil (corresponde al movimiento de placas convergente), compresión normal a la falla ocurre cerca de la transformante. En el caso de placas divergentes, correspondientes a un esfuerzo principal máximo de campo lejano menor que 45° al rumbo de la transformante, extensión normal a la falla ocurre.

Lavenu y Noblet. (1989)

Lavenu y Noblet (1989) proponen la sedimentación de la cuenca netamente de origen continental a diferencia del modelo propuesto por Hungerbühler descrito anteriormente. El rango de edad asumido para la depositación de la cuenca comprende desde el oligoceno al plioceno, posterior a la depositación del Grupo Saraguro. Según los autores estos sedimentos muestran una evolución cíclica en dos mega secuencias. La primera corresponde a la apertura de la cuenca, que se inició con la formación Biblián cuyo ambiente varió desde abanicos aluviales hasta llanuras de inundación y terminó con la formación Loyola, de ambiente lacustre, este ocurrió hasta el fin del mioceno inferior. La segunda mega secuencia, comprendida entre el mioceno medio al plioceno corresponde al cierre de la cuenca, se inició con la depositación de la formación Azogues y terminó con la depositación de la formación Mangán.

En este trabajo tiene importancia la descripción de dos eventos tectónicos principales. El primero como responsable de la apertura de la cuenca, corresponde a movimientos en extensión sobre fallas de rumbo N 20° a N 40° y dextrales sobre fallas N 170° a N 180°. El segundo evento, responsable del cierre de la cuenca corresponde a movimientos, en primera instancia dextrales sobre todas las fallas, luego dextrales sobre las fallas N 20° y N 40° y dextrales inversos sobre las de dirección N 170° a N 180°.

En base a la descripción de estos eventos tectónicos los autores concluyen que el relleno de la cuenca estaría completamente controlado por eventos tectónicos compresivos continuos desde el Mioceno inferior hasta el Plioceno.

GEOLOGÍA LOCAL

El objetivo de este ítem es la definición de la geología de la zona donde se emplazan las aguas termales en superficie, tras las observaciones realizadas en el campo fue posible identificar que las litologías que afloran en el sitio de estudio corresponden a procesos magmáticos y sedimentarios: mismos que cubren en discordancia a facies sedimentarias antiguas, tanto continentales como marinas intensamente tectonizadas, que han sido descritas geológicamente en la sección anterior.

Se encontraron las siguientes unidades litoestratigráficas, que en orden cronológico son las siguientes.

Formación Celica (Kc)

Un potente paquete de lavas masivas que aflora en la Cordillera Occidental, sobre las márgenes del río Tomebabmba (UTM 840 115), entre el río Culebrillas y el río Laviuco, fue asignado a esta formación por Paladines y Guevara (1980). Consiste en andesitas afaníticas de color verdoso debido a una intensa alteración, localmente se presentan falladas. Estas lavas están intercaladas con tobas riolíticas; también se han descrito riolitas, dacitas y horizontes de sedimentos interdigitados. Esta formación subyace a lutitas y argilitas de la formación Yunguilla (Robalino, 1988).

La Celica tendría una edad de Cretácico Inferior (Baldock, 1982; Berrones et al., 1993), sin embargo, algunos autores piensan que el desarrollo de esta formación llegó hasta el Cretácico Superior (Megard y Lebrat, 1986). En la cuenca de Cuenca la potencia puede alcanzar los 2 000 metros, aumentando hacia el sur (Paladines y Guzman, 1980).

Esta formación representa una típica secuencia de arco volcánico evolucionado con actividad subaérea, Según Baldock (1982) Celica fue depositada en parte sobre un bloque metamórfico levantado y, por otra, sobre una depresión (Lancones - Alamor), donde se

asoció con sedimentos marinos y volcanoclásticos del Grupo Alamor, según el mismo autor.

Formación Turi (PTu)

(Mioceno) (Erazo, 1957). [Cordillera Occidental]. Nombre tomado del pueblo de Turi ubicado a 3 Km al sur de Cuenca. Designado por Erazo como un complejo estratificado de conglomerados, brechas y cenizas con intercalaciones de arcillas y areniscas fluviales, que asoman bien expuestas en las inmediaciones de Turi y se extiende hacia el SW. Rocas sedimentarias fluviales confinadas a la cuenca de Cuenca y sus extensiones. Al SW de Turi consiste de conglomerados andesíticos gruesos y brechosos, pobremente litificados y horizontalmente estratificados, de unos 300m de espesor, intercalados con areniscas y limolitas tobáceas de color pálido. En el área de Cañar- Suscal consta de conglomerados subhorizontales, en parte brechosos, tobas primarias y retrabajadas, limolitas, y diatomitas, todos pobremente consolidados.

Descansa inconformemente sobre el Grupo Saraguro y está sobreyacida por la formación Quimsacocha. Fue considerada del Plioceno (Bristow & Parodiz, 1982), pero nuevas dataciones de trazas de fisión (Steinmann, 1998) indican una edad del Mioceno tardío (8-9 Ma).

Formación Tarqui (PT)

(Mioceno) (UNDP, 1969). [Cordillera Occidental]. Nombre tomado del pueblo de Tarqui ubicado a 13 Km al SSW de Cuenca. Piroclásticos dominan en la secuencia y las lavas forman un porcentaje muy bajo. Comprende de tobas y aglomerados riolíticos o andesíticos que en muchos lugares han sido caolinizados, unas intensamente meteorizadas y otras blancas y rojas, que cubren todas las unidades más antiguas del área. Es característica la presencia de abundantes cristales euhedrales bipiramidales de cuarzo que se encuentran en pequeños bolsillos residuales en la superficie. El espesor máximo se

estima en 1200 m. Se considera equivalente a la formación Tambo Viejo del Mioceno superior (Hungerbühler & Steinmann, 1996).

Depósitos glaciares (gt)

(Pleistoceno). En el extremo oeste de la zona de estudio, se encuentran extensas zonas cubiertas por materiales glaciares de tipo tillitas y morrenas, que involucran a grandes bloques dacíticos y varios fragmentos de rocas andesíticas dentro de una matriz limo-arenosa. En los valles glaciales se encuentran depósitos lacustres los cuales presentan material arenoso y limoso de características orgánicas. En ciertas partes, los depósitos glaciares están cubiertos por eventos más jóvenes, como movimientos de terreno, donde se aprecian avalanchas y coluviales.

Travertino - Tv (Holoceno)

Existen grandes vetas de travertino (toba calcárea) en diferentes localidades de la zona de estudio, el mismo que se forma cuando el agua con bicarbonato de calcio contacta con la atmosfera y se convierten en carbonato de calcio, luego este se va sedimentando y presenta un aspecto de bandas de diferentes colores que son el resultado de las impurezas del agua, luego estos forman bloques, que por ejemplo en el caso de Baños pueden llegar a medir 800 m., de largo por 15 de alto. Se cree que el travertino tiene su origen en la formación Yunguilla, que es predominantemente calcárea.

Depósitos coluviales (Holoceno)

Extensas zonas de la cuenca se encuentran cubiertas por depósitos coluviales y de pie de ladera, especialmente en la parte central, están compuestos por líticos volcánicos embebidos en una matriz areno-limosa. Aunque en ciertos sitios estos materiales pueden aflorar de manera local en ciertos sectores presentan espesores superiores a los 20 metros.

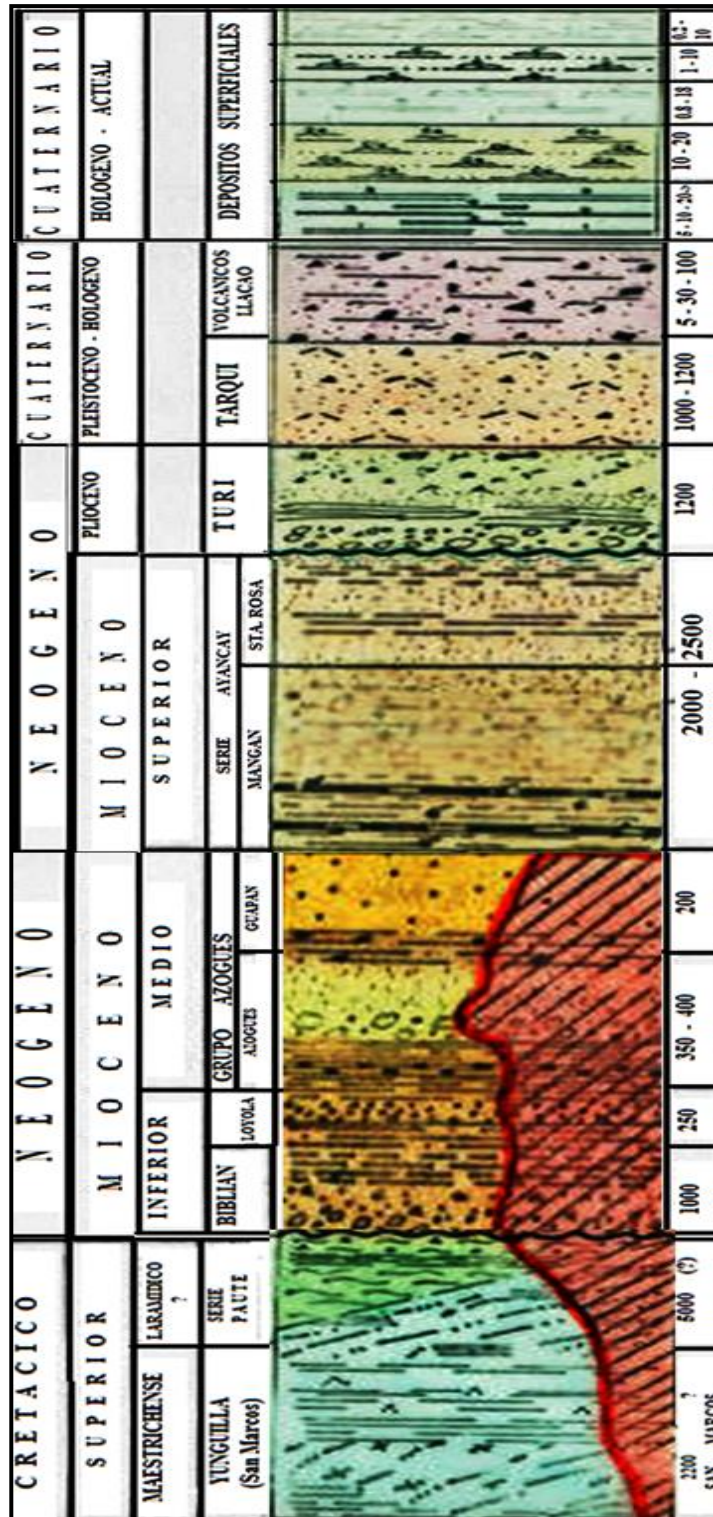
Depósitos aluviales (Holoceno)

Corresponden a los materiales depositados por los principales ríos de la zona de estudio, que han ido formando terrazas en varios niveles. Litológicamente comprenden bancos de arena, grava y bloques redondeados a subredondeados sin procesos de compactación importante.

La mayor parte de estos materiales se encuentran en la parte norte del área de estudio, donde las pendientes son muy suaves y donde incluso se han logrado identificar varios niveles de terrazas.

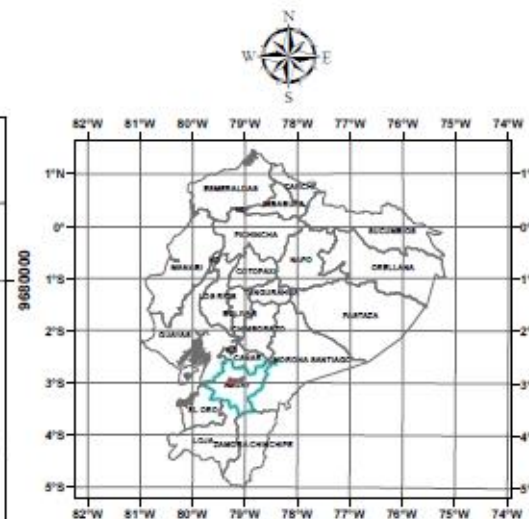
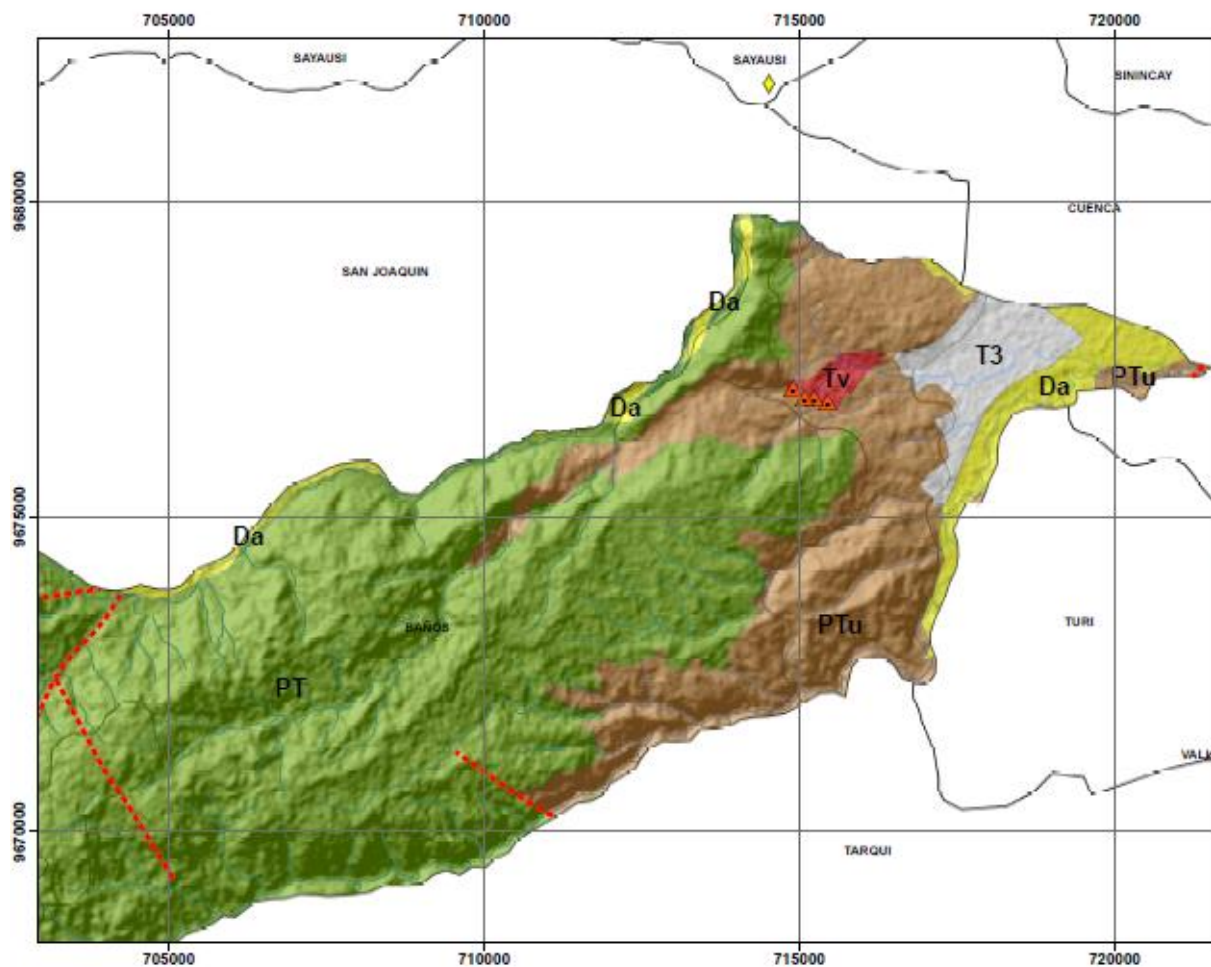
Las características litológicas y las unidades geológicas se presentan a continuación en la columna estratigráfica y en el mapa geológico de Baños de Cuenca.

Figura 7. Columna estratigráfica del suroeste de la cuenca de Cuenca



Fuente: Steinmann & Hungerbühler D., 1996

Mapa 7. Mapa geológico de Baños de Cuenca



SIMBOLOGÍA

- Vertiente
- Fallas
- Límite parroquial
- Ríos
- Estaciones Meteorológicas

LEYENDA GEOLÓGICA				
Depósito aluvial	Cantos, gravas y arenas	Da (T3)	HOLOCENO	CUATERNARIO
Travertín	Carbonato	Tv		
Depósito glaciar	Tilita	gt		
Formación Tarquí	Toba, riolita, andesita	PT	PLBISTOCENO	
Formación Turí	Areniscas y conglomerados	PTu		

ESCALA 1:70.000 Metros

DATUM WGS84 - ZONA 17S

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA GEOLÓGICO DE BAÑOS DE CUENCA
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION:
FECHA: ENERO 2014	

GEOMORFOLOGÍA

El sector está situado al interior de un amplio valle fluvial, a 2.500 m. sobre el nivel del mar, en la zona austral de Ecuador, en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Paute, corresponde a una gran depresión intramontañosa terciaria “la cuenca de Cuenca” (Precupa 1998).

Es una llanura aluvial, rodeada de colinas y montañas, comprendidas entre los 2.400-2.700 m.s.n.m. en las que dominan, sobre todo, procesos morfoevolutivos de tipo fluvial. El drenaje superficial se presenta bien desarrollado a causa del bajo grado de permeabilidad de los terrenos. Los principales cursos de agua que atraviesan el territorio a examen son: el río Yanuncay que nace en las montañas del Cajas, y el río Tarqui, que nace desde la altura de “Victoria de Portete”, donde confluyen numerosos torrentes que corren al interno de los valles intramontañosos y que contribuyen al flujo hídrico de los cursos de agua principales.

Tabla N.2 Resumen de la geomorfología de Baños de Cuenca.

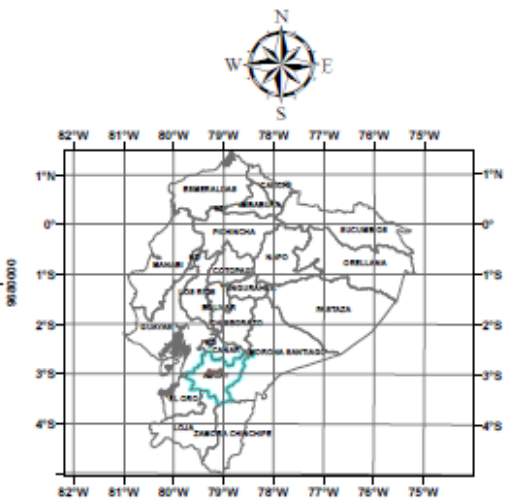
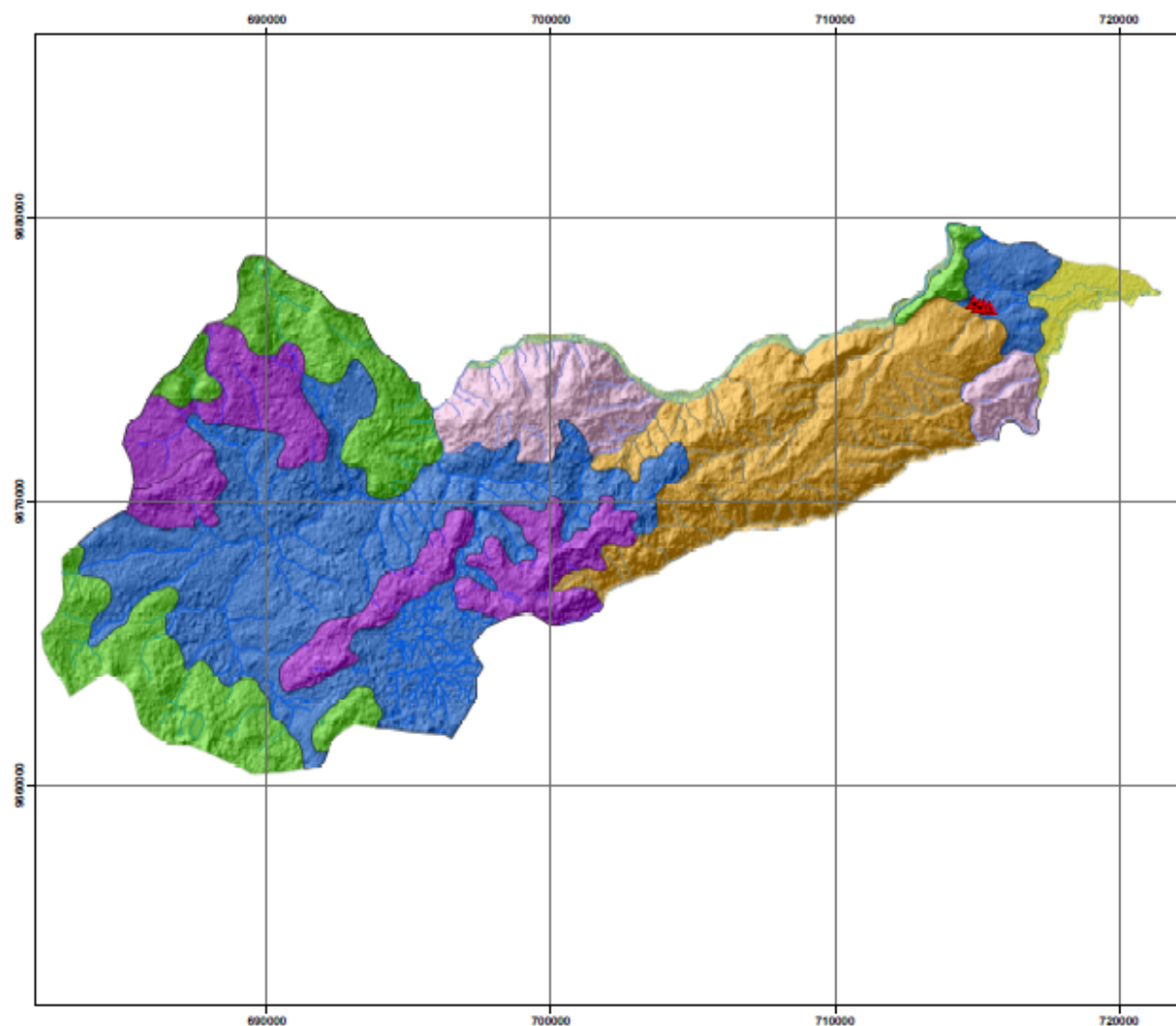
Geoformas	Génesis	Litología	Relieve	Drenaje	Pendiente
Relieves estructurales muy altos y montañosos	Estructural - denudacional	Formación Tarqui y Turi	Abrupto	Subdendríptico	45 a 75 %
Relieves estructurales bajos a medios	Estructural - denudacional	Formación Tarqui	Ondulado a Fuerte	Subdendríptico	15 a 25 %
Depósitos coluviales	Deposicional o acumulativo	Líticos volcánicos envueltos en una matriz areno-limosa	Suave a ondulado	-----	5 a 15 %
Depósitos aluviales (Terrazas)	Deposicional o acumulativo	Arenas, gravas y bloques redondeados a subredondeados	Plano	-----	0 a 5 %
Depósitos coluvio aluviales	Deposicional o acumulativo	Clastos subangulosos a angulosos en matriz arenosa	Plano a suave	-----	0 a 5 %

Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

A causa de la naturaleza litológica de los relieves, generalmente constituida por rocas volcánicas, la pendiente y las vertientes son muy altas, desde el punto de vista morfológico, están muy articuladas con cornisas estructurales y de morfología subvertical, probablemente sujetas a deslizamientos en forma de desprendimientos y coluviones localizados en las estribaciones de la cordillera occidental.

Las características geomorfológicas se presentan en el mapa geomorfológico de Baños de Cuenca.

Mapa 8. Mapa geomorfológico de Baños de Cuenca



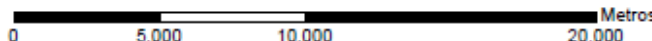
SIMBOLOGÍA

- ▲ Vertiente termal
- Rios

LEYENDA

- Coluvio aluviales
- Relieve estructural montañoso
- Relieves estructurales altos
- Relieves estructurales bajos
- Relieves estructurales medios
- Relieves estructurales muy altos
- Terrazas aluviales

ESCALA 1:150.000



DATUM WGS84 - ZONA 17S

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA GEOMORFOLÓGICO DE BAÑOS DE CUENCA
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION:
FECHA: ENERO 2014	

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras geológicas principales presentes en la zona de estudio exponen una tendencia de dirección NNE. A lo largo de la autopista que va desde la capital de la provincia de Azuay y lleva a la ciudad de Azogues, se encuentra un importante sistema de fallas, de carácter inverso, llamado “Paccha – Cojitambo”, que muy probablemente constituye la prolongación del conocido sistema de falla Girón (Steinmann, 1997). Además de estas estructuras, se encuentran en las cercanías de la zona de estudio las siguientes fallas (Figura N.8).

Fallas del Frente Subandino

Las fallas del Frente Subandino son inversas, lo cual fue ratificado en los estudios neotectónicos realizados para el Proyecto Paute Mazar; además, los datos microestructurales realizados para ese estudio detectaron la presencia de un componente transcurrente dextral. La información sísmica disponible en la época, muestra una estrecha relación con los ramales tectónicos del frente subandino (Almeida & Ramón, 1997). En 1995 se produjo el terremoto de Macas, precisamente en una de las fallas del Frente Subandino. Las intensidades registradas en la zona fueron de 5 a 6 grados en la escala MSK lo cual significa aceleraciones del 7 % de la gravedad (Yepes, 1998).

Falla de Paute

Que se encuentra a lo largo del río Paute y controla el drenaje y la topografía de la zona. Su último movimiento fue en el Cuaternario (<1.6 Ma) (USGS –EPN, 2003).

Falla de Gualaceo

Se trata de una falla inversa que es la prolongación sur de la falla de Paute. Su expresión morfológica es la formación de un lineamiento con el río Gualaceo. Su último movimiento fue en el Cuaternario (<1.6 Ma) (USGS –EPN, 2003).

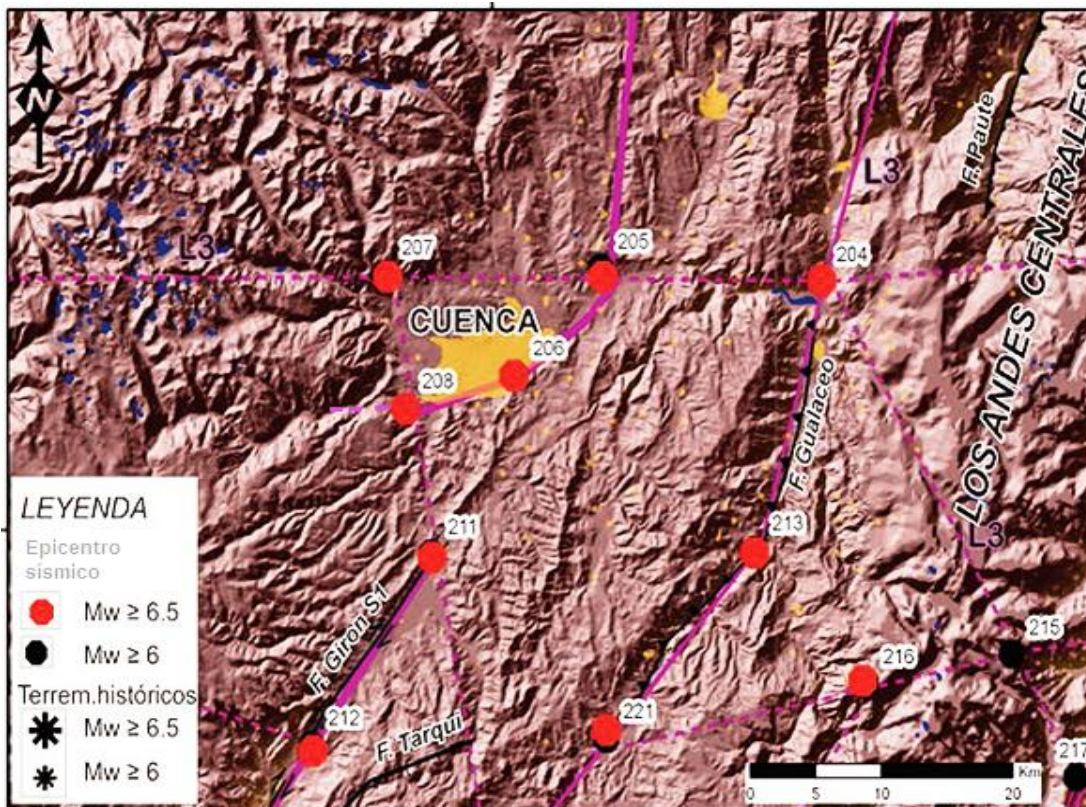
Falla de Tarqui

Se trata de una falla relacionada con la extensión sur de la cuenca de Cuenca que está afectando a los sedimentos volcánicos del Plioceno. Su último movimiento fue en el Cuaternario (<1.6 Ma) (USGS –EPN, 2003).

Fallas Girón

Al sur de Cuenca, el análisis morfológico y estructural del sistema de fallas Girón permite poner en evidencia la presencia de una falla normal responsable de la formación de la cuenca intramontana de Santa Isabel, que en caso de reactivación podría generar sismos de una magnitud probable de 6.8 - 7.1 (Winter, 1989). Los efectos locales que esta sismicidad puede producir a nivel de superficie, dependen entre otras cosas de las características locales de los materiales de cobertura. En la zona de la cuenca de Cuenca, por sus características litológicas, se puede provocar una amplificación de las ondas en caso de sismo, que pondría en riesgo las estructuras de la ciudad.

Figura 8. Mapa de Pliegues y Fallas cuaternarias para la zona centro del Ecuador y regiones oceánicas adyacentes



Fuente: Modificado de USGS – EPN, 2010

El sistema tectónico del sector es paralelo al desarrollo de la cordillera andina, NNE, denominado sistema longitudinal, y un leve sistema distensivo. La actividad de estas fallas y de varias estructuras menores reconocidas ha sido responsable de la morfología periglaciaria existente al lado norte y este de Baños.

Las aguas termales de Baños de Cuenca son relacionadas probablemente a volcanismo antiguo y proceden de una falla geológica de alrededor de 100 metros de longitud, conocida como La Loma de los Hervideros, con aguas que emergen a la superficie a una temperatura de 75 grados centígrados.

TECTÓNICA Y VOLCANISMO

Es conocido también que el ambiente sismotectónico del Ecuador se debe al proceso subductivo de la placa Sudamericana, cuyos efectos son los grandes esfuerzos sobre la litosfera continental, que trae consigo el levantamiento de Los Andes y la formación de las diversas cuencas.

La placa de Nazca mide aproximadamente 10×10^6 Km², se considera como una placa mediana, es exclusivamente oceánica y está constituida por materiales densos, esta placa se subduce bajo la placa Sudamericana que comprende América del Sur y la mitad occidental del Atlántico Sur hasta su dorsal media. La parte de la corteza oceánica que se subduce se denomina zona de Benioff siendo la causante de grandes terremotos y de volcanismo en la región andina.

La zona de Benioff comprende la estructura oceánica notablemente regular, que llega a profundidades de 650 – 700 Km en la cual la placa es absorbida completamente por las rocas del interior, o bien sus propiedades han sido tan alteradas que no se puede liberar más energía sísmica (Bolt, 1976).

Al subducirse la placa de Nazca se ha formado la gran cordillera Andina, cuyos efectos se extienden hasta 200 km a cada lado de las montañas (Londale, 1978), esto implica un importante sistema de fallamientos.

Debido a un mayor buzamiento al norte de los 2° de latitud sur se tiene mayor actividad sísmica; en cambio hacia el sur la sismicidad es menor (Palacio et al, 1987). Igualmente esta mayor sismicidad hacia el norte va acompañada de una mayor actividad volcánica (Barazangui et al, 1976), situación que fue descrita anteriormente aclarando que ambos son el resultado del proceso subductivo.

2.4.4 HIDROLOGÍA

Esta rama de las ciencias de la Tierra cubre fenómenos naturales involucrados en el ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo; es decir, es la geociencia que describe y predice:

- Las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica;
- El movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria.

Sin embargo, es de vital importancia el enfoque que ha tenido el desarrollo de la tecnología digital, la cual ha permitido a la hidrología alcanzar altos niveles de confiabilidad y consecuentemente, convertirse en un elemento clave en múltiples estudios y proyectos relacionados con el uso, manejo y suministro del agua.

CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico se define como la transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, que se debe a una evaporación directa, también a una transpiración por plantas y animales y por sublimación; se toma en cuenta que el vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1000 km y esta agua condensada da lugar a la formación de nubes y, consecutivamente, a la precipitación³.

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos, cierta parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno conocida como escurrimiento superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua y que alimentará los cursos de agua que desembocan en lagos y en océanos. Mientras el agua restante se infiltra penetrando en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Figura 9. Ciclo del Agua.



Fuente: USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos)

³ Fuente: DISEÑO HIDROLOGICO, Segunda Edición, Sergio Fattorelli, Pedro C. Fernández, (2013 – 09 – 05).

2.4.4.1 METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

METEOROLOGÍA

La meteorología es la ciencia que se ocupa de los fenómenos que ocurren a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera, su objetivo es predecir el tiempo y elabora un pronóstico del tiempo de corto a mediano plazo.

CLIMATOLOGÍA

Esta ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo, aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo.

Así se debe mencionar que el clima juega un papel importante en las zonas de estudio, ya que ejerce una acción más directa sobre los ecosistemas y el hombre, que de alguna manera condicionan las actividades esenciales como la producción de alimentos, siendo además el componente más difícil de controlar por el hombre y ante las adversidades climáticas, la única acción posible es la prevención y adaptación para evitar los efectos negativos de las mismas.

La latitud geográfica, la longitud, la altitud del suelo, y su orografía (cadenas montañosas, vegetación, acercamiento y alejamiento del océano, corrientes marinas y dirección del viento), hacen que las zonas de estudio presenten una variedad de microclimas con una distribución espacial muy variable.

2.4.4.2 ELEMENTOS DEL CLIMA

Son los componentes o variables en los que suele dividirse el clima para su estudio, y entre los más importantes están: evaporación, evapotranspiración, viento, radiación, temperatura, humedad y precipitación, donde cada una de estas variables son medidas en diferentes tipos de estaciones meteorológicas.

PRECIPITACIÓN

Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia los continentes.; en estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, provocando las precipitaciones. (Sergio Fattorelli, 2011).

La precipitación es la cantidad de agua meteórica total, líquida o sólida, que cae sobre una superficie, y que agrupa todas las agua meteóricas recogidas en una cuenca vertiente, así se presentan en forma líquida (temperaturas sobre 0 °C, caen en forma de lluvia), mientras que en estado sólido (si la temperatura es bajo 0°C, caen en forma de nieve o de granizo), (Castany, 1971).

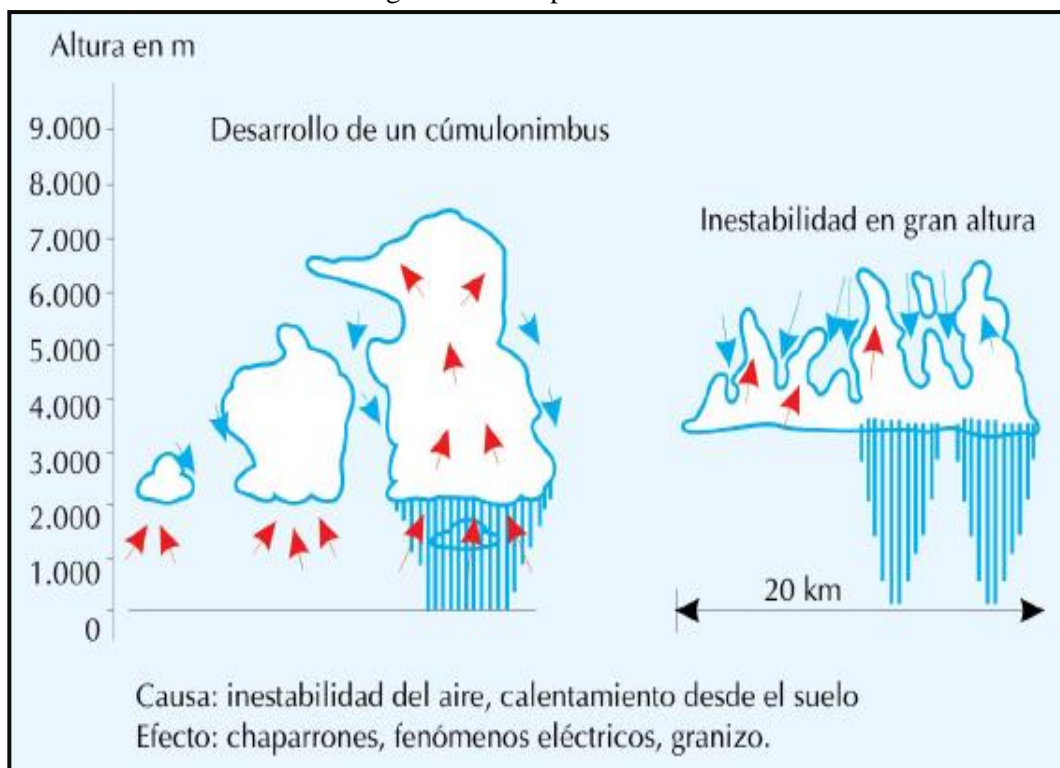
La precipitación se mide en mm, (1mm equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable de 1m², se registran a través de pluviómetros y pluviógrafos), Existen normas internacionales para el emplazamiento de estos dispositivos, por lo que su instalación, control y mantenimiento debe ser realizado por técnicos especializados.

TIPOS DE PRECIPITACIÓN

De acuerdo a los fenómenos meteorológicos, las precipitaciones pueden clasificarse en: precipitaciones por convección, precipitaciones orográficas y precipitaciones ciclónicas o de frentes.

Precipitaciones convectivas: son causadas por el ascenso de aire caliente saturado o no, más liviano que el aire frío de los alrededores. Durante su ascenso, las masas de aire se enfrían según un gradiente de 1°C por 100 m (seco) o $0,5^{\circ}\text{C}$ por 100 m (saturado); cuando alcanza el punto de condensación, se produce la formación de nubes. Si la corriente de convección vertical inicial es intensa, el sistema nuboso puede alcanzar una zona de temperaturas muy bajas o un grado de turbulencia fuerte, que pueden desatar la lluvia. La precipitación convectiva es de corta duración, puntual y su intensidad puede variar entre una llovizna ligera y un aguacero. Son características de las regiones ecuatoriales, donde los movimientos de las masas de aires, son esencialmente verticales.

Figura 10. Precipitaciones convectivas.

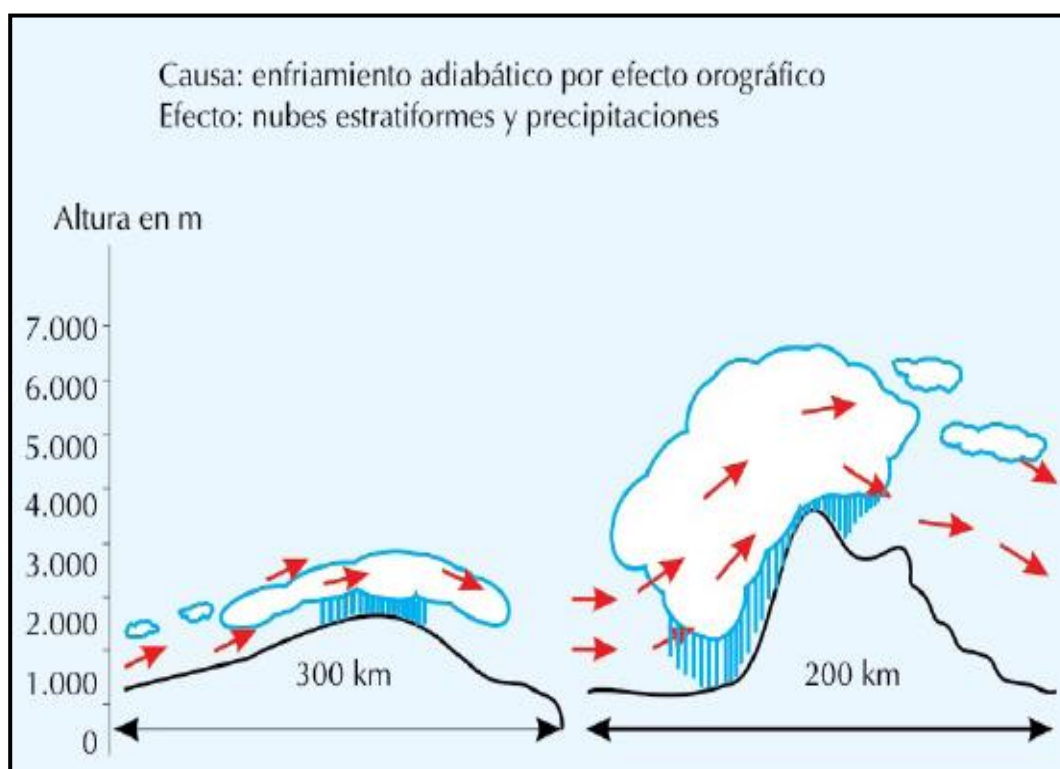


Fuente: Centro Editor de América Latina, 1981

Precipitaciones orográficas: cuando las masas de aire cargadas de humedad que se desplazan del océano a los continentes encuentran una barrera montañosa, tienden a elevarse y se produce un enfriamiento que puede generar una cobertura nubosa y desatar precipitaciones.

Las precipitaciones orográficas se presentan bajo la forma de lluvia o de nieve en la dirección hacia la que sopla el viento (vertientes sotavento de la barrera montañosa).

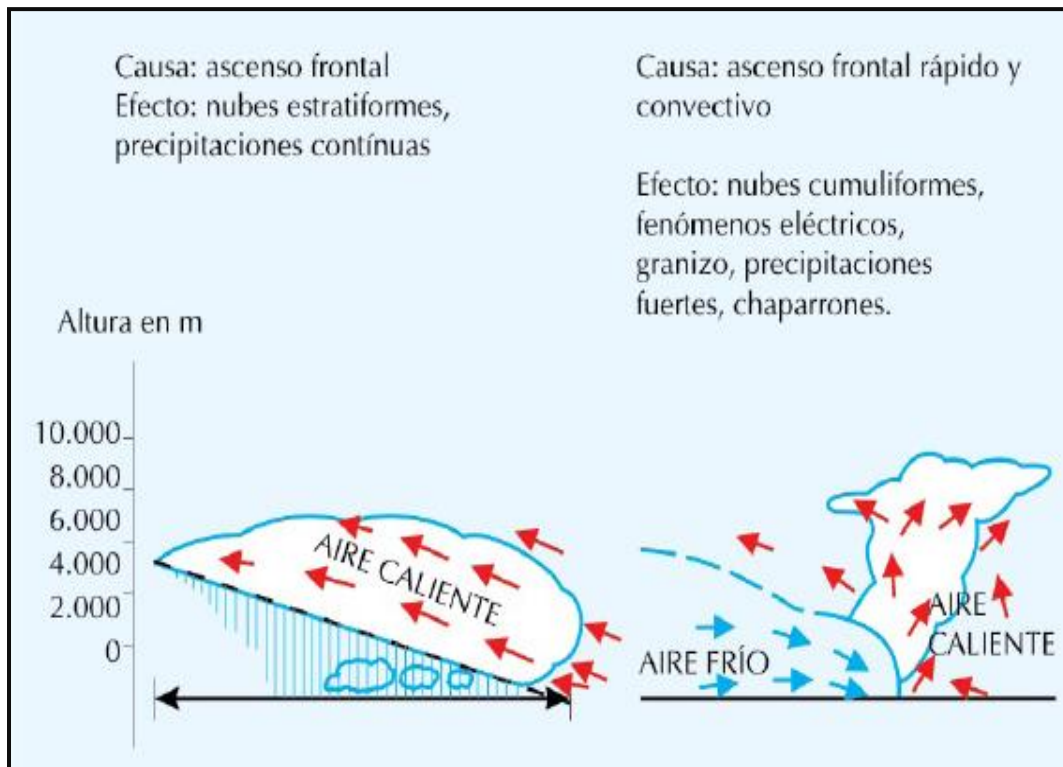
Figura 11. Precipitaciones orográficas.



Fuente: Centro Editor de América Latina, 1981

Precipitaciones frontales: este tipo de precipitaciones están asociadas a las superficies de contacto (frente) entre masas de aire de temperatura y humedad diferentes. La precipitación frontal resulta del levantamiento de aire cálido sobre una masa de aire denso y frío, donde su velocidad de ascenso de la masa de aire caliente es relativamente baja; y esta precipitación puede extenderse de 300 a 500 km por delante del frente y es generalmente lluvia que varía entre ligera y moderada.

Figura 12. Precipitaciones frontales.



Fuente: Centro Editor de América, 1981

2.4.4.3 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA

La capa de agua media caída sobre una cuenca es igual al cociente de la precipitación (milímetros) por la superficie (metros cuadrados), y puede ser calculada por varios métodos:

Media aritmética de las precipitaciones: es un método sencillo que consiste en calcular la media aritmética de las alturas de precipitación medidas en el mismo intervalo de tiempo en diversas estaciones de la zona de estudio. Según el Método Aritmético, la Precipitación media se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

En donde P_i es la precipitación puntual en la estación i y n el número de estaciones dentro de los límites de la cuenca en estudio. Como vemos es simplemente un promedio de las precipitaciones registradas en las distintas estaciones consideradas dentro de la cuenca.

MÉTODO DE LAS ISOYETAS

Se basa en determinar áreas entre isoyetas, y determinar el valor promedio de precipitación de las isoyetas que delimitan el área, y utilizar la siguiente expresión matemática para determinar la precipitación media de la cuenca (P_m).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * A_i)}{A_t}$$

$$P_m = \frac{P_1 * A_1 + P_2 * A_2 + \dots + P_n * A_n}{A_t}$$

Dónde:

P_i = Precipitación promedio entre dos curvas isoyetas consecutivas.

A_i = Área delimitada por las dos curvas isoyetas.

A_t = Área total considerada.

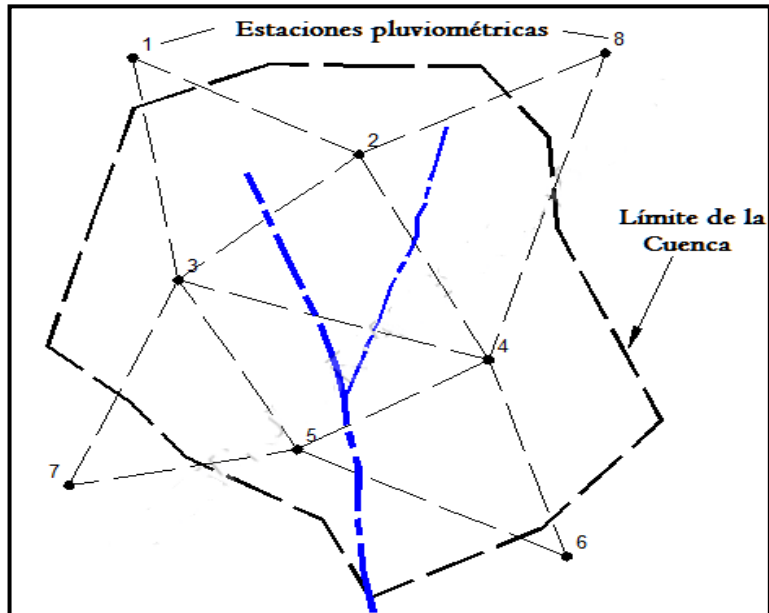
MÉTODO DE THIESSEN

Este método se puede utilizar para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas, provee resultados más correctos con un área de cuenca aproximadamente plana, pues no considera influencias orográficas.

El método asigna a cada estación un peso proporcional a su área de influencia, la cual se define para cada estación de la siguiente manera:

- Todas las estaciones contiguas se conectan mediante líneas rectas en tal forma que no hayan líneas interceptadas, es decir conformando triángulos:

Figura 13. Diagrama para Método Thiessen



Fuente: www.tutorialesaldia.com, 2013

- En cada una de las líneas previamente dibujadas se trazarán mediatrices perpendiculares, las cuales se prolongarán hasta que se corten con otras mediatrices vecinas:
- Los puntos de cruce o intersección entre las mediatrices representan los puntos del polígono cuya superficie constituye el área de influencia de la estación que queda dentro de dicho polígono.
- Finalmente, el área de cada uno de estos polígonos debe ser calculada (A_i) para poder realizar el Cálculo de la Precipitación Media sobre la cuenca mediante la expresión:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

TEMPERATURA

La temperatura atmosférica es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire, aunque existen otras escalas para otros usos, la temperatura del aire se suele medir en grados centígrados (°C) o en grados Fahrenheit, y para su medición se usa un instrumento llamado "termómetro".

La temperatura depende de diversos factores, por ejemplo, de la inclinación de los rayos solares, también depende del tipo de sustratos (la roca absorbe energía, el hielo la refleja), de la dirección y fuerza del viento, de la latitud, asimismo de la altura sobre el nivel del mar y la proximidad de masas de agua.

Para las zonas de estudio se calcula la temperatura media, que trata de los promedios estadísticos obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas; se obtiene un gráfico de las temperaturas medias de un lugar para un año determinado. Y con estos mismos datos referidos a una sucesión de muchos años (30 o más) se obtiene un promedio estadístico de la temperatura para cada lugar.

EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se define como evaporación al proceso físico por el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso, donde representa el transporte de vapor hacia la atmósfera; este cambio se debe a la radiación solar que brinda la energía necesaria para que las moléculas del agua cambien de estado. Además de la radiación solar, las variables meteorológicas que intervienen en la evaporación son: la temperatura del aire, velocidad de viento, tensión de vapor o humedad relativa del ambiente, determinando el poder evaporante de la atmósfera, que es la capacidad del aire que rodea a la superficie evaporante para admitir vapor de agua.

La evaporación puede tener distintas procedencias: evaporación de superficie de agua libre, como también de lagos o cursos de agua, de la evaporación del agua del suelo y transpiración de plantas, que también toman agua del suelo por medio de sus raíces. Estas dos últimas son muy difíciles de cuantificar o estimar en forma separada, por lo tanto se engloban en una sola variable denominada evapotranspiración.

Dado que la evapotranspiración resulta de la suma de los volúmenes de agua utilizados en los procesos de evaporación del suelo y transpiración de las plantas, es lógico que muchos de los factores, principalmente los factores climáticos que influyen en la cantidad de evaporación desde una superficie de agua libre, y que igualmente afecten a la cantidad de evapotranspiración.

MÉTODO DE THORNTHWAITE

La fórmula se basa en la temperatura y en la latitud determinando que esta última constituye un buen índice de la energía en un lugar específico. Sirve para estimar la evapotranspiración potencial y tiene la ventaja de que la fórmula usa datos climatológicos accesibles⁴. Su expresión general es:

$$Et = 1.6 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

Dónde:

Et = evaporación potencial mensual (mm)

T = temperatura media mensual (°C)

I = suma de (i) para todos los meses del año o semana anual de calor

a = constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura, cuyo valor es:

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.017925 I + 0.49239$$

i = eficiencia de la temperatura

I = índice anual de calor (o temperatura). Es la suma de las eficiencias mensuales de temperatura.

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

BALANCE HÍDRICO

El Balance Hídrico relaciona las variables que intervienen en el ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, almacenamiento superficial y subterráneo y flujo de agua subterránea. Se aplica cuando se realiza una distribución de los recursos hidráulicos en cuencas particulares.

Su cálculo en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre: el volumen anual de escurrimiento o excedentes; el período en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero; y el período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua en ese período.

⁴ Fuente: <http://www.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS.htm>

2.4.4.4 CLIMATOLOGÍA DE BAÑOS DE AGUA SANTA

PRECIPITACIÓN

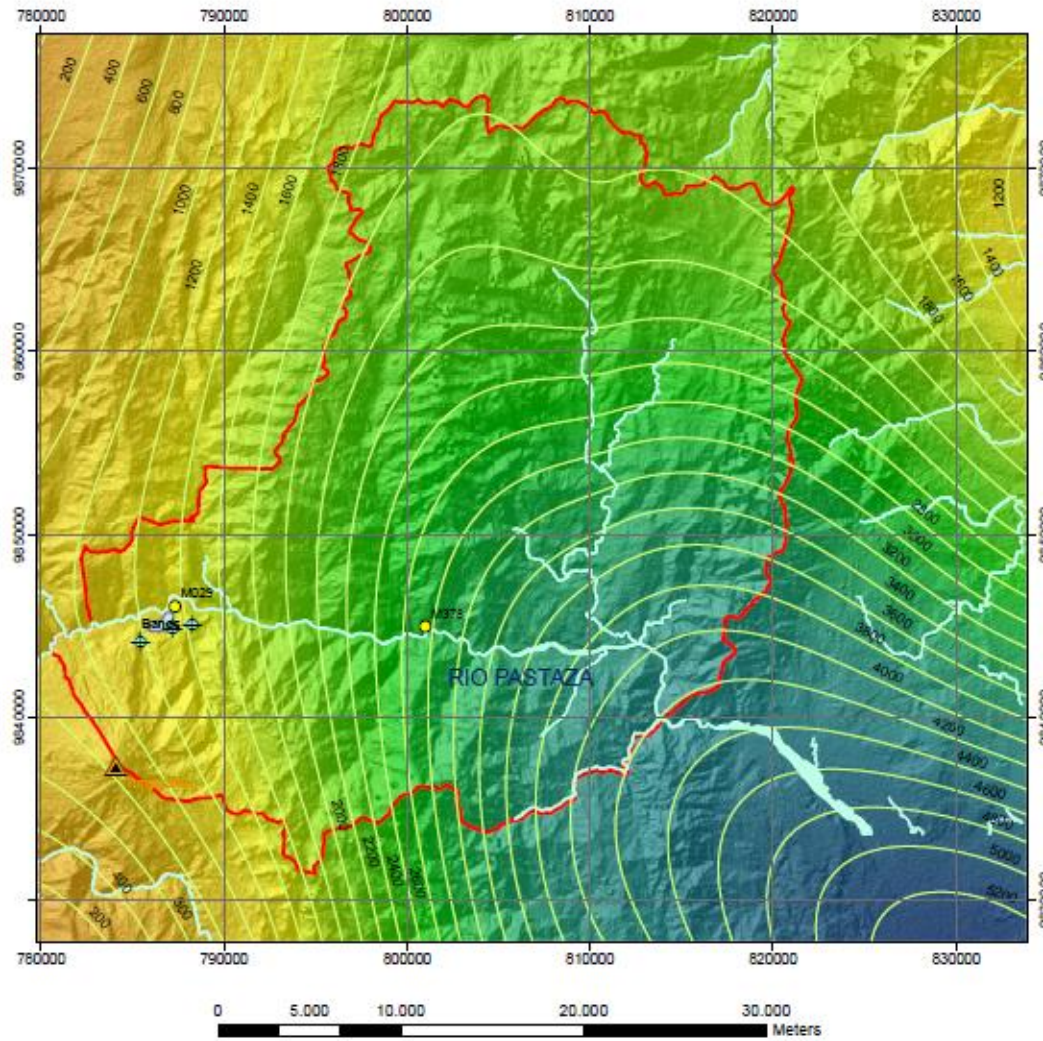
La precipitación media fue calculada a partir de dos métodos: método de isoyetas cuya precipitación media es de 1300 mm, mientras que la precipitación media calculada con el método de Thiessen es de 1518 mm. Así el método de isoyetas como el de Thiessen son valores referenciales debido a la diversidad en la topografía de Baños de Agua Santa, es de vital importancia mencionar que debido a la falta de estaciones pluviométricas para el cantón mencionado, se necesitó de información de estaciones más próximas de la zona de estudio, pero que corresponden a diversas provincias.

El mapa de isoyetas permitió identificar tres zonas importantes:

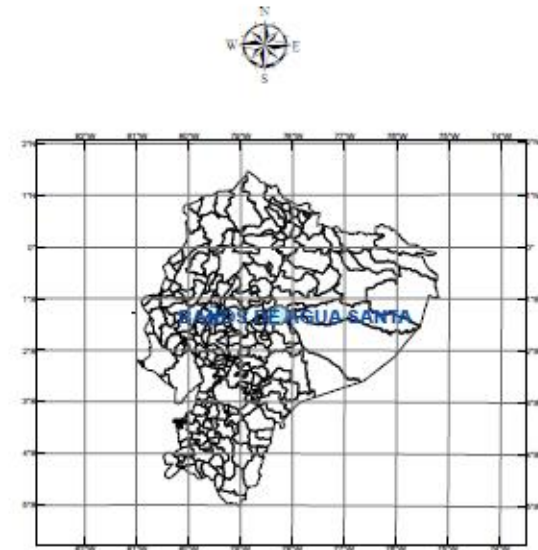
- Zona 1: indica precipitaciones anuales que van desde los 800 hasta los 1400 mm de precipitación, influenciada con masas de aire frío de los sitios aledaños a los volcanes.
- Zona 2: con precipitaciones anuales desde los 1600 a los 2600mm, en la cual se observa estación lluviosa desde abril a septiembre, y se le atribuye a masas de aire caliente provenientes de Océano Pacífico.
- Zona 3: corresponde a las vertientes orientales de la cordillera Real con pluviometrías anuales superiores a los 3000 mm, que es afectada por masas de aire provenientes de la cuenca Amazónica.

Los mapas tanto de isoyetas como de los polígonos de Thiessen y la tabla correspondiente para Baños de Agua Santa, se puede observar a continuación.

Mapa 9. MAPA DE ISOYETAS DE BAÑOS DE AGUA SANTA



1:250.000
DATOS WGS 84 - ZONA 17 SUR



SIMBOLOGIA

- Estaciones Pluviométricas
- ▲ Volcan Tungurahua
- ⊕ Punto de Agua Terales
- RIOS DOBLES
- Canton Baños



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA DE ISOYETAS
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION: INAMHI
FECHA: ENERO 2014	

Tabla N. 3 Series de precipitación media mensual de Baños de Agua Santa

Y	X	ESTACION	NOMBRE	COTA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL (mm)
9824834	770748	M243	PUNGALES	2550	40.4	44.0	62.9	70.2	78.6	52.1	37.0	21.6	31.1	31.5	43.7	21.2	543,30
9788952	762446	M395	CEBADAS	2930	32.2	95.0	132.1	114.9	102.1	36.6	23.2	31.0	25.2	27.5	47.6	43.4	710,60
9791632	779982	M396	ALAO	3200	47.6	77.9	84.5	103.7	88.5	94.5	97.6	68.6	59.3	58.4	60.6	51.2	892,40
9800254	767006	M407	LICTO	2840	84.7	116.1	286.9	161.9	228.7	161.5	142.8	149.5	94.1	110.5	106.7	138.0	178,40
9822413	764838	M408	GUANO	2620	34.6	50.4	70.8	72.4	42.8	38.1	19.2	13.5	24.9	36.0	46.1	32.1	480,70
9846052	787319	M029	BAÑOS	1846	46.5	85.8	87.3	135.5	141.0	194.8	194.0	137.6	119.5	82.5	66.9	67.1	1358,50
9848746	766455	M258	QUEROCHACA (UTA)	2865	36.2	45.0	48.3	66.4	73.1	66.6	59.4	44.7	35.4	38.7	48.6	36.5	598,80
9846526	775133	M380	HUAMBALO	2880	61.9	42.3	51.6	75.9	86.6	101.9	75.2	85.0	46.5	40.5	47.5	41.6	756,50
9844959	801003	M378	RÍO VERDE	1529	174.1	181.4	209.1	277.0	301.9	395.8	372.7	315.3	250.4	160.7	141.9	169.7	2950,60
9835044	834213	M008	PUYO	960	316.7	325.4	398.0	473.8	443.7	455.5	364.9	299.8	333.5	389.1	375.5	354.3	4530,50
9890380	854218	M070	TENA	665	257,90	256,30	329,50	448,60	435,60	464,90	425,00	316,40	321,00	349,00	305,30	281,50	4191,60
9855639	777764	M126	PATATE	2220	29,20	44,20	53,80	64,60	69,40	81,70	58,10	52,00	46,10	48,50	38,90	38,90	626,10
9835944	754782	M390	URBINA	3610	64,80	76,00	98,50	121,40	81,20	81,70	75,70	60,70	67,30	93,70	81,40	68,70	971,80
9820097	746632	M393	SAN JUAN-CHIMBORAZO	3220	46,20	70,90	81,60	102,70	65,40	35,00	15,60	19,60	40,40	92,60	98,00	73,40	742,00
9870574	849861	M485	AROSEMENA TOLA	628	308,90	316,30	384,60	441,00	532,10	529,00	458,40	349,60	400,60	381,00	386,90	363,70	485,50

PRECIPITACIÓN MEDIA=1300 mm/año

Mapa 10. MAPA DE PRECIPITACION MEDIA DE BAÑOS DE AGUA SANTA "METODO DE THIESSEN"

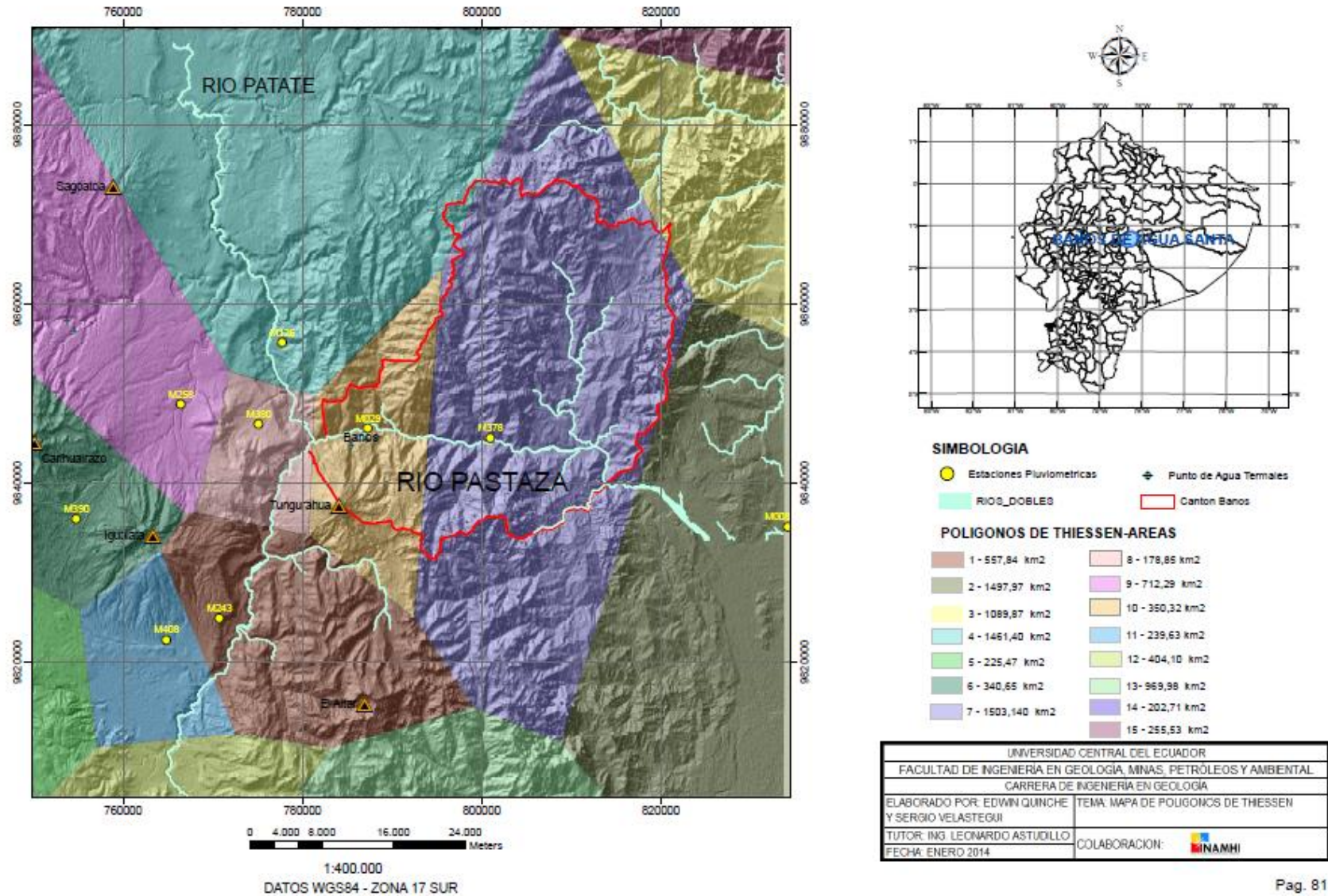


Tabla N. 4 Tabla de Estaciones de Baños de Agua Santa por el Método de Thiessen

POLÍGONO	ESTACIÓN	NOMBRE	Pi (mm)	At (Km ²)	Pi*At
1	M243	PUNGALES	543,30	557,85	303079,52
2	M395	CEBADAS	710,60	202,71	144047,06
3	M396	ALAO	892,40	969,99	865617,81
4	M407	LICTO	1781,40	404,11	719873,35
5	M408	GUANO	480,70	239,64	115193,93
6	M029	BAÑOS	1358,50	350,33	475922,80
7	M258	QUEROCHACA (UTA)	598,80	712,30	426524,34
8	M380	HUAMBALO	756,50	178,86	135306,41
9	M378	RÍO VERDE	2834,60	1503,14	4260803,16
10	M008	PUYO	2530,50	2497,97	6321122,97
11	M070	TENA	4191,60	255,53	1071086,92
12	M126	PATATE	626,10	1461,40	914984,96
13	M390	URBINA	971,80	340,65	331045,14
14	M393	SAN JUAN-CHIMBORAZO	742,00	225,48	167305,41
15	M485	AROSEMENA TOLA	404,30	1089,87	440635,16
				10989,83	16692548,93
				Pm (mm)	1518,91

TEMPERATURA

La temperatura en Baños de Tungurahua, se la determino usando la fórmula matemática:

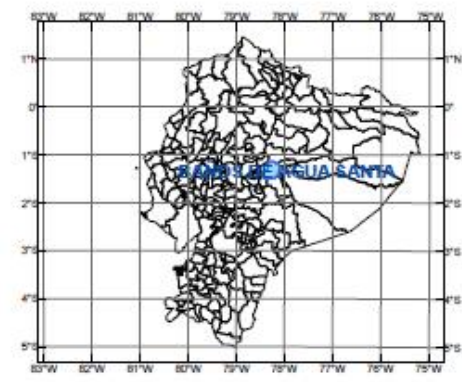
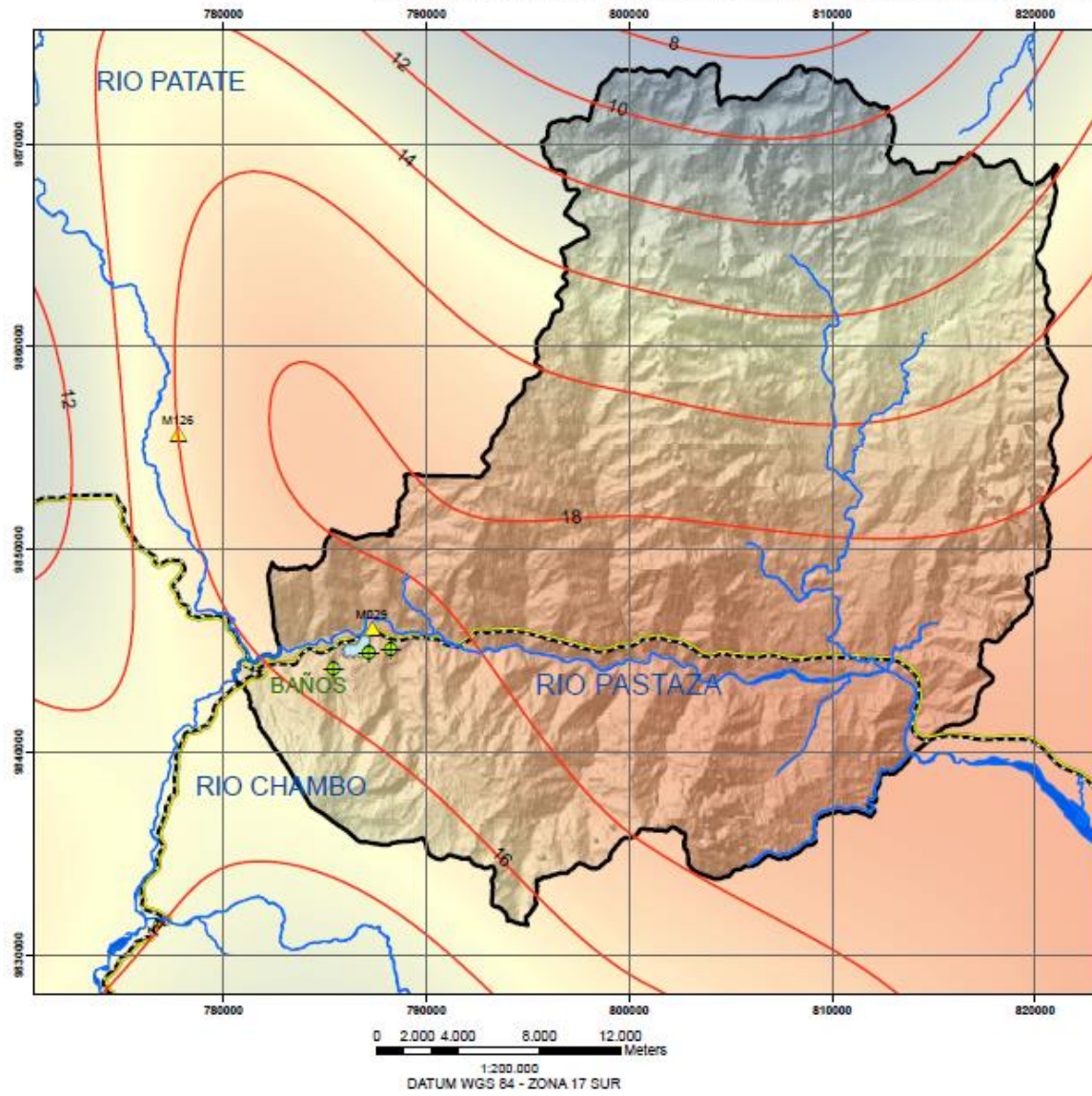
$$T = 28.6 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0.0055 * \text{Altitud}$$

Esta relación corresponde a un gradiente térmico similar a un descenso de la temperatura media de 0.55°C por cada 100 m de incremento de la altitud.

Así se estableció que hacia el norte de Baños con dirección a la provincia de Cotopaxi predomina temperaturas inferiores a los 14°C , mientras que en las zonas aledañas a la desembocadura del río Pastaza prevalece temperatura mayores a 15°C y que tienden a elevarse hacia el sector de Puyo en el oriente ecuatoriano.

A continuación se presenta el mapa de isotermas de Baños de Agua Santa y la tabla de las series de temperatura media mensual, agrupados en base a la relación temperatura y altitud.

Mapa 11. MAPA DE ISOTERMAS DE BAÑOS DE AGUA SANTA



SIMBOLOGIA

-  Punto de Agua Termales
-  Estaciones INAMHI
-  RIOS_DOBLES
-  Via_Principal
-  ISOTERMAS
-  CANTON BAÑOS

Valores Isotermicos



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGIA	TEMA: MAPA DE ISOTERMAS
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION: INAMHI
FECHA: ENERO 2014	

Tabla N. 5 Series de temperatura media mensual de Baños de Agua Santa

LATITUD	LONGITUD	ESTACION	NOMBRE	COTA	ENE (°C)	FEB (°C)	MAR (°C)	ABR (°C)	MAY (°C)	JUN (°C)	JUL (°C)	AGO (°C)	SEP (°C)	OCT (°C)	NOV (°C)	DIC (°C)	Tm (°C)
9850654	764470	M028	AMBATO	2680	13,8	13,7	13,8	13,8	13,5	12,6	12	12,3	12,9	13,6	14	13,9	13,3
9846052	787319	M029	BAÑOS	1840	17,6	17,7	17,8	17,8	17,5	16,7	16,1	16,4	17	17,8	18,2	17,9	17,4
9833985	826438	M063	PASTAZA	1040	20,3	20,4	20,4	20,5	20,3	19,6	19,3	19,8	20,3	20,6	20,8	20,6	20,2
9887217	772355	M127	PILLARO	2805	13,6	13,4	13,5	13,5	13,2	12,4	11,8	12,1	12,7	13,4	13,9	13,8	13,1
9885422	787511	M219	PISAYAMBO	3580	7,5	7,5	7,7	7,9	7,5	6,6	5,8	5,9	6,5	7,5	7,9	7,7	7,2
9835044	834213	M008	PUYO	960	21	21	21,1	21,1	21	20,4	20	20,5	20,9	21,4	21,5	21,2	20,9
9890380	854218	M070	TENA	665	23,8	23,7	23,7	23,6	23,7	23,2	23	23,3	23,7	24	23,9	23,9	23,6
9855639	777764	M126	PATATE	2220	16,4	16,3	16,3	16,4	16	15,4	15	15,2	15,7	16,4	16,8	16,6	16
9848746	766455	M258	QUEROCHACA (UTA)	2865	13,2	13,1	13,1	13,1	12,8	11,9	11,2	11,2	12	13,1	13,6	13,4	12,6
9817470	761462	M057	RIOBAMBA - AEROPUERTO	2780	14,1	13,9	13,9	13,9	13,7	12,9	12,4	12,7	13	13,9	14	14,2	13,6
9814705	761347	M094	RIOBAMBA - INERHI	2720	14,1	14,1	14,1	14,2	13,9	13,2	12,6	12,9	13,5	14,2	14,5	14,4	13,8
9816542	769810	M095	QUIMIAG	2720	13,9	13,6	13,6	13,4	13,5	12,9	11,9	12,3	12,9	13,7	13,8	13,8	13,3
9819313	765175	M096	SAN GERARDO	2695	14,8	14,7	14,6	14,7	14,7	14,1	13,7	14	14,1	14,6	14,8	14,7	14,5
9826668	780028	M097	BAYUSHIG	2770	12,8	12,6	12,8	12,7	12,7	12,3	11,8	12,1	12,3	12,7	13	13,1	12,6
9809636	760215	M133	GUASLAN	2670	14,5	14,4	14,3	14,5	14,3	13,7	12,7	13,3	13,8	14,4	14,6	14,6	14,1
9786136	754001	M134	GUAMOTE	3000	13,2	13,3	13,3	13,4	13,3	13,1	13	13	13,1	13,1	13,5	13,7	13,3
9817378	761400	MA10	RIOBAMBA - ESPOCH	2740	14,1	13,7	13,7	13,6	13,4	12,7	12,2	12,5	13,3	13,9	14	14,1	13,4
9887374	767962	M004	RUMIPAMBA - SALCEDO	2628	14,6	14,4	14,5	14,3	14,1	13,5	12,7	12,9	13,6	14,4	14,8	14,7	14
9850266	765394	M128	PEDRO F. CEVALLOS	2890	13,1	12,9	13	13	12,8	12	11	11,3	12	12,9	13,5	13,6	12,6
9757202	746727	M135	PACHAMAMA - TIXAN	3600	7,9	7,7	7,8	8	8,1	7,9	7,7	7,8	8	7,9	7,8	7,9	7,9

BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico de la estación Baños ubicada dentro de cuenca del río Pastaza, se desprende que en los meses de mayo-agosto existe exceso de agua, tiempo en el cual los acuíferos se recargan, fundamentalmente de la vertiente oriental del nevado Tungurahua; mientras que en los meses de enero a marzo y de octubre a diciembre existe un marcado déficit.

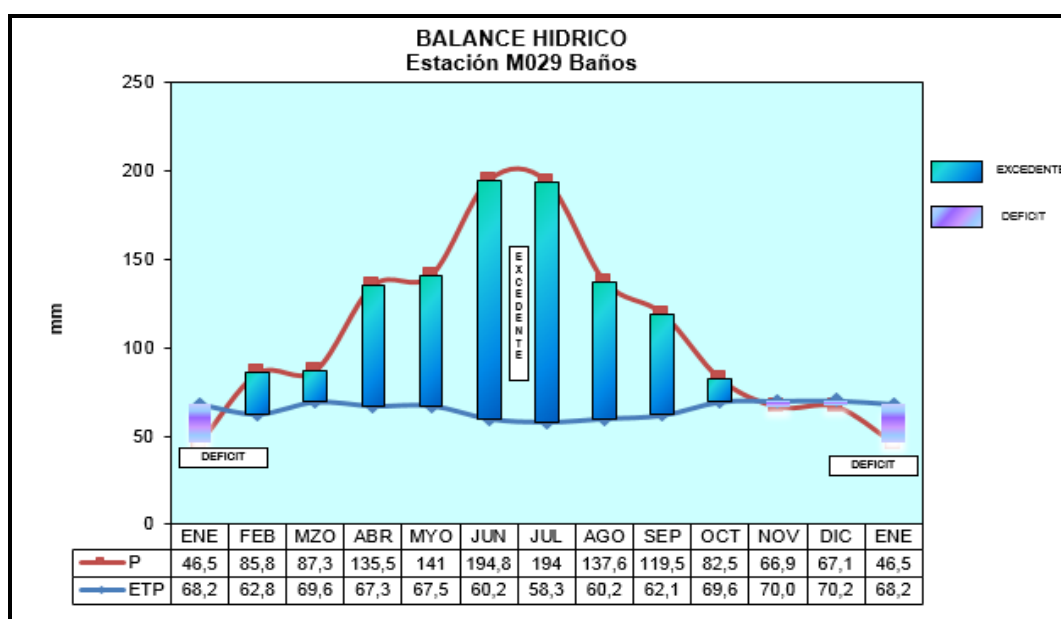
Tabla N. 6 Balance hídrico de la estación Baños

PARAMETROS	ENE	FEB	MZO	ABR	MYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	Total
TEMPERATURA	17,6	17,7	17,8	17,8	17,5	16,7	16,1	16,4	17	17,8	18,2	17,9	17,6	17,38
ETP corr.	68,2	62,8	69,6	67,3	67,5	60,2	58,3	60,2	62,1	69,6	70,0	70,2	68,2	785,8
PRECIPITACION	46,5	85,8	87,3	135,5	141	194,8	194	137,6	119,5	82,5	66,9	67,1	46,5	1358,5
ETR	46,5	62,8	69,6	67,3	67,5	60,2	58,3	60,2	62,1	69,6	70,0	70,2	46,5	764,1
Déficit	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,7	21,7
Reserva	0,0	23,0	40,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,9	93,8	0,0	954,5
Excedentes	0,0	0,0	0,0	9,0	73,5	134,6	135,7	77,4	57,4	12,9	0,0	0,0	0,0	500,6

Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Este excedente es el parámetro que representa la suma del escurrimiento superficial y la infiltración a capas del subsuelo, dando valores superiores a cero, y que corresponden a que existe infiltración en la zona de Baños de Agua Santa.

Figura 14. Balance hídrico de la estación Baños



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

En dónde: P: Precipitación

ETP: Evapotranspiración Real mensual

2.4.4.5 CLIMATOLOGÍA DE BAÑOS DE CUENCA

PRECIPITACIÓN

El rango de precipitaciones en la cuenca de Cuenca presenta variaciones especiales bastante considerables y para los distintos años dentro de un lugar determinado. Por cantidad y distribución de las lluvias se puede diferenciar en la cuenca las siguientes áreas.

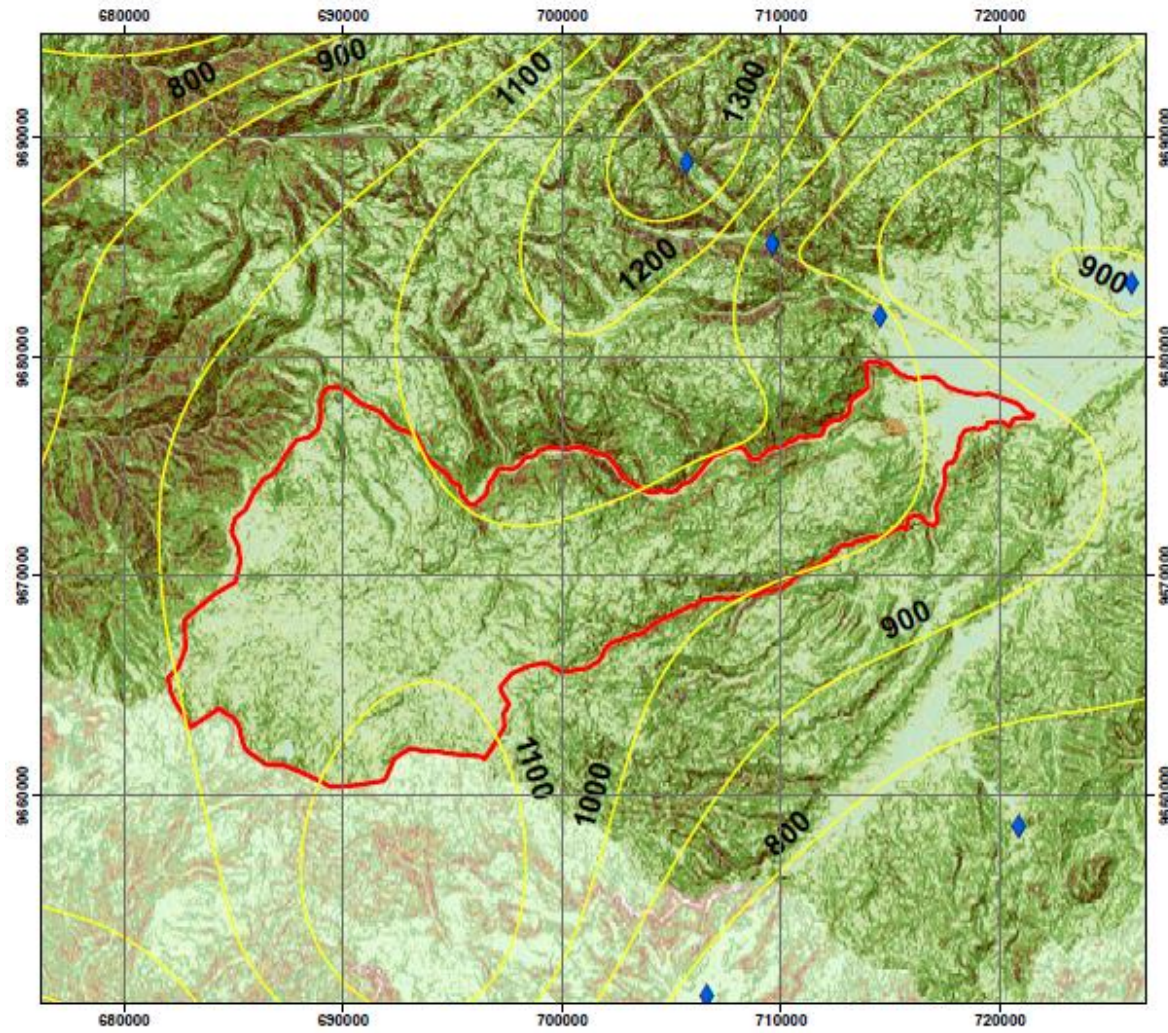
La parte alta del Cajas tiene una distribución regular de la precipitación durante el año (El Labrado: precipitación anual promedio de 1.257 mm, Piscícola: precipitación anual promedio de 1.308 mm). En esta zona no se han puesto en evidencia los períodos secos, lo que se puede explicar por la presencia de lluvias orográficas en todo el año, por la ubicación alta (PROMAS; 1.998).

En el centro de la zona de estudio la cantidad de precipitación presenta dos máximos durante el año, de septiembre hasta noviembre y de febrero hasta junio, sin que se pueda decir que el clima es muy húmedo (Cuenca: precipitación anual promedio de 847 mm, Gualaceo: precipitación anual promedio de 731 mm). Cuenca es un ejemplo típico del régimen de lluvias en la Sierra, presenta, en efecto, dos máximos de precipitación (abril 128 mm y octubre 104 mm) y también dos mínimos, (agosto 24 mm, enero 65 mm).

En la zona correspondiente a las subcuencas del río Yanuncay y Tarqui, hasta la altura de Cuenca, las precipitaciones son de orden de 1.100 mm/año y tiene lluvias tanto del régimen oriental como del occidental; de ahí que la distribución de precipitaciones durante el año sea relativamente uniforme. La precipitación media en el sector es de 996,55 mm.

Para fines del estudio a continuación se presentan los mapas de isoyetas y de Thiessen, al igual que las tablas de precipitaciones medias anuales.

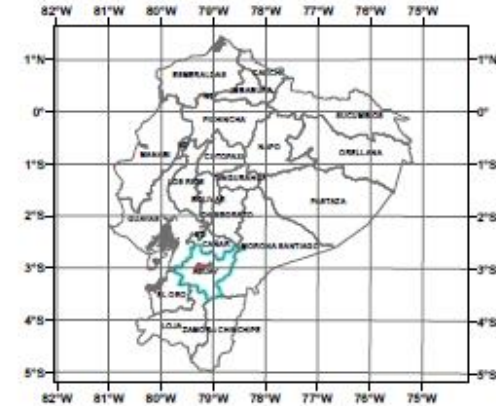
Mapa 12. Mapa de isoyetas de Baños de Cuenca



ESCALA 1:200.000

0 5.000 10.000 20.000 Metros

DATUM WGS84 - ZONA 17S



SIMBOLOGÍA

- ◆ Estaciones pluviométricas
- Isoyetas
- ▭ Límite de Baños
- ▲ Vertiente termal

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA DE ISOYETAS DE BAÑOS DE CUENCA
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION: INAMHI
FECHA: ENERO 2014	

Tabla N.7 Series de precipitación media mensual de Baños de Cuenca.

Latitud	Longitud	ESTACION	NOMBRE	COTA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL (mm)
9637914	687530	M032	SANTA ISABEL INAMHI	1580	69.0	74.5	95.7	80.0	41.1	14.2	7.0	7.3	14.5	16.0	18.5	46.6	485.0
9699101	763258	M045	PALMAS-AZUAY	2440	58.2	82.4	103.4	151.4	150.0	186.8	185.2	129.5	99.4	82.2	80.6	74.4	1383.9
9700211	734193	M137	BIBLIÁN	2628	67.2	93.8	108.7	116.9	72.7	51.4	48.2	35.5	42.2	80.5	100.3	82.8	900.7
9690000	748694	M138	PAUTE	2206	50.9	69.0	93.1	86.7	57.6	54.9	45.9	36.5	41.4	69.1	74.7	69.6	750.0
9679419	746707	M139	GUALACEO	2230	59.4	78.4	95.6	95.2	57.9	45.3	36.8	27.1	34.9	79.7	90.3	73.4	774.6
9698191	714223	M141	EL LABRADO	3433	96.4	115.7	134.1	150.1	116.3	102.1	95.4	73.9	83.0	100.0	103.0	99.3	1269.9
9714828	770398	M217	PENNAS COLORADAS	2294	141.7	177.7	183.8	268.4	366.3	440.9	469.0	289.7	234.0	161.3	147.8	165.1	3046.4
9719150	736314	M411	INGAPIRCA	3100	40.9	63.7	74.9	80.0	49.5	48.8	46.0	38.2	36.3	49.1	53.1	44.8	625.8
9688892	705694	M417	PISCICOLA CHIRIMICHAY	3270	95.2	126.8	131.0	151.8	119.4	100.7	100.7	74.1	89.4	114.1	110.5	106.4	1320.7
9658601	720849	M418	CUMBE	2720	46.6	67.9	82.8	86.9	63.3	53.4	32.4	28.9	41.3	60.7	64.6	58.6	688.0
9650851	706604	M419	GIRON	2130	108.5	121.7	156.2	119.5	53.6	25.4	9.9	8.8	22.4	45.1	54.0	80.6	806.2
9630660	714810	M420	NABON INAMHI	2743	72.4	95.5	122.4	103.8	55.9	34.1	21.0	22.4	34.0	64.2	70.6	65.2	762.1
9616080	705015	M421	ONNA	2387	43.8	64.5	74.3	57.9	34.7	26.4	22.4	21.0	29.3	33.4	32.7	43.3	484.3
9636448	691845	M422	HDA.STA.LUCIA-CAMINO RIRCAY	1179	52.1	64.9	85.5	75.5	39.7	13.8	4.6	4.3	12.4	21.6	26.2	35.6	436.8
9662497	745493	M424	SIGSIG INAMHI	2545	43.8	64.6	83.8	86.1	69.3	68.0	72.4	54.3	45.1	56.6	53.3	53.2	751.1
9683381	726009	M426	RICAURTE-CUENCA	2579	66.8	90.4	112.7	125.7	82.1	47.3	29.2	22.9	47.5	101.0	93.2	88.2	907.5
9681848	714514	M427	SAYAUSI(MATADERO DJ.)	2721	74.7	108.3	120.4	150.1	105.6	64.6	45.9	36.5	59.2	100.7	90.5	87.9	1045.1
9685119	709601	M429	SURUCUCHO(LLULLUCHIS)	3010	80.1	116.3	120.5	129.3	100.5	94.1	71.8	55.7	70.0	96.6	87.4	87.8	1110.7
9683381	726009	M431	SEVILLA DE ORO	2579	77.5	105.2	108.3	152.1	144.4	165.3	157.4	117.7	90.9	94.6	85.5	86.3	1385.8
9680538	723975	M067	AEROPUERTO"M. LAMAR"	2530	56.5	85.1	113.8	122.3	84.1	44.1	26.9	21.4	51.5	93.0	85.6	84.8	869.2

Mapa 13. Mapa de Thiessen de Baños de Cuenca

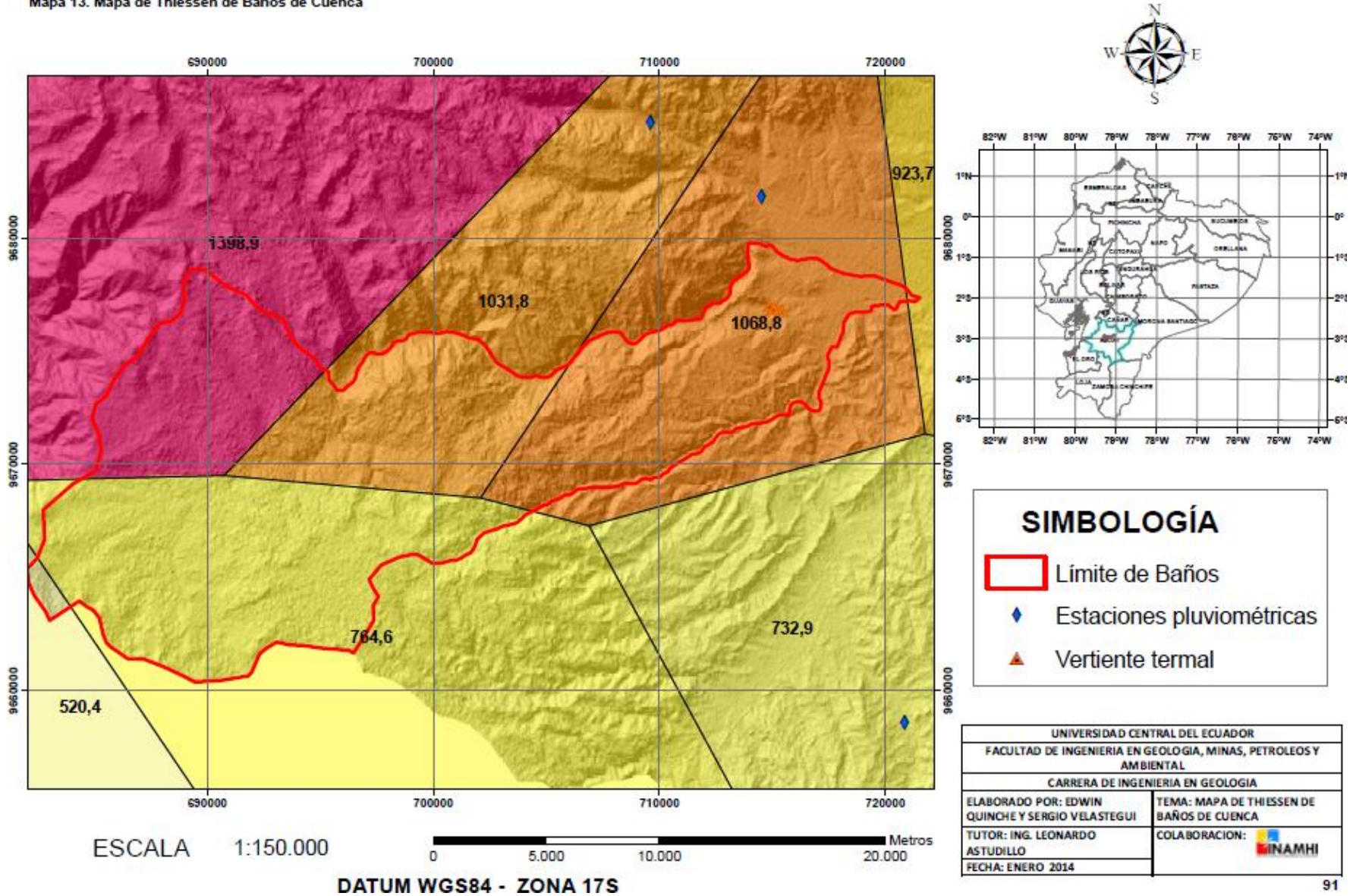


Tabla N.8 Tabla de Estaciones de Baños de Agua Santa por el método de Thiessen

POLÍGONO	ESTACION	NOMBRE	Pi (mm)	At (Km ²)	Pi*At
1	M420	NABON INAMHI	795,7	1458,00925	1160137,96
2	M431	SEVILLA DE ORO	1378,2	550,384974	758540,571
3	M429	SURUCUCHO(LLULLUCHIS)	1031,8	193,82655	199990,234
4	M217	PENNAS COLORADAS	3036,8	551,481081	1674737,75
5	M422	HDA.STA.LUCIA-CAMINO RIRCAY	430,3	319,51995	137489,434
6	M421	ONNA	479,4	741,331871	355394,499
7	M419	GIRON	764,6	650,25659	497186,189
8	M418	CUMBE	732,9	568,184882	416422,7
9	M032	SANTA ISABEL INAMHI	520,4	455,118351	236843,59
10	M424	SIGSIG INAMHI	707,6	2123,13278	1502328,75
11	M139	GUALACEO	784,1	334,058896	261935,58
12	M138	PAUTE	755,3	241,269508	182230,859
13	M137	BIBLIÁN	949	382,437484	362933,172
14	M045	PALMAS-AZUAY	1371,8	382,943794	525322,297
15	M427	SAYAUSI(MATADERO DJ.)	1068,8	237,159199	253475,752
16	M426	RICAURTE-CUENCA	923,7	333,510712	308063,845
17	M417	PISCICOLA CHIRIMICHAY	1398,9	985,678451	1378865,59
18	M141	EL LABRADO	1286,6	1024,59021	1318237,77
19	M411	INGAPIRCA	594,1	766,440323	455342,196
				12299,3349	11985478,7
				Pm (mm)	974,481862

TEMPERATURA

La ciudad de Cuenca al estar situada en la parte meridional de la Cordillera andina ecuatoriana ha generado una variedad de climas alrededor de todas sus parroquias, haciendo que cada una sea productiva y única en la agricultura, suelo, fauna, vegetación, etc. Dentro de ellas está la parroquia Baños que se ha caracterizado por poseer un clima uniforme.

Baños y en general la cuenca de Cuenca al estar constituida por paisajes montañosos y varias depresiones, con variaciones de altitud entre los 2.000 m.s.n.m. y los 4.000 m.s.n.m, lo que hace que se presenten una gran variedad de temperaturas. El descenso normal de las temperaturas varía de manera inversamente proporcional con respecto al aumento altitudinal, a razón de aproximadamente 0,55 °C por cada 100 m. Este descenso de calor es menor a medida que se incrementa la altura de la superficie terrestre, por cuanto la absorción y la irradiación del calor solar por el suelo causan una temperatura más alta que en la misma altitud al aire libre.

El área de estudio posee un clima templado, en varios sitios de la parroquia al ubicarse en zonas elevadas son muy fríos; por ejemplo Bermejós, Nero, la comuna de Zhiñán, Barabón, entre otros; además de contar con paisajes hermosos, fauna silvestre única y un ambiente sano. En cambio en los sectores bajos de la parroquia como La Unión, Las Peñas, Huishil, etc., el clima es agradable especialmente en verano.

Es preciso señalar que los cambios de temperaturas medias tanto mensuales como anuales, no son significativas para cada estación, y las variaciones entre ellas están relacionadas con la altitud a la que se encuentran.

Se presenta a continuación el mapa de isotermas y la tabla de registros mensuales de temperatura para Baños de Cuenca.

Mapa 14. Mapa de isotermas de Baños de Cuenca

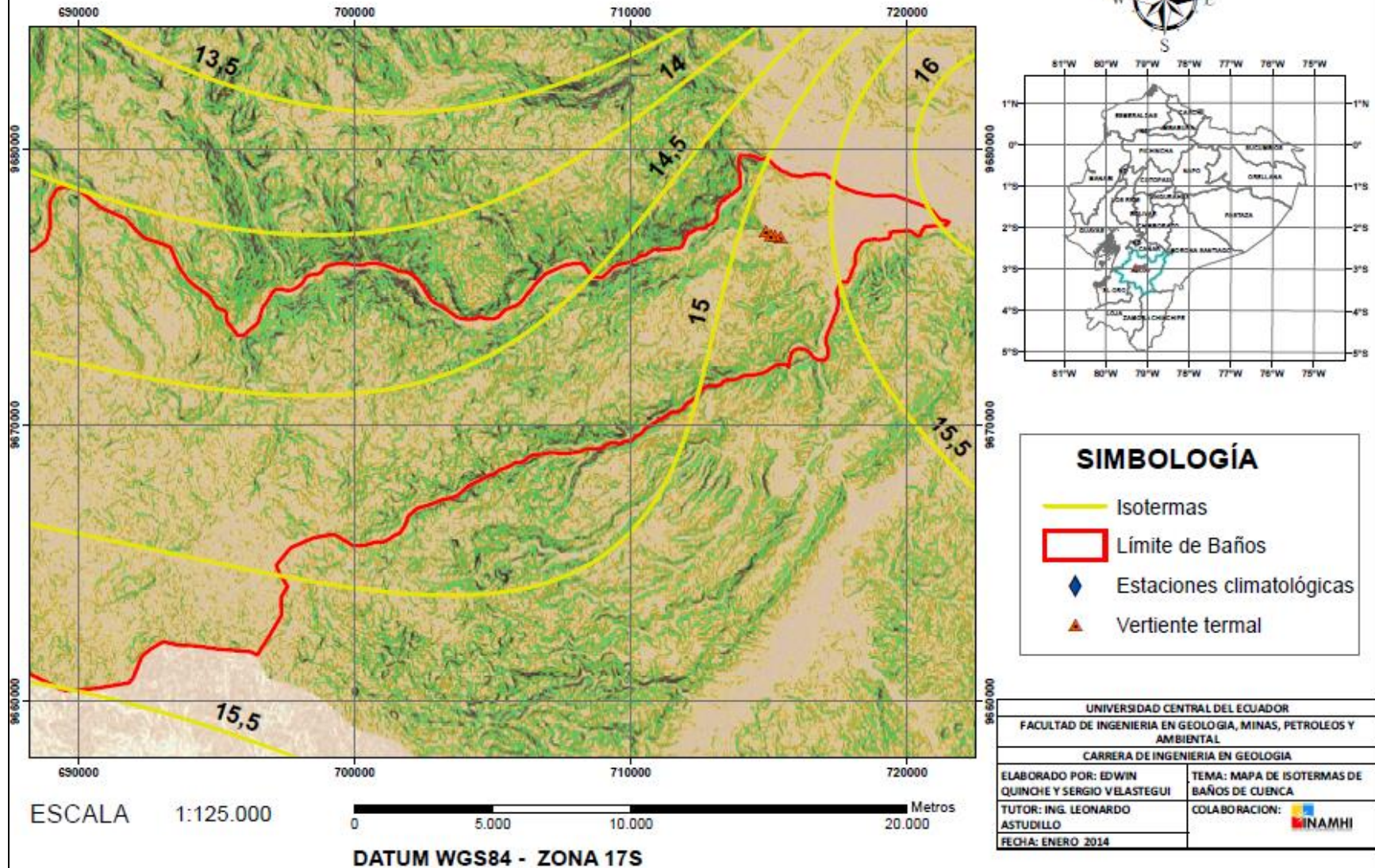


Tabla N. 9 Series de temperatura media mensual de Baños de Cuenca

LATITUD	LONGITUD	ESTACION	NOMBRE	COTA	ENE (°C)	FEB (°C)	MAR (°C)	ABR (°C)	MAY (°C)	JUN (°C)	JUL (°C)	AGO (°C)	SEP (°C)	OCT (°C)	NOV (°C)	DIC (°C)	Tm (°C)
9637914	687530	M032	SANTA ISABEL INAMHI	1580	17.0	17.4	17.9	18.2	18.4	18.4	19.2	18.9	18.7	17.5	18.5	18.0	17.0
9699101	763258	M045	PALMAS-AZUAY	2440	14.5	14.6	14.9	14.6	14.2	13.2	12.4	12.5	13.3	14.5	14.9	15.1	12.4
9700211	734193	M137	BIBLIÁN	2628	15.0	14.9	14.9	15.0	14.6	13.8	12.8	13.2	13.9	14.6	15.0	15.3	14.4
9690000	748694	M138	PAUTE	2206	18.0	17.7	17.8	17.7	17.4	16.7	16.0	16.1	16.7	17.7	18.0	18.1	17.3
9679419	746707	M139	GUALACEO	2230	17.9	17.7	17.6	17.5	17.3	16.6	16.1	16.0	16.7	17.5	17.9	18.1	17.2
9698191	714223	M141	EL LABRADO	3433	9.0	8.9	8.9	8.9	8.7	7.8	7.1	7.3	7.9	8.9	9.3	9.1	8.5
9714828	770398	M217	PEÑAS COLORADAS	2294	14.7	14.8	14.8	14.8	14.6	13.8	13.0	13.5	14.1	14.9	15.4	15.0	14.4
9680538	723975	M067	AEROPUERTO "M. LAMAR"	2530	17.0	16.7	16.6	16.4	16.3	15.6	15.0	15.3	15.9	16.6	16.8	17.0	16.3

EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración potencial media del área es de 630mm, registrando el mayor valor en la estación de Gualaceo con 1.128mm. En tanto que el mínimo es de aproximadamente 263mm anuales, registrado en la estación meteorológica de Penas Coloradas, junto a la presa Daniel Palacios.

BALANCE HÍDRICO

El balance hidrológico o hídrico se basa en establecer una igualdad entre los ingresos y salidas de agua en un acuífero, razón por la que se convierte o brinda información indispensable para la evaluación de reservas acuíferas.

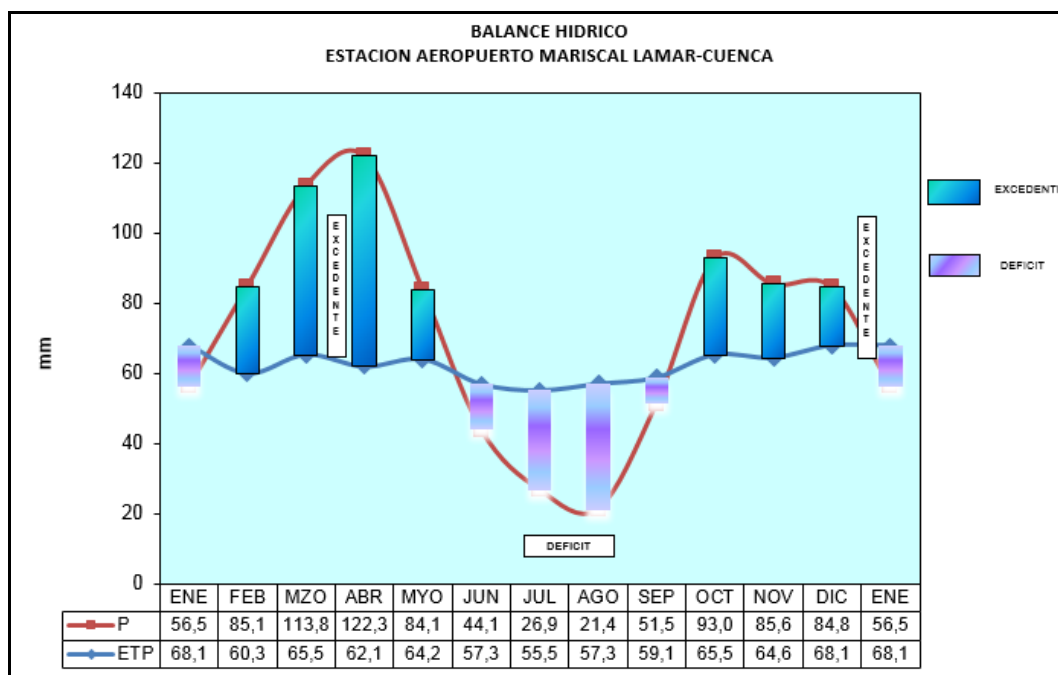
Como se puede apreciar en el balance hídrico realizado para la estación meteorológica Aeropuerto Mariscal Lamar, se aprecia que en los meses de enero a mayo existe exceso de agua, lo que indica que en este periodo existe una recarga de los acuíferos, esencialmente de la vertiente oriental de la cordillera Occidental; mientras que en los meses de mayo a octubre existe un pequeño déficit; y de octubre a diciembre se nota nuevamente un ascenso en el exceso de agua.

Tabla N.10 Balance Hídrico de la Estación Aeropuerto Mariscal Lamar

	ENE	FEB	MZO	ABR	MYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	Total
TEMPERATURA	17,0	16,7	16,6	16,4	16,4	15,6	15,0	15,3	15,9	16,6	16,8	17,0	17	16,28
ETP corr.	68,1	60,3	65,5	62,1	64,2	57,3	55,5	57,3	59,1	65,5	64,6	68,1	68,1	747,6
PRECIPITACION	56,5	85,1	113,8	122,3	84,1	44,1	26,9	21,4	51,5	93,0	85,6	84,8	56,5	869,1
ETR	56,5	60,3	65,5	62,1	64,2	57,3	55,5	57,3	59,1	65,5	64,6	68,1	56,5	736,0
Déficit	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	11,6
Reserva	0,0	24,8	73,1	100,0	100,0	86,8	58,2	22,3	14,7	42,2	63,2	79,9	0,0	665,2
Excedentes	0,0	0,0	0,0	33,3	19,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,2

Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Figuras 15. Balance Hídrico de la estación Aeropuerto Mariscal Lamar



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

En dónde:

P: Precipitación

ETP: Evapotranspiración Real mensual

2.4.5 HIDROGEOLOGÍA

La Hidrogeología estudia las características de las aguas subterráneas, su ocurrencia está asociada a las formaciones geológicas más o menos permeables conocidas como acuífero, y su movimiento depende de las propiedades físicas de las rocas que lo componen. Este movimiento puede expresarse en términos de retención y rendimiento de agua (Keith Todd, 1970).

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible; a veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías; mientras que en algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales.

Así un manantial comprende un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área pequeña, donde pueden aparecer en tierra firme o ir a dar a cursos de agua, lagunas o lagos. Los manantiales pueden ser permanentes o intermitentes, y tienen varios tipos de origen ya sea por el agua de lluvia que se filtra, tener un origen magmático, o volcánico dando lugar a manantiales de agua caliente, cuando estas fuentes son termales (de agua caliente), se denominan caldas o termas⁵.

La composición de este tipo de agua termomineral varía según la naturaleza del suelo o la roca, asimismo su caudal depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones, mientras que las sales minerales disueltas en estas aguas se le reconocen propiedades medicinales, motivo por el cual se han construido en zonas aledañas a los sitios del proyecto en Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa muchos balnearios.

⁵Fuente: <http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm>

2.4.5.1 PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA

La prospección hidrogeológica comprende:

- Estudios preliminares: Dirigidos fundamental a la localización de acuíferos. Permiten realizar una primera estimación de sus dimensiones, parámetros, zonas de recarga y descarga y de la calidad de sus aguas. Sus resultados se sintetizan en mapas hidrogeológicos.
- Estudios hidrológicos generales: Permiten obtener una cuantificación más aproximada del agua subterránea localizada en los estudios preliminares. En estos mapas se suelen representar las curvas de isopiezas (puntos de igual nivel piezométrico), y con frecuencia datos de transmisibilidad. Habitualmente, estos estudios suelen extenderse a una cuenca hidrográfica de centenares a miles de kilómetros cuadrados.
- En la prospección, es siempre necesario realizar un inventario detallado de pozos y fuentes. También frecuentemente se requiere la realización de prospecciones geofísicas, sondeos mecánicos, ensayos de bombeo y análisis químicos.

2.4.5.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Considerando los manantiales como sistemas que poseen un cierto funcionamiento, regulado por la recarga y las extracciones, se comprende que deben poseer ciertas características fundamentales de las cuales dependen.

Estas características o parámetros permiten definir el funcionamiento de este tipo de agua subterránea frente a determinadas acciones exteriores, y son la porosidad y la permeabilidad.

Porosidad (\emptyset)

Desde el punto de vista cualitativo la porosidad es la propiedad de una roca de tener poros, entendiendo por poro cualquier espacio de una masa rocosa que no esté ocupado por un material sólido. Cuantitativamente, la porosidad se define como el espacio total ocupado por poros en un volumen determinado de roca.

$$\emptyset_m = (V_h / V) 100$$

Donde:

(\emptyset_m): Porosidad total

V_h : Volumen de huecos

V : Volumen total

Se tiene también la porosidad eficaz que se define de la siguiente manera.

$\emptyset_e = \text{Volumen de agua drenada por gravedad} / \text{volumen total}$

La porosidad depende de un gran número de factores entre los que cabe destacar:

- Naturaleza del terreno
- La uniformidad granulométrica de sus componentes
- La disposición y forma de las partículas
- Grado de cementación o compactación
- Efectos de la fisuración, disolución, meteorización, etc.

Se deduce que hay dos tipos de porosidades:

- Porosidad primaria u originaria
- Porosidad adquirida o secundaria, producida por fracturación o por disolución.

Tabla N.11 Porosidad de sedimentos y rocas

SEDIMENTOS Y ROCAS	$\phi_m(\%)$	$\phi_e (\%)$
Arcillas	40 – 60	0 – 5
Limos	35 – 50	3 – 19
Arenas finas	20 – 50	10 – 28
Arena Gruesa	21 – 50	22 – 35
Grava	25 – 40	13 – 26
Calizas, Dolomías	0.1 – 25	0.1 – 5
(Calizas, Dolomías) Kársticas	5 – 50	5 – 40
Ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01 – 1	0.0005
Ígneas y metamórficas fracturadas	1 – 10	0.05 – 0.01

Fuente: Sanders (1998)

Permeabilidad (K)

Comprende la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido, en este caso el agua. En Hidrogeología, la permeabilidad o conductividad hidráulica (K) es un concepto más preciso y consiste en la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico:

$$Caudal\ por\ unidad\ de\ sección = K * gradiente\ hidráulico$$

Sus unidades despejando en la fórmula anterior se comprueba que las unidades de K son de velocidad (Longitud/Tiempo) que en el Sistema Internacional es m/seg, pero en Geotecnia y otras ramas de ingeniería utilizan el cm/s.

Tabla N.12 Clasificación de las rocas según su permeabilidad

	10^2	10	10^{-9}	
	←—————→			
LITOLOGIA	Gravas, Gravillas desprovistas de elementos finos	Arenas puras, Arena y gravas desprovistas de elementos finos	Arenas muy finas, silts y mezclas arenas y arcillas	Arcillas Homogéneas
Permeabilidad (K)	Muy Buena	Buena	Mala	Impermeable
CATEGORIA	Acuífero	Acuicludo	Acuitardo	Acuifuga
Porosidad (Ø)	Alta o moderada	Alta	Alta o moderada	Nula o muy baja

Fuente: Castany, 1997

Según su permeabilidad, podemos distinguir:

- Las rocas muy permeables $k > 10$ cm/s;
- Las rocas permeables $10 > k > 10^{-4}$ cm/s;
- Las rocas poco permeables $10^{-4} > k > 10^{-7}$ cm/s;
- Las rocas impermeables $k > 10^{-7}$ cm/s;

Ciertos autores clasifican las rocas en 4 categorías⁶:

1. **Acuífero** (del latín *fero*, llevar).- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad (arenas, gravas, granito u otra roca compacta con una fracturación importante).
2. **Acuicludo** (del latín *cludo*, encerrar).- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella (limos, arcillas).
3. **Acuitardo** (del latín *tardo*, retardar, impedir).- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad (arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderadas).

⁶ Fuente: RECURSOS HIDROGEOLOGICOS, Juan Gil Montes

4. **Acuífugo** (del latín *fugo*, rechazar, ahuyentar).- Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella (arcillas, granito o esquisto inalterados y no fracturados).

La permeabilidad es el factor más importante de las rocas en relación con la explotación de sus aguas subterráneas. Depende de:

- Tamaño de los huecos interconectados (poros, fracturas, etc.)
- La granulometría de las partículas rocosas
- Naturaleza y rugosidad de la superficie de estas partículas
- La dirección dentro del terreno (anisotropía).

2.4.5.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Las rocas plutónicas duras (granito), que son ricas en cuarzo, son propensas a sufrir fisuración. Mediante meteorización mecánica éstas crean suelos residuales arenosos que son permeables en la superficie; mientras que las rocas pobres en cuarzo están sujetas a la meteorización química, generando así minerales arcillosos, que son menos permeables y a menudo obturan las fisuras de la roca subyacente.

Las rocas volcánicas habitualmente contienen fracturas que se originan a partir del enfriamiento de la lava. Durante el flujo de lava se crean zonas fracturadas permeables que se extienden horizontalmente, tanto en la superficie como en el fondo. Estas se convierten generalmente en acuíferos importantes y se localizan en los extensos sistemas de flujo de lava de las mesetas basálticas.

Las rocas metamórficas son normalmente permeables en la zona donde las fisuras están abiertas. Los gneis ácidos que contienen cuarzo o los granitos están sujetos a meteorización, dando lugar a suelos residuales arenosos. Las calizas (carbonatos), son propensas a sufrir karstificación, Así estas rocas carbonatadas (calizas y dolomías), que

generalmente están karstificadas, forman excelentes acuíferos. El dióxido de carbono del agua disuelve la roca, amplía las fisuras y crea cavidades kársticas con secciones generalmente grandes. Como la capacidad de filtrar la recarga es baja, el agua subterránea a menudo está contaminada y fluye muy rápidamente.

Los sedimentos no consolidados están formados por varios tipos de grava, arena y arcilla; algunas veces están constituidos por una mezcla de materiales orgánicos. Estos sedimentos se presentan como aluviones en los valles fluviales, sedimentos lacustres en las cuencas lacustres, o sedimentos de plataforma a lo largo de la costa. También se encuentran en forma de sedimentos deltaicos, sedimentos de los abanicos aluviales de las depresiones intramontanas, y sedimentos glaciofluviales arrastrados de las morrenas. Normalmente los sedimentos no consolidados forman excelentes y muy eficientes acuíferos. Su porosidad y su permeabilidad son generalmente elevadas, a menos que se mezcle con material arcilloso, y depende de la distribución del tamaño de grano en lugar del tamaño absoluto de los granos. Al aumentar la porosidad efectiva, aumenta la permeabilidad.

2.4.6 HIDROGEOQUÍMICA

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

La determinación de las propiedades químico-físicas de un agua natural o mineral, constituye una herramienta imprescindible para los hidrólogos, hidrogeólogos y otros especialistas relacionados con el agua. La primera fase de todo trabajo hidrogeoquímico, comprende el estudio bibliográfico y visitas de reconocimiento en el área objeto de estudio. En esta etapa también se toman muestras, las cuales se analizan con fines de clasificación. Para la aplicación de los métodos hidrogeoquímicos en el estudio de las aguas, es necesario tomar en cuenta el balance hídrico y parámetros geoquímicos y físicos que caractericen a cada sistema, relacionando el volumen de infiltración, interacción y circulación del agua con la composición química de la misma en el área de descarga del acuífero. Con ese

objetivo, en una segunda fase del trabajo se seleccionan los puntos o estaciones de observación sistemática y se toman los registros o mediciones necesarios para el control del quimismo de las aguas (Fagundo, 1990). Para realizar una caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de las zonas de estudio se toman en cuenta los siguientes aspectos.

2.4.6.1 CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las sustancias disueltas en las aguas de tipo subterráneo se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) Constituyentes principales con concentraciones comprendidas entre 1 y 1000 ppm y son:
 - Grupo de cationes: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
 - Grupo de los aniones: Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HCO}_3)^-$, pero también se puede incluir en este grupo al sílice.
- b) Constituyentes secundarios con concentraciones entre 0.01 y 10 ppm; y son:
 - Grupo de los cationes: Fe^{2+} , $^{3+}$, Sr^{2+} y k^+ ,
 - Grupo de los aniones: $(\text{CO}_3)^{2-}$, $(\text{NO}_3)^-$ y F^- .
- c) Constituyentes menores con concentraciones entre 0.0001 y 0.1 ppm:
 - Sb, Al, As, Ba, Br, Cd, Cr, Co, Cu, Ge, I, Pb, Li, Mn, Mo, Ni, P, Rb, Se, Ti, U, V, Zn (estos elementos se presentan ocasionalmente)
- d) Constituyentes traza con concentraciones $<0.001\text{ppm}$. Entre estos están:
 - Be, Bi, Ce, Cs, Sn, Ga, Au, In, La, Nb (raramente se presentan).

2.4.6.2 COMPORTAMIENTO DE LOS IONES PRINCIPALES

- I. Los iones HCO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} están asociados a los procesos de disolución de las rocas carbonatadas y se rigen por el sistema de equilibrios químicos de los carbonatos (Garrels y Christ, 1965).
- II. El ion Cl^- está asociado, fundamentalmente a las precipitaciones y su contenido depende de la altura y la distancia del punto muestreado al mar; así como del tipo de evento lluvioso. En los pozos ubicados en las llanuras litorales, un alto contenido de Cl^- puede estar asociados a la intrusión salina o a los aportes de fuentes contaminantes (Bakalowicz, 1979).
- III. Debido a que el ion Cl^- y los iones asociados al ciclo del nitrógeno son aportados desde el exterior del sistema, su evolución temporal en las surgencias permite obtener información sobre las modalidades de infiltración del agua en el mismo y la existencia o no de elementos que favorezcan la homogeneización del quimismo del agua que entra al sistema. Además su correlación con otros elementos puede ofrecer información sobre el origen del mismo, así como establecer o delimitar zonas de alimentación del sistema (Morales, 1991).
- IV. El contenido del ion SO_4^{2-} en las aguas también pudiera ser aportado por la actividad agrícola, y en ocasiones por la propia industria. En la zona del suelo, las aguas pueden adquirir considerables contenidos de este ion por disolución de sales solubles como yeso o anhidrita. La oxidación de las piritas, comúnmente asociadas a los carbonatos, también puede enriquecer el contenido de SO_4^{2-} en el agua.
- V. El contenido de NO_3^- en las aguas depende, fundamentalmente de la actividad antrópica. El SiO_2 , por su parte está asociado a la presencia de silicio, más abundante en las regiones no carbonatadas.

- VI. El ion Na^+ puede tener un mismo origen que el Cl^- , aunque debido a la capacidad de intercambio iónico de las arcillas, estas pueden provocar diferencias significativas en las aguas respecto a su contenido.

- VII. El ion K^+ puede sufrir grandes variaciones como resultado de las labores agrícolas a partir de los fertilizantes y de la capacidad de las raíces de las plantas de absorber este ion.

En la siguiente tabla se muestra los rasgos más relevantes de algunos cationes y aniones ⁷.

Tabla N.13 Rango de concentraciones normales en aguas subterráneas y origen principal de algunos cationes y aniones.

Elemento	Concent. (mmol/L)	Origen	Características	Observaciones
Na ⁺	0.1 – 2	Feldespatos, sal gema, zeolita, polvo atmosférico, agua del mar y aerosol marino	Es el más extendido y rara vez está ausente, pero su contenido es variable. Está combinado formando cloruros, bicarbonatos y sulfuros	Las aguas con exceso de Na ⁺ , no son aconsejables para el riego ni bebida
K ⁺	0.01 – 0.2	Feldespatos, mica y agua del mar	Es también frecuente formando sulfatos, carbonatos o cloruros. Está subordinado al sodio, pero se halla en menor cantidad.	Se puede absorber de forma irreversible en arcillas de neoformación
Mg ²⁺	0.05 – 0.2	Dolomita, serpentina, piroxeno, anfíbol, olivino, mica y agua del mar	El magnesio acompaña a menudo al calcio formando carbonatos y cloruros	A mayor concentración mayor dureza, produce incrustabilidad a valores de pH alcalinos
Ca ²⁺	0.05 – 5	Carbonatos, yeso, feldespatos, piroxeno, anfíbol	Es el catión más frecuente por ser muy abundante en las rocas sedimentarias	A igual que el Mg ²⁺ produce incrustabilidad
Cl ⁻	0.05 – 2	Sal gema, polvo atmosférico, agua de mar y aerosol marino	Es el elemento más frecuente y procede de la disociación de los cloruros NaCl y KCl.	Normalmente asociado al Na ⁺
(HCO ₃) ⁻	0 – 5	Carbonatos, materia orgánica, CO ₂ suelos	Es el anión más extendido en las aguas subterráneas, en las que raramente falta. Su exceso de origen, a menudo a fuentes intruyentes.	Precipita en forma de CaCO ₃ y CaMgCO ₃
(SO ₄) ²⁻	0.01 – 5	Atmósfera, yeso, sulfuros, fertilizantes	Es frecuente en numerosas aguas termominerales.	Se reduce a H ₂ S en presencia de actividad bacteriana y materia orgánica
(NO ₃) ⁻	0.001 – 0.2	Atmósfera, materia orgánica, fertilizantes	Su presencia es bastante rara.	
SiO ₂	0.02 – 1	Silicatos	Se encuentra con mucha frecuencia en las fuentes termales calientes carbonatadas.	

⁷Fuente: Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez, X., & Vázquez, E. (2009). *Comisión Docente, Curso Internacional de Hidrología Subterránea, Capítulo VII, pág. 451.*

2.4.6.3 RELACIONES IÓNICAS

Las relaciones iónicas en muchos casos permiten comprender las reacciones físico-químicas que afectan a las aguas subterráneas en su camino desde la fuente termal hacia los puntos de descarga (vertientes), y tienen directa relación con los materiales a través de los cuales circula el agua y/o fenómenos modificadores que cambian su composición. Es importante destacar que pequeños errores analíticos pueden hacer variar de modo significativo el valor de las relaciones iónicas, especialmente en muestras que presentan una baja mineralización⁸.

Estas relaciones se expresan en miliequivalente por litro (meq/L) y van precedidas de la letra r, que significa relación, estas ayudan a identificar los procesos que ha sufrido el agua subterránea en su camino.

Entre las principales relaciones empleadas se destacan las siguientes:

Tabla N.14 Relaciones iónicas habituales y su interpretación

Relación	Agua continental	Agua marina	Información que aporta
rMg/rCa	0,3 – 1,5	≅ 5	≅ 1 : terrenos dolomíticos >1:silicatos magnésicos (basaltos, garbos) >1 y ↑ → intrusión marina si ↑ + ↑Cl → intrusión marina ↑ al precipitar CaCO ₃ ↓ al disolver CaCO ₃ si ↑ + ↓ SO ₄ → reducción sulfatos ↓ al disolver CaCO ₃
rCl/rHCO ₃	0,1 – 5	20 – 50	↓ al disolver CaCO ₃ (aportes de sales) ↑ al precipitar CaCO ₃ ↑ → mineralización ↑ → intrusión marina ↑ → mayor dureza
rSO ₄ /rCl	0,2 – 0,4	0,11	Similar al anterior en aguas algo salinas; ↓ → reducción de sulfatos ↑ → contaminación agrícola/industrial ↑ → intrusión marina
rK/rNa	0,001 – 1	0,02 – 0,025	Origen continental o marino del K. Limitada si existe adsorción de Na o K.
rNa/rCa rNa/rCa+Mg rNa/rMg	Variable	Variable	Deducir procesos de intercambio iónico. Método: comparar con el valor de cada relación en el terreno, ver evolución espacial y temporal.

⁸Fuente: Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez, X., & Vázquez, E. (2009).

2.4.6.4 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Los criterios químico-físicos de la clasificación de las aguas naturales en general, se basan en el contenido de los iones más abundantes. En la literatura aparecen numerosas clasificaciones que responden a diferentes objetivos (García, 1988; Catalán, 1988; Fagundo, 1996). Para la clasificación de las aguas minerales el método de clasificación más utilizado es el de Kurlov, el cual toma en consideración los aniones y cationes que exceden el 20 % meq/l.

1. Con relación con los aniones: a) bicarbonatadas, b) sulfatadas, c) cloruradas, d) bicarbonatadas sulfatadas, e) bicarbonatadas cloruradas, f) sulfatadas cloruradas y g) sulfatadas cloruradas bicarbonatadas.
2. Con relación con los cationes: a) cálcicas, b) magnésicas, c) sódicas, d) cálcicas magnésicas, e) cálcicas sódicas, f) magnésicas sódicas y g) cálcicas magnésicas sódicas⁹.

⁹Fuente: Escuder, R., Fraile, J. & Vázquez, E. (2009). *HIDROGEOLOGÍA, CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA*.

2.4.6.5 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS TERMOMINERALES

Según su origen geológico

- a) *Magmáticas*: Son aguas primitivas. Surgen de una directa relación con filones metálicos o eruptivos. Sus temperaturas son elevadas, siempre superiores a 50° C. Tienen un caudal periódico, rítmico y constante, siendo asimismo constantes, su temperatura y su composición. Caracterizan estas aguas elementos de emanaciones metálicas, como boro, fósforo, arsénico, bromo, cobre, nitrógeno.
- b) *Telúricas*: también son llamadas aguas de “infiltración”, dado que pueden surgir de cualquier terreno. Son acuíferos subterráneos que se enriquecen con las lluvias o precipitaciones. Su caudal es variable, según los regímenes de lluvia y estaciones del año.

Las temperaturas rara vez llegan a los 50° C. El grado de mineralización es de mediano a bajo y la concentración de minerales está en inversa proporción con su caudal. En esta agua existen sales de cal y de magnesio, cloruros, bicarbonatos.

Según su composición química

Si bien las aguas minero-medicinales casi nunca se presentan en estado puro, sino que se encuentran mezcladas en distinta proporción, los siguientes son los principales grupos de aguas en función de sus minerales constituyentes:

- I. **Aguas sulfatadas**: se caracterizan por un elevado contenido de iones sulfatos (SO_4), pero también ricas, generalmente en cationes Na y K. Se dividen en:
- Aguas sulfatadas sódicas: tienen un elevado contenido en Na + K, a menudo son termales y su contenido en sílice es relativamente alto.
 - Aguas sulfatadas cálcicas: tiene un contenido en Ca + Mg superior al Na + K, por lo general muy ricas en SO_4 .

II. **Aguas Cloruradas:** son las aguas comúnmente llamadas saladas, dichas sales principales son cloruros (Cl). Suelen provenir de una circulación profunda por las capas de sal de períodos geológicos muy antiguos. Se aplican externamente debido a su fuerte mineralización. Así se distinguen:

- Aguas cloruradas sódicas: aguas con una fuerte concentración de sales disueltas, donde predominan los cloruros ya que son ricas en Cl y en Na; y se los asocia a terrenos sedimentarios de aguas fósiles y terrenos volcánicos reciente ricos también en boro, sílice, en CO₂ y en SH₂.
- Aguas clorosulfuradas: proceden de las aguas cloruradas sódicas, son ricas en NaCl y en MgCl₂ y cuya concentración en sales disueltas es elevada.

III. **Aguas bicarbonatadas:** estas aguas son ricas en CO₂ libre y habitualmente pobre en SO₄; este tipo de aguas es frecuente en las regiones de volcanismo terciario y cuaternario, lo que explica la abundancia de CO₂, así se distinguen:

- Las aguas bicarbonatadas cálcicas: su origen procede de la penetración de las aguas por capas de rocas sedimentarias con una alta proporción de caliza, predomina el calcio (3 a 10 veces más) y el magnesio. Tienen una mineralización y alcalinidad más baja que las anteriores. Baja mineralización y mediana alcalinidad.
- Las bicarbonatadas sódicas: predomina una fuerte proporción de Na + K y se relaciona con fenómenos volcánicos recientes y presentan frecuentemente gas carbónico en su composición, suelen ser hipertermales por su origen profundo. Predomina el bicarbonato y el sodio.

IV. **Aguas Ferruginosas:** Tienen alto contenido en hierro (más de 10 mg/l de Fe), fruto de la penetración de las aguas por terrenos que presentan vetas, filones o manchas de rocas ricas en este mineral.

V. **Aguas Radiactivas:** Son poco frecuentes. Proceden de zonas muy profundas en contacto con materiales geológicos muy antiguos, generalmente intrusivos. Los componentes de litio, cobalto, níquel y radio, en cantidades muy pequeñas.

VI. **Aguas sulfuradas:** Se caracterizan esencialmente por la presencia de compuestos sulfurados y de H₂S libre o combinado, por su composición química total difieren poco de los demás tipos. Su temperatura es elevada y se destaca que la concentración en sales es mediana e incluso débil. Según el contenido se dividen en:

- Aguas sulfuradas sódicas: presentan sulfuro de sodio, con alto contenido de Na + K.
- Aguas sulfuradas cálcicas: presentan un descenso del contenido de Na + K y alto contenido de Ca + Mg, dando lugar a H₂S libre procedente de la reducción de sulfatos cálcicos.

VII. **Aguas carbogaseosas:** contienen más de 250 mg/L de carbónico.

Según su temperatura

Las aguas termales marcan un campo particular del ciclo del agua, desarrollándose en las capas profundas del subsuelo y que involucra directamente a la temperatura, siendo esta la principal característica de las fuentes termales. (Castany, 1971).

Universalmente, en función de las temperaturas de las aguas, se puede indicar la siguiente clasificación:

- a. Fuentes frías: Menos de 20 °C.
- b. Fuentes Hipotermiales o poco frías: De 20° a 30 °C
- c. Fuentes Mesotermiales o calientes: De 30° a 40 °C.
- d. Fuentes Hipertermiales: Mayor a 40 °C.

Es necesario mencionar, que cuando las aguas cuya temperatura alcanza o sobrepasa los 100 °C pertenecen a categorías particulares como los géiseres.

2.4.6.6 MANIFESTACIONES TERMALES

Las fuentes de agua termal están unidas fundamentalmente con la ascensión de aguas profundas, que se evidencia en el importante papel de las fracturas abiertas, y que limita los tipos de surgencias a estructuras muy particulares, que admiten menos variaciones de las aguas subterráneas en general. Los estudios de geología estructural muestran que los accidentes primitivamente abiertos y posteriormente ampliados y desarrollados por la circulación de las aguas subterráneas, aunque pueden estar colmatados por depósitos minerales, pueden reactivarse también en fases tectónicas posteriores. Por ello, las surgencias de aguas termales se sitúan, sobre todo, en zonas de movimientos recientes o de tectónica activa.

Entre los accidentes geológicos que favorecen la circulación del agua se pueden citar¹⁰:

- i. Las diaclasas y fisuras finas
- ii. Las fallas y zonas de milonización
- iii. Los contactos geológicos
- iv. Los filones y diques eruptivos
- v. Los filones metalíferos

Las diaclasas y fisuras finas raramente constituyen el origen de la circulación de las aguas termales, no así las fallas y las zonas milonizadas que las acompañan que cuando están abiertas son las vías naturales de surgencia de las aguas termales, siendo frecuente la localización de surgencias termales sobre grandes fracturas de zócalo. La importancia de las fracturas ha sido reconocida por numerosos autores, al igual que el importante papel de las fallas de distensión. Asimismo, la intersección de accidentes jóvenes donde se sitúan las surgencias importantes, siendo más abundantes cuanto más joven es la fractura. Los contactos geológicos entre rocas graníticas y sedimentarias son también vías preferentes por las que circulan y emergen las aguas termales.

Por último, los filones metalíferos son a menudo una vía privilegiada para la emergencia de aguas termales. En este sentido hay que resaltar que los filones se corresponden normalmente con las grandes fracturas del zócalo que continúan activas y juegan un doble papel: por un lado hidráulico, favoreciendo la ascensión de las aguas profundas hacia la superficie, y por otro lado químico, favoreciendo el enriquecimiento en sales debido a la disolución de sus sustancias minerales.

¹⁰*Fuente: INFRAESTRUCTURA HIDROTERMAL, Juan Pinuaga, Instituto Tecnológico GeoMinero de España.*

2.4.6.7 ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES

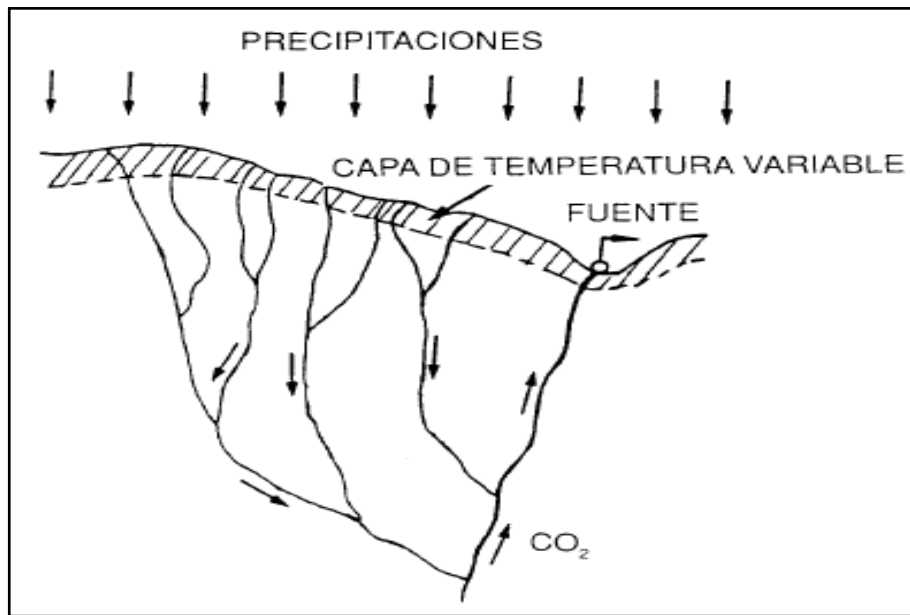
Se pueden considerar diferentes criterios generales para clasificar las aguas termales según su origen geológico, tomando en cuenta su composición física, en función de su composición química; pero por otra parte, Launay (1899) demostró que la mineralización y la temperatura de las aguas termominerales se explican por la circulación de las aguas subterráneas a diferentes profundidades, admitiendo un doble origen: meteórico y juvenil.

Origen meteórico de las aguas termales

Las aguas de origen meteórico que se infiltran en el subsuelo descienden por gravedad hacia capas más profundas, elevando su temperatura en el curso de su circulación subterránea. Estas aguas pueden ascender posteriormente hasta la superficie, a través de las fisuras y fracturas existentes en las rocas, gracias a ciertos mecanismos de surgencia que se comentarán más adelante.

Este es sin lugar a dudas el origen más frecuente de las aguas termales, denominándose comúnmente origen geotérmico, cuyas características físico-químicas de estas aguas vienen dadas de los terrenos de donde provienen. Por ello, su contenido en sales, su temperatura y las características hidrológicas son muy variables. No obstante, su temperatura en el punto de surgencia raramente supera los 35-40 °C.

Figura 16. Esquema del origen meteórico de las aguas termales



Fuente: Castany, 1971

Origen juvenil de las aguas termales

En algunos casos, la circulación de las aguas de origen meteórico no permite explicar las temperaturas elevadas y, sobre todo, las características físico-químicas de las aguas termominerales. Se hace entonces totalmente imprescindible apelar a fuentes profundas: se trata de las aguas juveniles o endógenas, que pueden tener tres orígenes principales: magmático, volcánico y agua de reacciones químicas (Castany, 1971).

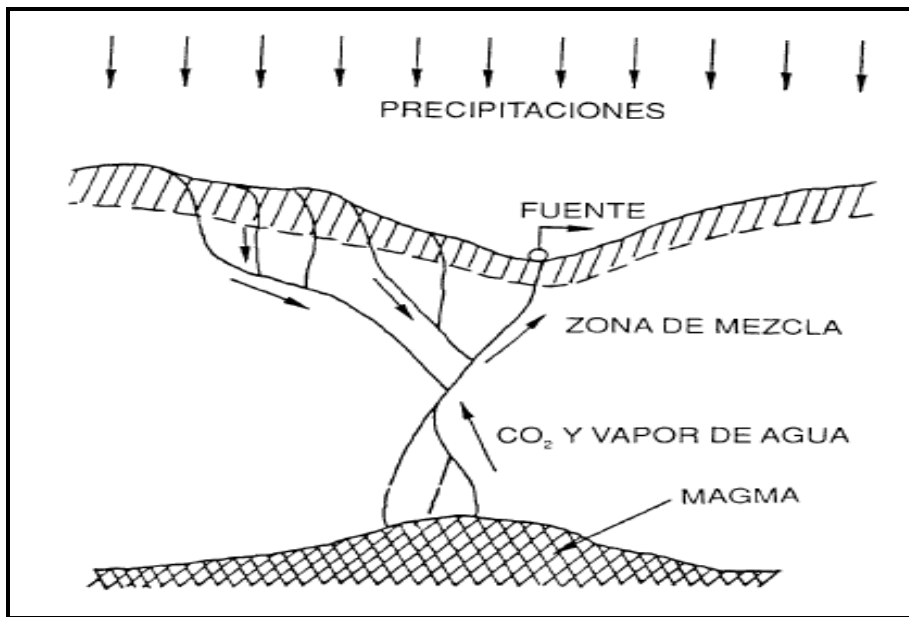
- a) **Origen Mágmatco:** Son aguas primitivas, surgen de una directa relación con filones metálicos o eruptivos, cuya temperatura es elevada es siempre superior a 50° C. La composición en sales y la temperatura de estas aguas termales de origen endógeno, con independencia de la roca de la que proceden, son relativamente constantes y de carácter hipertermal, con un caudal periódico, rítmico y constante. Se puede afirmar que existe la posibilidad de que como consecuencia de la cristalización de los magmas se liberen constituyentes volátiles que pueden escaparse en forma de fumarolas, compuestas esencialmente de hidrógeno y vapor de agua, junto con elementos como flúor, cloro, azufre, carbono, fósforo y boro.

- b) **Origen Volcánico:** las aguas juveniles o endógenas pueden también proceder de la consolidación de lavas y de vapor de agua de origen volcánico, acompañados generalmente de gases como el anhídrido carbónico (CO₂), nitrógeno (N), sulfhídrico (SH₂), fluorhídrico (HF), etc.

Hasta hace no muchos años, ciertos vulcanólogos se resistían a admitir que los volcanes produjesen agua, hecho que en la actualidad está totalmente probado, al igual que la relación existente entre algunas fuentes de aguas termales y ciertas manifestaciones volcánicas, relacionadas con una actividad volcánica terciaria y cuaternaria.

- c) **Agua de las Reacciones Químicas:** De igual forma, hay que tener en cuenta que ciertas reacciones químicas de carácter intenso en el seno de la corteza terrestre pueden liberar agua.
- d) **Aguas Fósiles:** que algunos sedimentos al depositarse sobre los fondos marinos dan lugar a un proceso de oclusión de parte del agua de arrastre, originando las denominadas aguas fósiles, particularmente ricas en cloruro sódico (NaCl), bromo (Br) y Yodo (I).
- e) **Origen mixto de las aguas termominerales:** No obstante, las aguas termales pueden tener también un origen mixto, por mezcla de aguas meteóricas de infiltración reciente con aguas juveniles y fósiles; cuyos aportes profundos de anhídrido carbónico pueden activar las aguas de infiltración, donde el CO₂ es fruto de manifestaciones volcánicas recientes (cuaternario).

Figura 17. Esquema del origen mixto de las aguas termales



Fuente: Castany, 1971

2.4.6.8 INTERACCIÓN AGUA TERMOMINERAL-ROCA

Las aguas termominerales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores de tipo químico-físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico y otros (Fagundo, 1990a).

- **Factor Químico-Físico:** determinada por leyes determinísticas basados en principios de la termodinámica y la química general (ley de acción de masas, propiedades de disolución de los minerales, condiciones de pH, potencial de oxidación reducción, intercambio iónico, etc.).
- **Factor Geológico:** se relacionan con la litología (composición de los minerales de las rocas), el estado de ocurrencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el agrietamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímicas dominantes en una región determinada, es decir, el tipo de agua. Así por ejemplo, en los terrenos kársticos carbonatados las aguas suelen ser del tipo bicarbonatada cálcica (Fagundo, 1990a).

- **Factor Hidrogeológico:** están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua. Todos estos aspectos inciden en el tiempo de contacto entre el agua y el mineral, por ejemplo, si el flujo tiene lugar en condiciones difusas a través de las rocas, el tiempo de interacción del agua con los minerales es más lento y, por tanto, la cantidad de minerales disueltos es mayor que si las condiciones de flujo son de tipo turbulentas a través de grietas más o menos amplias.
- **Factor Geomorfológico:** también influyen en la composición química de las aguas, en especial, el escarpe de los macizos, el tipo de vegetación, el grado de erosión de los terrenos y la naturaleza de las propias formas del relieve. A pesar de que las formas de adsorción (dolinas, sumideros, etc.), se pueden considerar el resultado de los procesos de erosión en terrenos kársticos, una vez creadas esas formas, éstas facilitan o limitan la ulterior acción de corrosión química sobre el medio, lo cual se refleja en la composición química de las aguas.
- Otros factores que también influyen sobre la composición química de las aguas naturales son los de tipo pedológicos, los cuales están asociados al tipo de suelo que yace sobre las secuencias estratigráficas.

Por último, se debe destacar el papel que desempeña el factor antrópico en la composición química de las aguas, ya que la actividad del hombre causa un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas; una vez contaminadas se hace muy difícil restablecer su calidad original (González y Jiménez, 1988).

2.4.6.8 CALIDAD DEL AGUA

El agua natural es un sistema de cierta complejidad, no homogéneo, que puede estar constituido por una fase acuosa, una gaseosa y una o más fases sólidas (Stumm y Morgan, 1970).

La composición química de este sistema en función del uso que se le da, recibe el nombre de calidad del agua. Existe una serie de normas que regulan las concentraciones permisibles que debe poseer cada elemento o indicador de calidad según los diferentes usos.

Por ende, el propósito de la determinación del índice de calidad de aguas (ICA), es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua (National Sanitation Foundation – INSF 1970).

Los ICA tienen como objeto estimar, el grado de calidad de un determinado cuerpo hídrico. Con ello se pretende reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinables; esto se resalta cuando hay que realizar una gran cantidad de evaluaciones de forma periódica.

Las principales variables fisicoquímicas que se involucran en el cálculo de los ICA para el presente estudio recaen en condiciones generales de la calidad del agua y no en contaminantes específicos.

En Ecuador existe una serie de normas que regulan las concentraciones permisibles como TULAS que debe poseer cada elemento o indicador en la calidad de agua según los diferentes usos. Por ejemplo, las normas establecidas para que un agua pueda utilizarse en el abasto a la población exigen un contenido despreciable de los elementos relacionado con ciclos del nitrógeno, fósforo y un sin número de elementos, sin embargo para el riego de cultivos, las aguas deben poseer un alto contenido de los mismos, asimismo para un uso adecuado de las fuentes termales cuyos fines son terapéuticos¹¹.

Por tanto, como en dependencia de la composición química de un agua esta podrá encontrar distintos usos, se hace necesario tener en cuenta algunos aspectos a la hora de la toma, conservación y análisis de la muestra, los cuales podrían alterar el resultado dado, siendo necesario que estas aguas naturales estén controladas por los equilibrios químicos de los carbonatos y otros minerales constitutivos de los acuíferos y es variable en el tiempo. Por esta razón se realiza un análisis de alcalinidad y las mediciones de temperatura, pH y otros parámetros químico-físicos inestables deben hacerse "in situ".

La composición química de las aguas subterráneas, al cabo de un determinado tiempo, se encuentra en un equilibrio químico- físico con el contenido de gases y de fases sólidas disueltas. Estos equilibrios dependen de la temperatura y de la presión del sistema y cualquier cambio en esas condiciones produce una variación en la composición química, dando lugar a una mayor disolución o a la precipitación de estos por recombinación iónica.

¹¹*Fuente: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, Ecuador 2002.*

2.4.6.9 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS

El pH del agua

La medida del grado de acidez del agua es el pH, el cual se define como el logaritmo inverso de la actividad del ion hidrógeno o hidronio (H^+ o H_3O^+), que resulta de la ionización de un ácido cualquiera; se expresa en moles por litro, aunque al medirse en equipos electrónicos con electrodos de referencia, la acidez se expresa en unidades de pH, por lo general entre 0 y 14, esta se calcula de la manera siguiente: $pH = -\log(H^+)$

Aunque el agua pura está constituida fundamentalmente por moléculas de H_2O , la misma se compone por un enlace de tipo covalente de H^+ y OH^- . Esta proporción está controlada por la reacción de disolución: $H_2O(l) = H^+ + OH^-$ la cual para una temperatura dada se encuentra en equilibrio dinámico.

El valor del pH de muchas aguas naturales que interactúan con los minerales varía en un estrecho intervalo, por lo general entre 6 y 9, lo cual entre otras causas se debe a la gran distribución de las rocas carbonatadas y al carácter ácido-básico de las mismas, a través del sistema de equilibrios químicos que se establecen entre CO_2 , HCO_3^- , y CO_3 . Algunos manantiales calientes de origen volcánico poseen una elevada acidez, por la presencia de ácido clorhídrico (HCl) y dióxido de sílice (SiO_2).

Conductividad eléctrica

El agua pura no conduce electricidad. Las sales disueltas son las que permiten el paso de electricidad a través del agua. Mientras mayor sea la cantidad de sales en el agua, mayor será el valor de conductividad eléctrica que presente. Por lo tanto, la cantidad de sales en el agua es directamente proporcional en una relación aproximada del 75 al 90% de la conductividad eléctrica.

Sólidos totales disueltos (TDS)

Son las siglas inglesas de "Total Dissolved Solids", en español, Sólidos Totales Disueltos, es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, en nuestro caso, el agua. Para considerarse TDS, las sustancias deben ser lo suficientemente pequeñas como para pasar una criba o filtración del tamaño de dos micras¹².

Si las sustancias orgánicas e inorgánicas no pueden pasar una filtración de dos micras ni están indefinidamente suspendidas o disueltas, se llaman TSS (Total Suspended Solids o Total de Sólidos Suspendidos). La medida TDS tiene como principal aplicación el estudio de la calidad del agua de los ríos, lagos y arroyos. Aunque el TDS no tiene la consideración de contaminante grave, es un indicador de las características del agua y de la presencia de contaminantes químicos, es decir, de la composición química y concentración en sales y otras del agua.

¹²*Fuente:*<http://www.aguapasion.es/blog/osmosis-inversa-total-solidos-disueltos-tds-medirlo>

Son dos los principales métodos de medición del TDS:

- ❖ Métodos de gravimetría: Consiste en evaporar el agua hasta dejar los residuos que pueden ser pesados. Suele ser el método más exacto, salvo que el agua analizada tenga un TDS con una proporción elevada de elementos orgánicos con bajo punto de ebullición (ya que se evaporan).
- ❖ Métodos de conductividad: Está relacionado con la concentración de los sólidos disueltos ionizados en el agua. Los iones del TDS del agua hacen que el agua pueda conducir una corriente de agua, que puede ser medida usando un lector de TDS o un conductímetro.

La fórmula para calcular el valor del TDS es:

$$\text{TDS} = \text{CE} * 0,647$$

Dónde:

TDS: Sólidos Totales Disueltos

CE: Conductividad Eléctrica

Salinidad

Cuando el constituyente principal del agua es el cloruro de sodio y la concentración es alta, se dice que el agua es salina. La salinidad es el número de gramos de sal por kilogramo de muestra; por ello se expresa en mg/L. Formalmente la salinidad se define como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada (Romero, 1996).

Alcalinidad (TAC)

La alcalinidad de un agua mide su capacidad para neutralizar ácidos. Así, la alcalinidad TAC mide la capacidad de neutralización hasta pH=4,5. Pero en la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable.

El valor de TAC se expresa como mg/L de CaCO₃, y está comprendido por lo común entre 100 y 300 mg/L de CaCO₃.

Dureza

Esta propiedad es causada por los iones metálicos divalentes, es decir los cationes de Calcio (Ca⁺⁺) y Magnesio (Mg⁺⁺). Esta propiedad es muy importante en acuíferos cársticos que tienen la característica de formarse en rocas carbónicas como la dolomita y la caliza, lo cual, hace que se diluyan rocas formando carbonatos y bicarbonatos¹³.

La dureza se puede clasificar en dos grandes grupos: la carbonatada y la no carbonatada. La dureza carbonatada es también llamada temporal, porque se remueve con evaporación y precipitada del calcio y del magnesio. Esta se mide en términos del carbonato de calcio (mg/L). La dureza no carbonatada es igual a la diferencia entre la dureza total y la carbonatada. Esta indica la cantidad de calcio y magnesio combinados con sulfatos, cloruros, nitratos y algunas veces hierro; esta clase de dureza no se puede remover por evaporación.

¹³*Fuente: Hidrogeoquímica, Leonardo Donado, 1999*

2.4.6.10 MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

La representación gráfica de los datos hidroquímicos constituye una herramienta de trabajo muy eficiente en la interpretación de las propiedades del agua, así como para hacer comparaciones. También permite ver con facilidad el comportamiento y evolución de la fuente termal en un territorio determinado y a través del tiempo, entre las representaciones habitualmente utilizadas son:

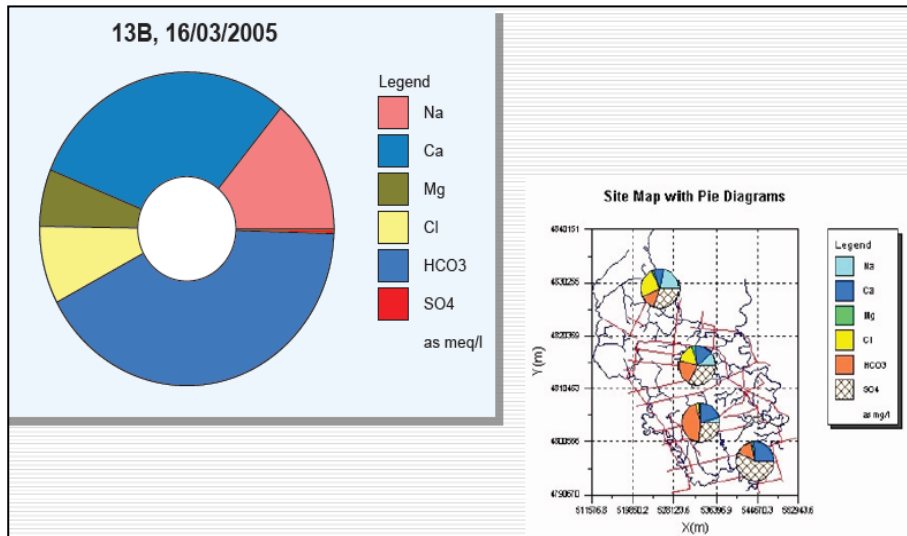
- Diagramas de Collins,
- Diagramas circulares,
- Diagramas de Tickel,
- Diagramas de Stiff,
- Diagramas de Schoeller – Berkloff,
- Diagramas triangulares (Piper, 1944)

A continuación se presentan más detalladamente las representaciones que son generalmente usadas por varios hidrólogos y que se usaron para este proyecto de tesis.

Diagramas Circulares

Son equivalentes a los de barras, aunque se representan cationes y aniones en el mismo círculo, donde además se puede representar otro parámetro (TSD) como un círculo interior. Este tipo de diagrama permite representar la composición de una muestra, ya que son representados en mapas, con lo que se obtiene una visualización rápida de la variación espacial de la composición del agua en las zonas de estudio (Figura N. 18).

Figura 18. Diagrama Circular

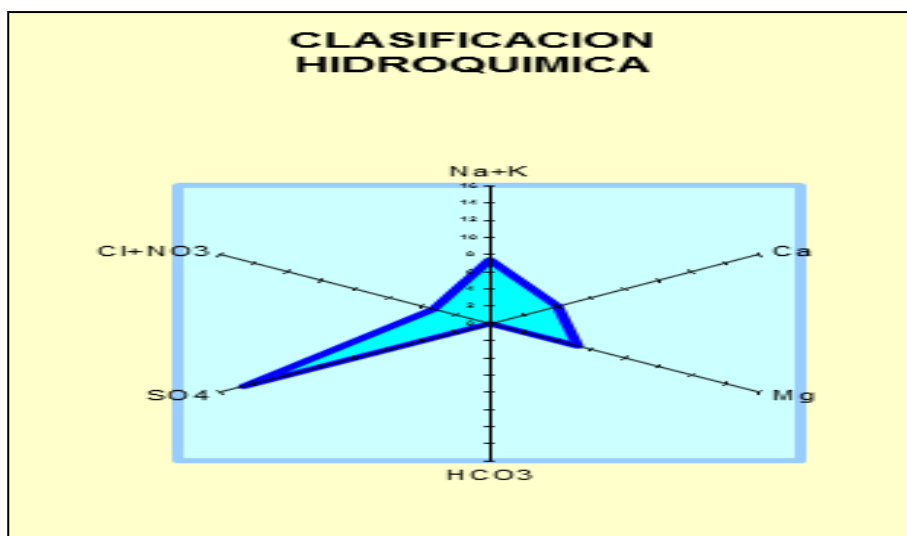


FUENTE: Javier Lillo, 2010

Diagrama de Tichel

Consta de seis rectas dibujadas cada 60°, se representan cationes y aniones en meq/L, para lo cual se determina la concentración total de aniones y cationes, seguido del porcentaje del radio para cada anión y catión (Figura N.19).

Figura 19. Diagrama de Tichel

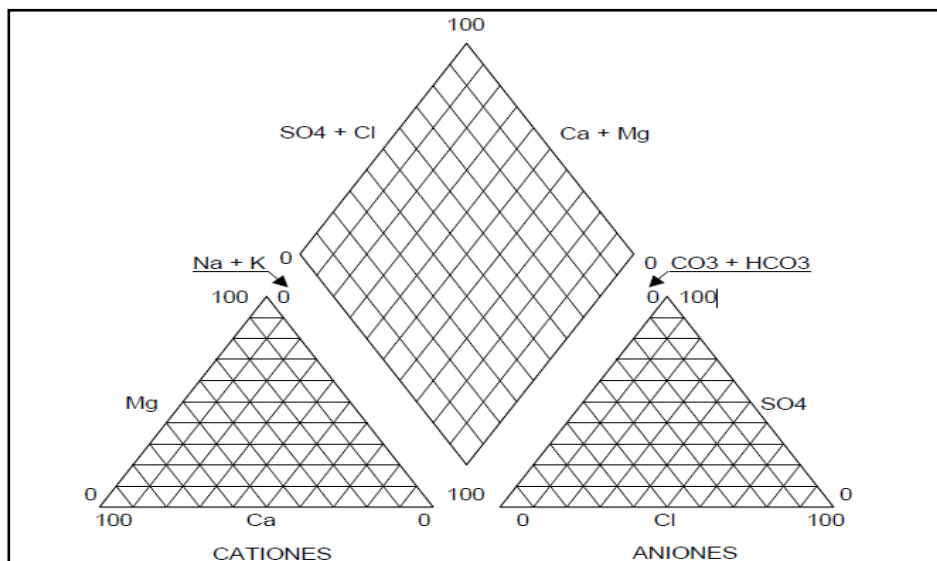


FUENTE: INAMHI, 2010

Diagrama de Piper

Este procedimiento gráfico es una herramienta efectiva en la segregación analítica de datos para un estudio crítico con respecto a los orígenes de los constituyentes disueltos en aguas, las modificaciones en el carácter de un agua con el paso a través de un área y problemas geoquímicos relacionados. Este procedimiento está basado en el diagrama múltiple triangular mostrado en la Figura 20, cuya forma fue gradual e independientemente desarrollada durante muchos años, ya que consta de dos diagramas triangulares y uno rómbico central. Usualmente en un triángulo equilátero se representa las concentraciones de los cationes. Ca^{2+} , Mg^{2+} , y Na^+ (en ocasiones $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) y en el otro las de los aniones (HCO_3^-), $(\text{SO}_4)^{2-}$, y Cl^- o $(\text{NO}_3)^-$, asimismo cada uno de los vértices representa el 100% de meq/L de un ion. Un punto interior del triángulo indica el % presente de cada ion respecto al total de los tres. (Sánchez & Vázquez, 2009).

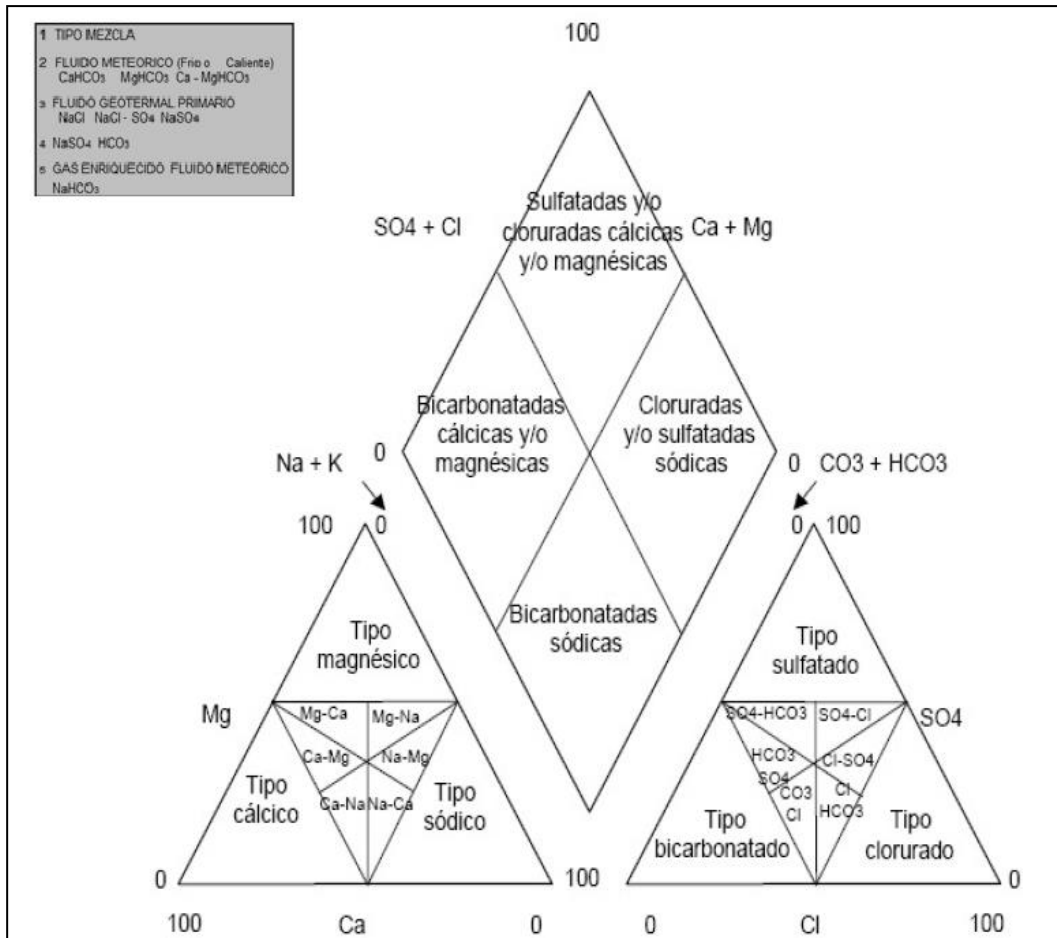
Figura 20. Diagrama de Piper



Fuente: Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Alicante

En los diagramas de Piper, las aguas de características químicas similares quedan agrupadas en sectores, pudiéndose establecer la siguiente clasificación (Figura 21).

Figura 21. Tipos de Aguas Subterráneas en función del Diagrama de Piper



Fuente: Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Alicante

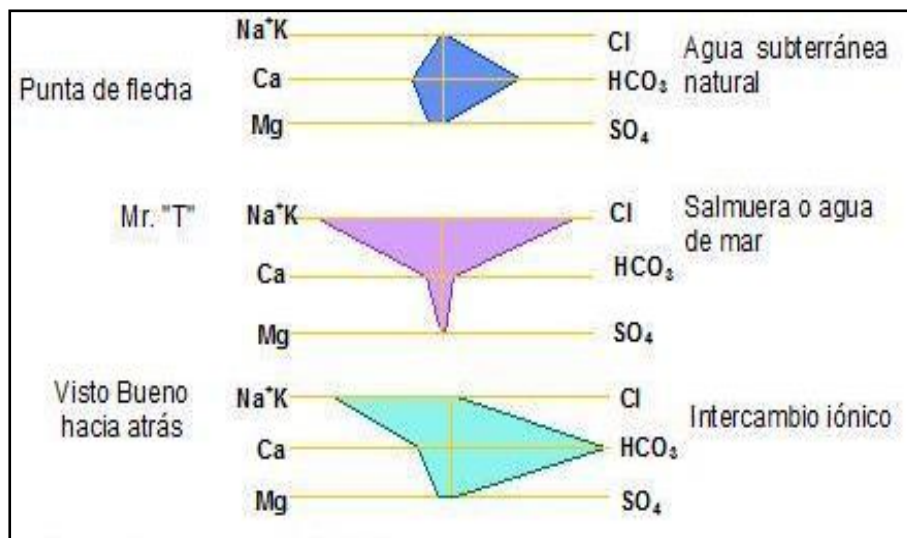
Diagrama de Stiff

Los diagramas de Stiff son un procedimiento gráfico con muchas ventajas; este sistema es extremadamente versátil y muy simple de dibujar en papel ordinario, ya que presenta una mejor imagen del total de la concentración de sales que todos los otros métodos gráficos así como los efectos de dilución o concentración han sido reducidos al mínimo y al mismo tiempo mejorar la distinción entre variados tipos de agua ¹⁴.

¹⁴ Fuente: *HIDROGEOQUIMICA*, Leonardo Donado, 1994

Lo esencial de este método es que indican las líneas que se extienden horizontalmente a izquierda y derecha de la línea vertical que señala la concentración cero. Los iones positivos se dibujan a la izquierda mientras que a la derecha se dibujan los negativos. Por conveniencia, todas las sales (sodio, potasio, litio) se representan con el sodio. La unidad química utilizada es el mg/L. Para realizar el modelo se colocan adecuadamente los puntos que indican las constituyentes del agua; luego se unen los puntos como lo muestra la Figura 22, ya que este tipo de diagrama es apropiado para situarlos sobre un mapa y ver la disposición espacial de las familias hidrogeoquímicas.

Figura 22. Diagramas de Stiff típicos.



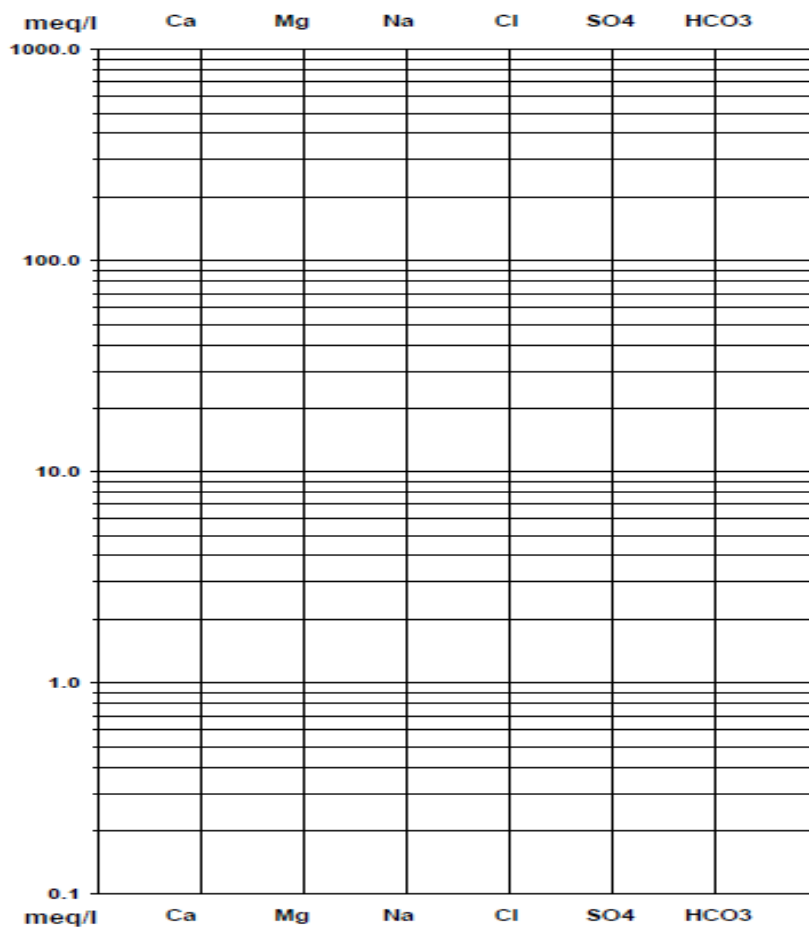
Fuente: *HIDROGEOQUIMICA*, Leonardo Donado, 1994

Este método tiene diversas aplicaciones dentro de las que vale rescatar los problemas de trazado de líneas de corriente, pruebas de perforación y detección de aguas foráneas y la determinación de su origen.

Diagramas de Schoeller – Berkaloff

Los diagramas logarítmicos verticales, puestos a punto por E. Berkaloff y H. Schoeller, se componen esencialmente de siete escalas logarítmicas verticales y equidistantes que sirven de referencia de los puntos representativos de los contenidos en Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, CO₃ combinado, y donde cada una de las seis escalas iónicas esta graduada en miligramos por litro y miliequivalentes.

Figura 23. Diagrama de Schoeller – Berkaloff



Fuente:

HIDROGEOQUIMICA, Leonardo Donado, 1994

Los resultados de los análisis, expresado en forma iónica en mg/l se colocan directamente sobre el diagrama, uniéndose después los puntos obtenidos mediante segmento de rectas, se traza así una línea quebrada representativa de la composición química del agua.

2.7 HIPÓTESIS

En Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa existen condiciones geológicas y tectónicas favorables para la ocurrencia de manifestaciones termales debido a la presencia de fallas, estructuras plegadas y volcanismo.

Mediante los análisis físico-químicos de las aguas de las vertientes minerales, se establece su composición, origen y tipo de fuente para plantear su uso terapéutico.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio es de tipo descriptivo, se realizará el estudio de las aguas termales de Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa en base a la hipótesis planteada donde cuyos resultados se obtendrán al final del estudio, y que contribuirán a diversos sectores tanto energéticos como turísticos. Es de tipo transversal porque se efectuará con la recolección de muestras, mapeo geológico, análisis e interpretación de datos en un periodo de 4 meses a partir de junio de 2013 y es prospectivo porque sus resultados se evidenciarán a futuro.

3.2 UNIVERSO Y MUESTRA

El universo y muestra de estudio son las vertientes provenientes de sectores aledaños a las aguas termales de Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa ubicadas en las estribaciones del flanco oriental de la Cordillera Real de los Andes de Ecuador.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

Se desarrollará una base de datos para identificar las diversas propiedades hidrogeoquímicas de las zonas de estudio, así como la elaboración de mapas temáticos para una posterior evaluación de las posibles reservas de aguas termales dentro de las mismas.

3.3.1 TÉCNICA

Para el desarrollo de esta investigación se utilizará:

- Cartografía topográfica a escala 1:50000 proporcionada por el IGM.
- Cartografía geológica a escala 1:100000, mapas regionales de la cordillera Real y Occidental, a escala 1:200000, elaborados por el INIGEMM.
- Mapa de cobertura de suelos a escala 1:50000, elaborado por el MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca).
- Para analizar la climatología de la cuenca de Cuenca se usó:
 - a. Datos de temperatura media mensual de 8 estaciones meteorológicas.
 - b. Datos de pluviometría mensual de los años 2000-2011 de 19 estaciones meteorológicas.
- Para analizar la climatología del cantón Baños perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del río Pastaza se usó:
 - a. Datos de temperatura media mensual de 9 estaciones meteorológicas.
 - b. Datos de pluviometría mensual de (2000–2011) de 15 estaciones meteorológicas.

3.3.2 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se lo realizó con la previa recopilación de información generada por entidades como el INAMHI, INIGEMM, MAGAP y PRECUPA, para posteriormente realizar la visita de campo por los egresados, en la misma se tomaron los datos geológicos, estructurales y muestras de las aguas termales.

PROCESAMIENTO DE DATOS

El tratamiento y análisis de la información de las características físicas, climatológicas, análisis físico-químicos de las fuentes termales se realizó en hojas de cálculo en Microsoft Excel 2010.

El cálculo del Balance Hídrico de cada sector de estudio se desarrolló mediante la hoja de cálculo en Microsoft Excel 2010, elaborada por el (INAMHI).

Se utilizó el software ArcMap 9.3 como herramienta para el sistema de información geográfica, generación de mapas.

3.4 PROCEDIMIENTO

3.4.1 Características físicas

Para determinar las características físicas de los sectores, se realizó el siguiente procedimiento:

1. En base a la cartografía digital a escala 1:50 000, se realizó un mapa base de Baños de Tungurahua y Baños de Cuenca.

2. En función de las líneas divisorias de agua se delimitó las subcuencas y microcuencas pertenecientes tanto de la Cuenca Hidrográfica del río Pastaza y de las Cuencas Hidrográficas de la cuenca de Cuenca.

3. La elaboración del mapa de las pendientes ha sido realizada de forma automática, gracias a la ayuda del software (ArcGis) que está dotado de un módulo para calcular la pendiente, partiendo de valores altimétricos y de una representación digital de la morfología del territorio (DTM). La representación digital del territorio puede ser efectuada de diversas maneras y las dos técnicas que se usan más comúnmente son el TIN (Triangulated Irregular Network) y el DEM (Digital Elevation Model). Con la expresión TIN se identifica una modelización concreta basada en el empleo de triángulos, a partir de un conjunto de datos dispuestos de manera irregular. El DEM, por el contrario, define una representación que utiliza una malla regular (grid) en x, y.

En este estudio se ha utilizado como técnica de representación el TIN, en su realización, dada lo vasto de la zona de estudio y la diversidad de las bases vectoriales a disposición.

Se ha pasado después a la diferenciación de los valores de la pendiente en clases, a través del GIS que mide el máximo porcentaje de variación en elevación que se tiene, y se agrupan de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla N. 15 Rangos por el tipo de pendiente

Intervalo	Rango (%)	Denominación
1	0 – 5	Muy Suave
2	5 – 15	Suave
3	15 – 25	Moderada
4	25 – 45	Abrupta
5	45 – 75	Muy abrupta
6	>75	Extremadamente Abrupta

Elaborado por: Edwin Quinche, Sergio Velastegui, 2013

Con base al cuadro de pendientes propuesto y al modelo digital del terreno (DTM), se obtuvo el mapa geomorfológico que se presentó en la sección respectiva.

3.4.2 Climatología

El análisis de la climatología de los sectores de estudio se lo realizó en base a los datos proporcionados por el INAMHI y siguiendo el procedimiento a continuación detallado.

- Las series de temperatura se obtuvieron de los anuarios meteorológicos del INAMHI. Los valores de la serie que eran imposible correlacionarlos se rellenó en base al promedio de los datos de la misma estación.
- En base a la información pluviométrica del INAMHI, se construyó una base de datos mensual desde el año 2000 al 2011.
- Para calcular la precipitación media de la subcuencas se aplicó 2 métodos: el de los polígonos de Thiessen y el de isoyetas.
- Se determinó la relación entre temperatura y elevación, con los valores de temperatura media anual y de elevación de cada estación para cada zona de estudio, y se realizó el mapa de isotermas de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca.
- La evapotranspiración potencial fue calculada mediante el método de Thornthwaite.
- Se calculó el balance hídrico para la estación (Baños, M029), de Baños de Agua Santa y de la estación (El Labrado, M141), de Baños de Cuenca, mediante la hoja de cálculo desarrollada por el INAMHI.

3.4.3 Prospección Hidrogeológica

Para la determinación de las características hidrogeológicas de los sectores de estudio se procedió de la siguiente manera.

- Definir el tipo de permeabilidad de las formaciones de las zonas de estudio en base al tipo de rocas y a la información secundaria recolectada.
- Se realizó los mapas hidrogeológicos de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca.
- La transmisibilidad se obtuvo en base a la expresión mencionada en el marco teórico.
- Posterior a la identificación de fallas y lineamientos mediante la base cartográfica y bibliográfica, en el campo se realiza una verificación de las principales estructuras locales relacionadas a las fallas y lineamientos, porque de una u otra manera influyen directamente sobre la permeabilidad de las formaciones geológicas de las zonas de estudio y consecuentemente están relacionarlos con las fuentes termales.
- Se realizó el Inventario de puntos de agua termal de las zonas antes mencionadas.

3.4.4 Prospección Hidrogeoquímica

Los datos primarios utilizados para la investigación fueron obtenidos en las campañas de campo, en las que se caracterizó y describió las fuentes termales, mientras que los datos secundarios incluyen la bibliografía y datos de estudios anteriores enfocados a la geoquímica de las aguas termales realizados por el INAMHI.

El muestreo de aguas termales se realizó mediante el siguiente criterio: localización mediante el uso del GPS y accesibilidad a la fuente termal, sitio donde se encuentran las vertientes de agua termal (aberturas en superficies por donde emanan las aguas termales),

determinación de la temperatura de la fuente termal, y toma de 4 muestras de agua termal en envases de 2 litros de capacidad.

Las muestras de agua termal tomadas durante el trabajo de campo, fueron analizadas en el Laboratorio Nacional de Calidad de Agua y Sedimentos del INAMHI, dirigido por la Dra. Jeaneth Cartagena.

El análisis, consistió en determinar las concentraciones de cloruros, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, magnesio, sodio, potasio, magnesio, manganeso, hierro, dureza alcalinidad, y las propiedades físicas como la temperatura, la conductividad eléctrica, el color y la turbidez de las muestras de agua seleccionadas.

1. Los resultados del laboratorio expresados en mg/L para fines de análisis y compatibilidad con los software proporcionados por el INAMHI, se los transformó a meq/L, procediendo así:

- Se determina el peso equivalente de cada elemento

$$Peq = \frac{PM}{Valencia}$$

- Se divide la concentración en mg/l, para el peso equivalente.

2. Se estableció la dureza total del agua mediante la siguiente expresión:

$$CO_3Ca = \left(\frac{Ca^{2+}(ppm)}{20} + \frac{Mg^{2+}(ppm)}{12} \right) * 50$$

Los valores obtenidos fueron interpretados de acuerdo a los siguientes criterios:

Tabla N.16 Clasificación del agua según la escala de dureza

Clasificación del agua según la escala de dureza:
Muy blanda (0-70 mg/l de CaCO ₃)
Blanda (70-150 mg/l de CaCO ₃)
Ligeramente dura (150-250 mg/l de CaCO ₃)
Moderadamente dura (250-320mg/l de CaCO ₃)
Dura (320-450 mg/l de CaCO ₃)
Muy dura (450 mg/l de CaCO ₃ y superior)

Fuente: Pérez (1997)

3. La precisión de los análisis químicos se controla mediante la diferencia entre aniones totales y cationes totales, pero que no debe exceder de un cierto valor.

$$ERROR (\%) = \frac{\sum CATIONES \left(\frac{meq}{L}\right) - \sum ANIONES \left(\frac{meq}{L}\right)}{\sum CATIONES \left(\frac{meq}{L}\right) + \sum ANIONES \left(\frac{meq}{L}\right)} * 100\%$$

En aquellos casos en que el error calculado por la ecuación anterior sea superior al 10 %, se debe repetir el análisis o desechar la muestra.

4. En la caracterización de las fuentes termales, para los parámetros físico-químicos se analizan graficas como:
- Conductividad vs temperatura para observar la cantidad de iones disueltos y su relación con la temperatura de las aguas.
 - Conductividad vs pH, para observar la relación de la salinidad con la acidez o neutralidad de las aguas.
 - Diagramas binarios Cl vs N, Cl vs SO₄, Cl vs Ca, Na vs K para mostrar el origen de aguas termales e influencia de las rocas sobre estas.
5. Para el diagrama de Ticket se graficó la concentración en meq/L, de los cationes (Na¹⁺+K¹⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) y de los aniones ((HCO₃)⁻, (SO₄)²⁻, Cl⁻).
6. Mientras que para el diagrama de Piper, se toma el total de los cationes que indica el 100%, al igual que el total de los aniones, luego se establece el % de cada uno de los cationes y aniones y se los ubica en el triángulo correspondiente para

posteriormente proyectar los puntos obtenidos en el rombo superior y obtener el tipo de agua que representa la muestra.

7. El desarrollo del Diagrama de Schoeller permite representar varias muestras en un mismo diagrama, ya que utiliza una escala semilogarítmica. Los iones representados pueden ser comparados y permiten estudiar las evoluciones temporales de las aguas en un mismo punto y las variaciones composicionales en muestras de diferentes localidades.
8. Se elaboró el mapa hidrogeoquímico de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca, mediante diagramas circulares que representan el porcentaje de los cationes y aniones más representativos en las muestras de agua, después se los coloca en el punto del que se tomó la muestra de acuerdo a las coordenadas WGS84. La finalidad de este mapa es el de proporcionar la evolución o permanencia de la composición química del agua subterránea.

Con la elaboración de los mapas y análisis antes descritos se puede llegar a hacer las clasificaciones y determinar la composición química del agua, para en base a esto proponer un modelo conceptual y el origen de las aguas termales para cada zona de estudio.

3.5 FACTIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD

El proyecto es factible por que cuenta con el talento humano de los autores que tienen los conocimientos y habilidades en el manejo de métodos, procedimientos y funciones requeridas para el desarrollo e implementación del proyecto, además de las herramientas necesarias para realizarlo.

El personal a cargo de la investigación ha egresado de la carrera de ingeniería en Geología, por lo que goza del tiempo y experiencia necesarios para realizar el estudio.

Este proyecto de investigación cuenta con el apoyo del INAMHI, entidad que se encargara de proporcionar los datos para que se realicen los análisis necesarios para la elaboración de mapas, tablas, estadísticas, modelos geológicos, etc.

Finalmente, El proyecto de investigación es accesible de ejecutarse por las bondades y facilidades administrativas, apoyo logístico y sustento técnico que brindara el INAMHI, además de dar un libre acceso a la información que los investigadores consideren pertinente para el desarrollo del presente proyecto de tesis.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Se manejarán los datos de acuerdo al uso de las herramientas estadísticas disponibles en el programa Microsoft Excel para la determinación de tablas y gráficos, para el análisis e interpretación de mapas será complementado con las herramientas disponibles en el software ArcGIS10 (Sistema de Información Geográfica).

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

4.1.1 MICROCUENCAS DE BAÑOS DE AGUA SANTA

En Baños de Agua Santa perteneciente a la parte alta y media de la cuenca del río Pastaza se menciona las siguientes subcuencas, de acuerdo a su grado de importancia:

- **RÍO TOPO:** Ubicada en la parte nor-oriental de Baños, tiene un área de 398 Km². La parroquia más importante que se encuentran dentro de esta subcuenca es río Negro.
- **RÍO VERDE:** Se encuentra ubicada en la parte central, tiene una extensión aproximada de 130 Km². Entre el sector más importante en el que se encuentran esta subcuenca está río Verde.
- **AREAS MENORES:** Dentro de esta subcuenca se encuentran varios ríos que aportan en menor cantidad que los anteriores pero que en su conjunto no se pueden despreciar. Tiene como afluentes principales los siguientes ríos: Topo, Negro, Muyo Verde, Ulba y Puyo. Posee un área de 450 Km². Dentro de esta subcuenca se encuentran las siguientes poblaciones importantes: Lligua, Baños de Agua Santa y Ulba.

El mapa de Microcuencas de Baños de Agua Santa, se muestra en la sección correspondiente (Mapa 2, pág. 15), y el resumen de las microcuencas se presenta a continuación.

Tabla N. 17 Características de las microcuencas en Baños de Agua Santa

MICROCUENCAS	CUENCA HIDROGRAFICA	SUBCUENCA	AREAS (Km ²)	FORMA
R. Parcayacu	Napo	Río Jatunyacu	1,638	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R. Negroyaco	Napo	Río Jatunyacu	2,42	OVAL OBLONGA A RECTANGULAR OBLONGA
R.Leytopamba	Pastaza	Río Patate	0,035	OVAL OBLONGA
R.Puela	Pastaza	Río Chambo	1,98	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
Drenajes Menores	Pastaza	Río Chambo	21,11	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Verde Chico	Pastaza	Río Muyo	42,20	OVAL OBLONGA A RECTANGULAR OBLONGA
R.Verde	Pastaza	Río Verde	130,79	RECTANGULAR OBLONGA
R.Topo	Pastaza	Río Topo	136,61	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.S.N.	Pastaza	Río Topo	16,22	OVAL REDONDA
R.Mojico	Pastaza	Río Topo	27,99	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Negro	Pastaza	Río Topo	111,96	OVAL OBLONGA A RECTANGULAR OBLONGA
R.Leon	Pastaza	Río Topo	13,61	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Tigre	Pastaza	Río Topo	22,02	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
Drenajes Menores	Pastaza	Río Topo	69,66	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Las Juntas	Pastaza	Río Llushino	0,324	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.San Pablo	Pastaza	Áreas Menores	13,13	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Ulba	Pastaza	Áreas Menores	55,28	OVAL OBLONGA A RECTANGULAR OBLONGA
Q.S.N.	Pastaza	Áreas Menores	22,67	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Chinchin	Pastaza	Áreas Menores	54,91	RECTANGULAR OBLONGA
R.Cristal	Pastaza	Áreas Menores	22,69	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
Q.Estancia Chico	Pastaza	Áreas Menores	28,15	RECTANGULAR OBLONGA
R.Zunac	Pastaza	Áreas Menores	55,10	RECTANGULAR OBLONGA
R.Encanto	Pastaza	Áreas Menores	20,91	OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
R.Alpayacu	Pastaza	Áreas Menores	0,065	RECTANGULAR OBLONGA
Drenajes Menores	Pastaza	Áreas Menores	173,05	RECTANGULAR OBLONGA

Elaborado por: Edwin Quinche, Sergio Velastegui, 2013

Los datos de la tabla antes mencionada, señalan que las principales microcuencas tienen formas rectangulares y son alargadas. Mientras que en cuanto al análisis de la densidad del drenaje señalan valores entre 1.5 Km², que corresponde a drenajes altos para la zona de estudio. La microcuenca de Leytopamba cuenta con el drenaje más pobre, mientras que la microcuenca de Drenajes Menores posee el mejor drenaje para el sector de Baños de Agua Santa.

4.1.2 MICROCUENCAS DE BAÑOS DE CUENCA

Los datos de la tabla, señalan a la principal microcuenca, la del río Rircay tiene una forma Oval Redonda, mientras que analizando el área que cubren los drenajes, el Yanuncay señala un valor muy alto de 1844,21 Km², y corresponde a los drenajes altos para la zona de estudio, mientras que la microcuenca de la quebrada de Jarroyacu cuenta con el drenaje más pobre, para el sector de Baños de Cuenca.

El mapa 4, ubicado en la página 23, nos muestra el Mapa de Microcuencas de Baños de Cuenca.

Tabla N. 18 Características de las microcuencas en Baños de Cuenca

MICROCUENCAS	CUENCA HIDROGRAFICA	SUBCUENCA	AREAS (Km ²)	FORMA
RÍO ANGAS	RÍO PAUTE -SANTIAGO	RÍO BALAO	107,65	OVAL REDONDA A OVAL
RÍO PITA	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO BALAO	67,95	OVAL REDONDA A OVAL
QUEBRADA CULEBRILLAS	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO SAN FRANCISCO	81,67	OVAL REDONDA A OVAL
RÍO RIRCAY	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO RIRCAY	148,71	OVAL REDONDA A OVAL
RÍO SOLDADOS	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	42,89	OVAL OBLONGA A RECTANGULAR
RÍO SHUCAY	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	54,82	RECTANGULAR OBLONGA
RÍO TUTUPALI	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	59,29	OVAL OBLONGA A RECTANGULAR
RÍO BERMEJOS	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	46,10	OVAL REDONDA A OVAL
RÍO GALGAL	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	148,01	OVAL REDONDA A OVAL
RÍO MINAS	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	17,60	RECTANGULAR OBLONGA
RÍO TARQUI	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	152,97	OVAL A RECTANGULAR OBLONGA
QUEBRADA TRES MARIAS	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	17,87	REDONDA A OVAL REDONDA
DRENAJES YANUNCAY	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	1844,21	RECTANGULAR OBLONGA
RÍO PUCAN	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	15,69	OVAL REDONDA A OVAL
QUEBRADA ISHCAYRRUMI	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	28,43	OVAL REDONDA A OVAL
QUEBRADA COLES	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	7,14	OVAL REDONDA A OVAL
MICROCUENCA S/N	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	3,56	OVAL REDONDA A OVAL
RÍO NARANCAY	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	10,22	OVAL REDONDA A OVAL
QUEBRADA EL SALADO	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	12,62	OVAL REDONDA A OVAL
QUEBRADA JARROYACU	RÍO PAUTE-SANTIAGO	RÍO UPANO	2,26	OVAL REDONDA A OVAL

Elaborado por: Edwin Quinche, Sergio Velastegui, 2013

4.1.3 ELEVACIÓN DE BAÑOS DE AGUA SANTA

Las elevaciones en Baños de Tungurahua oscilan entre 1000 m en la desembocadura del río Pastaza y 5000 m en las vertientes del volcán Tungurahua en la parte sur-oeste de Baños.

En la cordillera Real vía Puyo-Tena las elevaciones fluctúan entre los 2000 m, que mientras que en la parte norte atravesando el río Pastaza en la tramo Salcedo-Baños las elevaciones fluctúan entre los 2500-3500 m.

Las pendientes en Baños de Agua Santa varían desde 0% y mayormente no sobrepasan el 75%. Las pendientes extremadamente abruptas superiores al 75 %, representan tan solo 5% del área total para Baños. El 35% corresponde a pendientes muy abruptas (45–75%), y generalmente se localizan en zonas aledañas a los cauces de los ríos Vazcún, Ulba, Pastaza y a las vertientes del volcán Tungurahua. En cuanto las pendientes abruptas (25–45%) representan el 25%, mientras que el 20% de la subcuenca está influenciado por pendientes moderadas (15–25%).

Las pendientes suaves (5–15%) y muy suaves (0–5%) son aproximadamente el 15%, y se ubican en el relieve plano de los poblados de Baños, Ligua, Verde y en la zona del cauce actual del río Pastaza.

EL mapa 1, presentado en la página 13 del documento, muestra un modelo de elevaciones que ayuda a identificar la distribución de las elevaciones en Baños de Agua Santa, ubicado en la provincia de Tungurahua.

4.1.4 ELEVACIÓN DE BAÑOS DE CUENCA

A causa de la naturaleza litológica de los relieves, generalmente constituida por rocas volcánicas, la pendiente es muy alta y las vertientes, desde el punto de vista morfológico, están muy articuladas con cornisas estructurales y de morfología subvertical, presumiblemente sujetas a deslizamientos en forma de desprendimientos y coluviones localizados en las estribaciones de la cordillera occidental.

De manera específica se divide al área en; áreas onduladas y planas, con pendientes entre 0 a 15 %, constituida principalmente por terrazas aluviales que no superan los 5 metros de desnivel relativo (ocupa aproximadamente el 10% de la superficie total de área de estudio), están ubicadas al nororiente de la parroquia; las zonas con pendientes fuertes a muy fuertes que oscilan entre el 25 a 45 %, constituyen relieves colinados altos y montañosos con desniveles relativos mayores a 200 metros (aproximadamente el 40% de la superficie total del área de estudio), están ubicadas en la parte central de la parroquia, los ríos Yanuncay y Tarqui forman profundos valles en V con pendientes escarpadas 45 a 75 %; en la parte suroccidental de la parroquia se aprecia un descenso en la pendiente y desniveles relativos constituyendo relieves colinados bajos a medios, con pendientes medias a fuertes de 15 a 25 %, las mismas que ocupan más del 50% del total del área de la zona de estudio.

EL mapa 3, colocado en la página 20, muestra un modelo de elevaciones que ayuda a identificar la distribución de las elevaciones en Baños de Cuenca, ubicado en la provincia de Azuay.

4.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

4.2.1 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

El inventario de manantiales termales realizado por el INAMHI, dentro de toda la provincia de Tungurahua entre ellas de Baños de Agua Santas y de Azuay entre ellas Baños de Cuenca, se presenta a continuación.

Tabla N.19 Inventario de puntos de agua.

PROVINCIA	LONGITUD	LATITUD	COTA	pH	CE (μ S/cm)	STD	T° (C)	USO
Azuay	746049	9689232	2314	7,62	1103	705,92	21,2	Recreación
Azuay	715229	9676860	2706	6,62	4000	2560	49,3	Recreación
Azuay	714918	9676962	2695	6,74	4120	2636,8	42	Recreación
Azuay	715437	9676796	2705	6,86	3940	2521,6	71,6	Recreación
Azuay	698686	9675373	2694	9,11	344	220,16	25,8	Sin Uso
Azuay	698685	9675368	2694	9	268	171,52	25,5	Sin Uso
Tungurahua	737474	9851982	3683	8,2	4420	2828,8	48	Recreación
Tungurahua	754726	9857218	2670	7,51	511	327,04	14,7	Recreación
Tungurahua	753915	9858370	2806	7,68	487	311,68	20,8	Recreación
Tungurahua	785653	9844452	1929	6,76	6520	4172,8	55	Recreación
Tungurahua	787400	9845225	1832	6,37	4950	3168	52,8	Recreación
Tungurahua	787400	9845225	1832	6,42	4950	3168	50,7	Recreación
Tungurahua	788477	9845442	1904	6,48	4710	3014,4	44,8	Recreación

Fuente: INERHI, DATUM: WGS84

Con el trabajo de campo realizado por los titulares de este proyecto de tesis, se determinó el siguiente inventario de puntos de agua termal, que están ubicados dentro de la parroquia Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa, en los cuales se indican las temperaturas de las fuentes termales.

Tabla N.20 Inventario de puntos de agua

Provincia	Vertiente	Longitud	Latitud	Cota	T °C	Uso
Baños-Azuay	El Riñon	715436	9676797	2710	72	Recreación
Baños-Azuay	Piedra de Agua	715230	9676857	2700	49	Recreación
Baños-Azuay	Rodas	714890	9677014	2707	52	Recreación
Baños-Azuay	Agapantos	715075	9676883	2700	60	Recreación
Baños-Tungurahua	Baños (salado)	785653	9844452	1929	45	Recreación
Baños-Tungurahua	Baños (La Virgen) #1	787400	9845225	1832	48	Recreación
Baños-Tungurahua	Baños (Santa Ana)	788477	9845442	1904	42	Recreación

Elaborado por: Edwin Quinche, Sergio Velastegui, 2013

4.2.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE BAÑOS DE AGUA SANTA

Para comprender los fenómenos hidrogeológicos que actúan en el sector de Baños de Agua Santa, se definió factores muy importantes como la geomorfología, características litoestructurales, condiciones climatológicas y otros que ayudan a conocer la infiltración, circulación y surgencia de las aguas termales.

Esta caracterización hidrogeológica consiste en representar los aspectos más significativos de la geología, además de la información obtenida en la salida de reconocimiento, permitiendo la identificación de las principales formaciones aledañas a las manifestaciones termales en el sector, para luego ser calificadas cualitativamente en base al tipo de permeabilidad que presentan sus litologías en base a la metodología propuesta por la UNESCO y utilizada en INAMHI. Los tres grupos de rocas calificadas de acuerdo a sus características litológicas y su importancia hidrogeológica son:

- **Unidades Litológicas Permeables por Porosidad Intergranular**

El tipo de litología asociada a permeabilidad por porosidad primaria intergranular, se asocia generalmente a rocas formadas por elementos clásticos caracterizados por tener escasa consolidación. Se representan en el mapa hidrogeológico con diferentes tonos de coloración azul dependiendo de su grado de permeabilidad, y comprenden:

i. Permeabilidad Media a Alta: Depósitos Piroclásticos y Depósitos Aluviales (Holoceno).- Comprenden materiales constituidos por gravas, cantos rodados de variado tamaño y matriz arenosa; se presentan en los cauces del río principal Pastaza y ríos secundarios como Vazcún y Ulba. Dependiendo de su extensión y potencia, pueden presentar zonas acuíferas de relativa importancia.

ii. Permeabilidad Media a Baja: Volcánicos Cotopaxi (Holoceno).- Comprenden mayoritariamente flujos de lodo depositados durante las últimas erupciones del volcanes Cotopaxi y debido a su gran magnitud alcanzo gran distancias y llego hasta Baños de Agua Santa (Sector San Martin). Se componen de una mezcla de fragmentos con material volcánico en una matriz limo – arenosa; su permeabilidad se considera variable, pero por lo general es baja.

- **Unidades Litológicas Permeables por Fisuración**

i. Permeabilidad Media a Baja: Evento Tungurahua III.- Esta Unidad aflora prácticamente en las faldas del volcán Tungurahua, y se compone por una continua actividad eruptiva representada por la generación de flujos de lava de composición variada de andesítica básica a andesítica, flujos piroclásticos y flujos de escombros, así como moderadas cantidades de material piroclástico lanzado al aire por el volcán, dando lugar a una permeabilidad secundaria de estos depósitos, se encuentran en un rango entre media a baja. Estas rocas son consideradas como el basamento de los depósitos sedimentarios y volcánicos terciarios y cuaternarios. Las rocas pertenecientes a este evento, se podría asociar a la filtración del agua de lluvia a través de las discontinuidades.

ii. Permeabilidad Baja: Evento Tungurahua II y I (Plio-Pleistoceno).- Estas unidades de origen volcánico hidrogeológicamente presentan un comportamiento similar y una distribución netamente en la parte suroeste de la zona de estudio; agrupan en su litología flujos de lavas de composición andesítica a básica. Este tipo de materiales tienen una permeabilidad secundaria de tipo superficial por fisuración, debido a que presentan fracturas y diaclasas (Sector Puente Las Juntas). En base a la litología su permeabilidad se considera a baja.

- **Unidades Litológicas Prácticamente Impermeables**

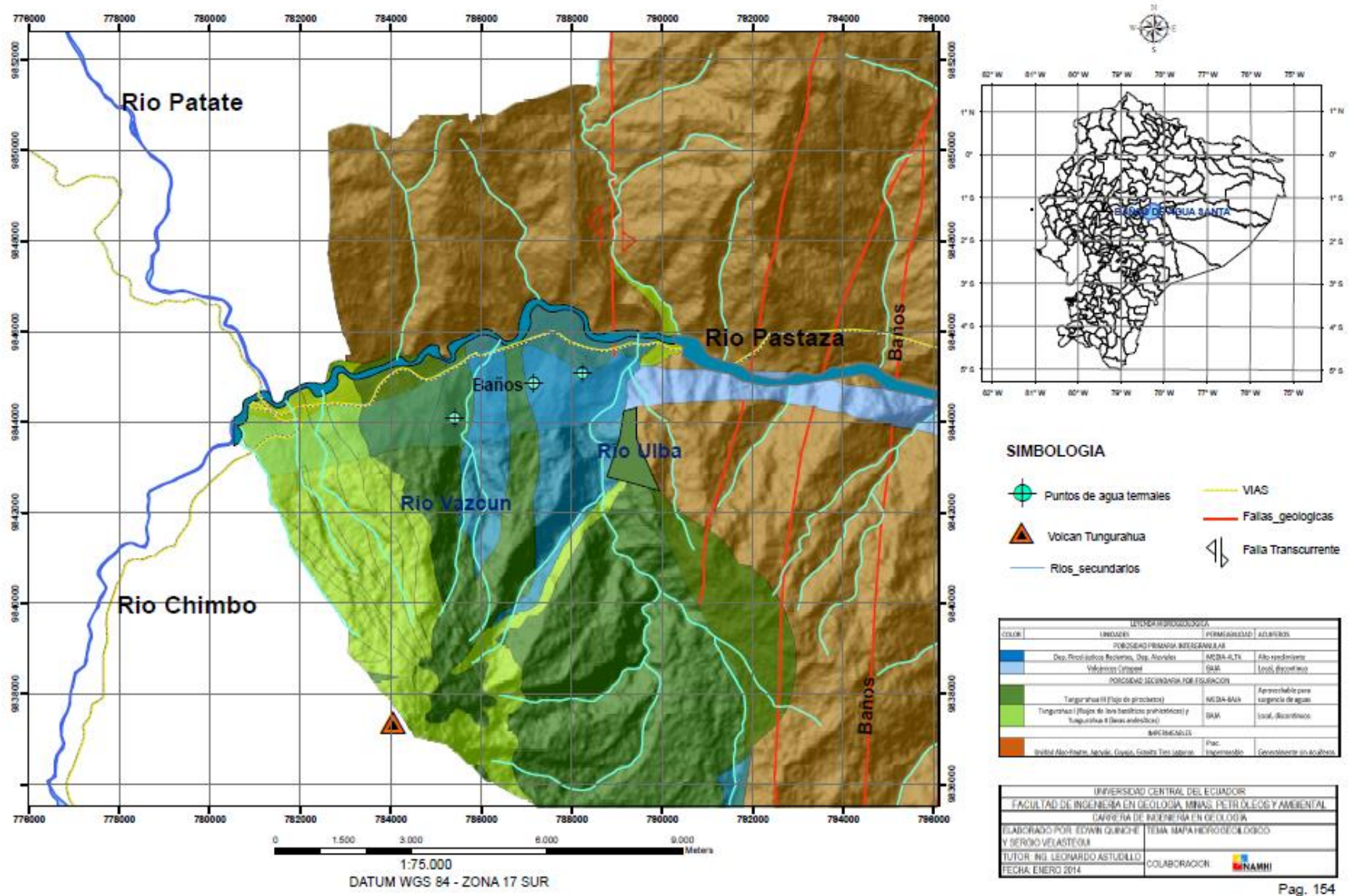
i. Unidad Alao-Paute, Agoyán y Cuyuja (Paleozoico): Las rocas pertenecientes a estas unidades metamórficas afloran en la parte este del cantón Baños con una dirección preferencial N – S, y que están presentando fallamiento.

Los depósitos metamórficos Alao-Paute es una secuencia de rocas verdes, esquistos cloríticos y metavolcánicos, mientras que la unidad Agoyán es una serie de esquistos sericíticos, cuarzo sericíticos y biotíticos.

Estas unidades, debido al tipo de estructura que presentan, se consideran prácticamente impermeables.

Granito Tres Lagunas (Intrusivo).- Este intrusivo de tipo granito se considera prácticamente impermeable, pero las zonas alteradas que se presentan generalmente en la parte superior del cuerpo intrusivo, pueden presentar permeabilidad por porosidad de tipo intergranular. La representación gráfica de las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en la en Baños de Agua Santa se visualizan a continuación.

Mapa 15. MAPA HIDROGEOLOGICO DE BAÑOS DE AGUA SANTA



4.2.3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE BAÑOS DE CUENCA

Para comprender los fenómenos hidrogeológicos que actúan en el sector de Baños de Cuenca, al igual que para Baños de Agua Santa, se definió factores trascendentales como la geomorfología, características litoestructurales, condiciones hidrometeorológicas entre otros que ayudan a la infiltración, circulación y surgencia de las aguas termales.

Además de tomar como referencia el estudio del proyecto PRECUPA desarrollado en Cuenca, en el cual se definen las condiciones hidrogeológicas de las formaciones y depósitos superficiales de la cuenca de Cuenca.

a. Depósitos aluviales recientes.

Presenta niveles freáticos poco profundos, de permeabilidad alta y generalmente suelen estar afectados por flujos internos. La permeabilidad varía desde 10^2 hasta 10^{-2} m/s.

b. Depósitos coluviales

En los depósitos antiguos la permeabilidad es media a baja y está en función de la compacidad, los niveles freáticos pueden ser profundos o colgados. En los depósitos recientes la porosidad es de media a alta, pero su transmisibilidad es variable. En los dos casos pueden existir zonas húmedas y mal drenadas. La permeabilidad varía desde 10^{-4} hasta 10^{-7} m/s.

c. Depósitos glaciares

Niveles freáticos poco a medianamente profundos. Terrenos generalmente afectados por flujos de agua. Poca o baja permeabilidad de los depósitos. La permeabilidad varía desde 10^{-4} hasta 10^{-8} m/s.

d. Formación Tarqui

Niveles freáticos profundos, fuerte permeabilidad secundaria y eventuales surgencias de agua filoniana. Drenajes poco definidos. Los suelos residuales están formados por materiales de baja a nula permeabilidad; se pueden observar ocasionales zonas húmedas en las cabeceras de los drenajes. La permeabilidad varía desde 10^{-4} hasta 10^{-8} cm/s.

e. Formación Turi

Macizos poco permeables, con niveles freáticos profundos. Presenta fisuración subvertical por desecación en las areniscas y conglomerados lo que ayuda a su porosidad. La permeabilidad varía desde 10^{-4} a 10^{-7} cm/s.

f. Formación Mangán

Material poroso pero de baja permeabilidad por su limitación en la transmisibilidad. Niveles freáticos poco profundos que generan flujos paralelos sobre contactos duros y concrecionados como el caso de areniscas calcáreas. La permeabilidad varía desde 10^{-5} hasta 10^{-7} m/s.

g. Formación Azogues

Permeabilidad media a alta por fracturación, macizos poco húmedos a secos. La permeabilidad varía desde 10^{-4} hasta 10cm/s.

h. Formación Loyola

Permeabilidad baja (por fracturación). Permite la infiltración de aguas freáticas pero no la transmisibilidad. Desarrollo importante de presión de poros en zonas mal drenadas y en el pie de colinas cerca o bajo los niveles freáticos. La permeabilidad varía desde 10^{-4} hasta 10^{-8} cm/s.

i. Formación Biblián

Permeabilidad de baja a nula, intenso escurrimiento superficial, y aguas freáticas escasas y a nivel de la base de suelos residuales. La permeabilidad varía desde 10^{-7} hasta 10^{-9} m/s.

j. Formación Yunguilla

Permeabilidad baja a muy baja por fracturamiento, macizo seco con pocas infiltraciones y humedad en el horizonte fragmentado. La permeabilidad varía desde 10^{-6} hasta 10^{-8} m/s.

k. Formación Celica

La permeabilidad de esta formación es muy baja, pero cierto fracturamiento por descompresión puede darle a esta formación una permeabilidad por fracturamiento. La permeabilidad es de 10^{-8} m/s.

En general, las areniscas de la formación Azogues se caracterizan por ser permeables y permitir la filtración de aguas superficiales, por lo que es pobre la evacuación a través de las quebradas. Existen algunas vertientes perennes al pie de los escarpes. Las lutitas de la formación Loyola son impermeables, y conjuntamente con los residuos de lutita de la formación Azogues, confinan las aguas subterráneas.

Para fines del presente estudio se toma en cuenta los aspectos más significativos de la geología, además de la información obtenida en la salida de campo y el estudio del proyecto PRECUPA, para identificar las principales formaciones aledañas a las manifestaciones termales.

Una vez recopilada la información, se procede a calificar cualitativamente las formaciones en base al tipo de permeabilidad que presentan sus litologías, tomando la metodología propuesta por la UNESCO, utilizada actualmente por el INAMHI.

Los tres grupos de rocas calificadas de acuerdo a sus características litológicas y su importancia hidrogeológica son:

- **Unidades Litológicas Permeables por Porosidad Intergranular**

El tipo de litología asociada a permeabilidad por porosidad primaria intergranular, se asocia generalmente a rocas formadas por elementos clásticos caracterizados por tener escasa consolidación. Se representan en el mapa hidrogeológico con diferentes tonos de coloración azul dependiendo de su grado de permeabilidad, y comprenden:

- i. Permeabilidad Media a Alta: Depósitos Piroclásticos y Depósitos Aluviales.- Comprenden materiales constituidos por gravas, cantos rodados de variado tamaño y matriz arenosa; se presentan en los cauces de los ríos principales como el Yanuncay y el Tarqui. Dependiendo de su extensión y potencia, pueden presentar zonas acuíferas de relativa importancia. Se incluyen los depósitos coluviales y glaciares en este grupo, la formación Azogues se ubica en este grupo por su alto grado de fracturación.
- ii. Permeabilidad Media a Baja: La formación Mangán se ajusta a esta división.

- **Unidades Litológicas Permeables por Fisuración**

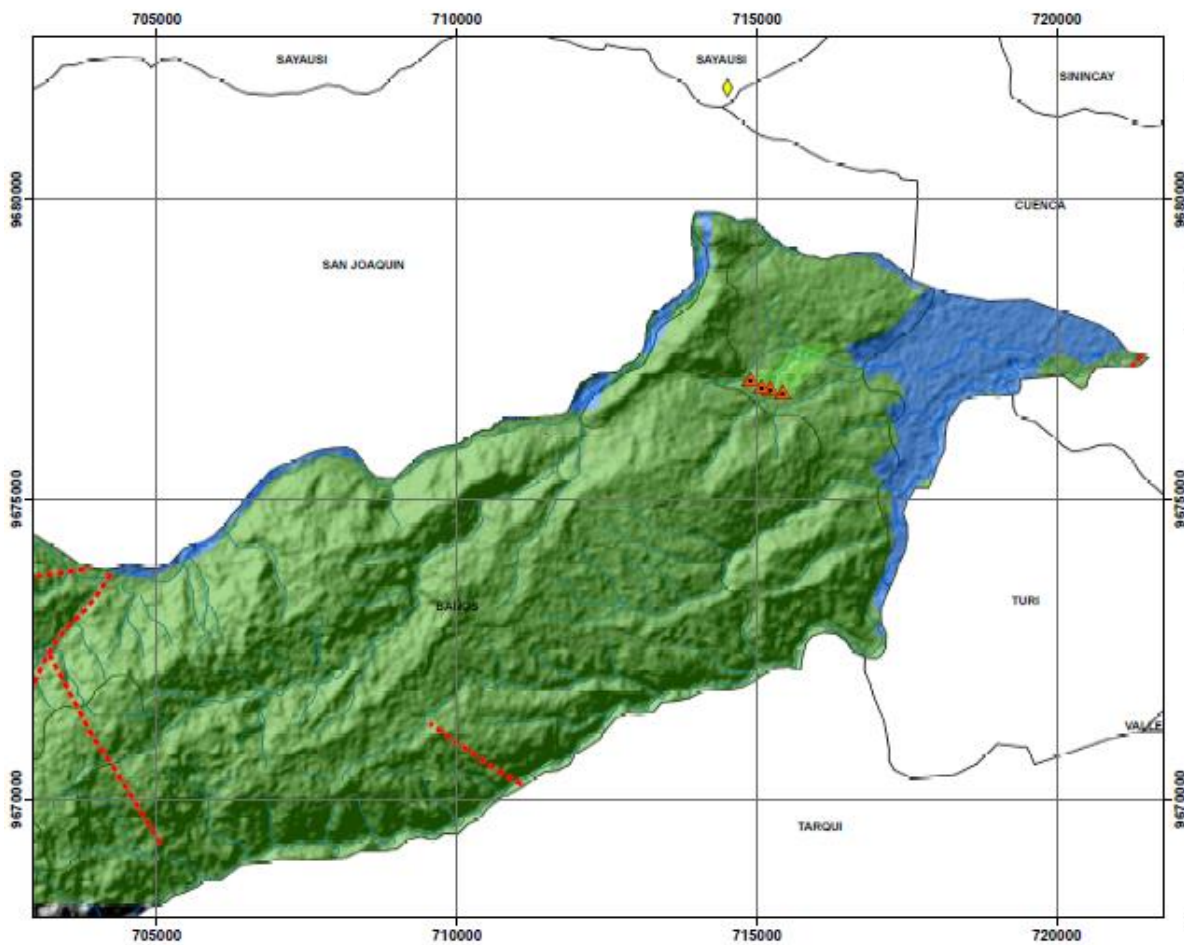
- i. Permeabilidad Media a Baja: Las formaciones Tarqui y Turi que ocupan espacialmente la mayor parte del cantón se encuentran en este grupo, que incluye también al travertino.
- ii. Permeabilidad Baja: La formación Loyola y la formación Yunguilla por su composición sedimentaria y fracturamiento se atribuyen a este grupo, además se ubica a la formación Celica por presentar mantos de rocas volcánicas poco permeables.

- **Unidades Litológicas Prácticamente Impermeables**

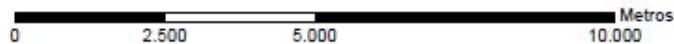
- i. Formación Biblián: Las rocas pertenecientes a esta unidad sedimentaria se ubican en este conjunto.

La representación gráfica de las diferentes unidades hidrogeológicas se observan en el mapa a continuación presentado.

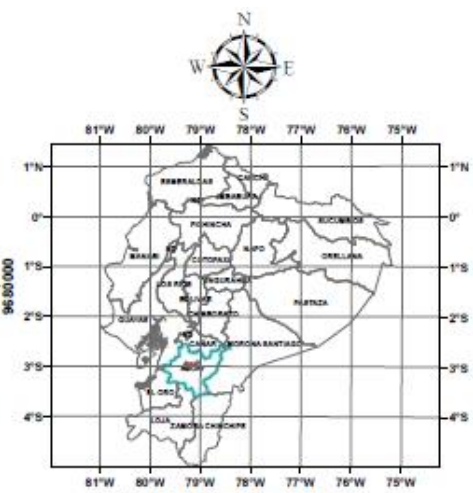
Mapa 16. Mapa hidrogeológico de Baños de Cuenca



ESCALA 1:70.000



DATUM WGS84 - ZONA 17S



SIMBOLOGÍA

- Vertiente termal
- Límite parroquial
- Ríos

LEYENDA HIDROGEOLOGICA			
COLOR	UNIDADES	PERMEABILIDAD	ACUÍFEROS
POROSIDAD PRIMARIA INTERGRANULAR			
	Depósitos Aluviales, Depósitos Coluviales y glaciales, Formación Azuaga	MEDIA-ALTA	Alto rendimiento
	Formación Margal	BAJA	Local, discontinuo
POROSIDAD SECUNDARIA POR FRACTURACION			
	Formación Turi, Formación Caliza y Formación Turi	MEDIA-BAJA	Aprovechable de manera aB
	Formación Loyola y Mangalá, tovenalB	BAJA	Local, discontinuo
IMPERMEABLES			
	Formación Bilitán	Fricción aB impermeable	Generación en Acuíferos

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA

ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA HIDROGEOLOGICO DE BAÑOS DE CUENCA
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION:
FECHA: ENERO 2014	

4.3 MECANISMO DE SURGENCIA DE LAS AGUAS TERMALES

Los sistemas de aguas termales dan lugar al nacimiento de fuentes bajo la influencia de factores hidrogeológicos y físicos, que permiten el ascenso de las aguas a superficie. Entre los factores más importantes (Pinuaga, 2008), se tiene:

- Gradiente hidráulico,
- Expansión del vapor de agua,
- La acción de los gases ocluidos y disueltos,
- La acción de la temperatura,
- La viscosidad.

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

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

Acción de los gases ocluidos y disueltos: Los gases ocluidos y disueltos tienen una doble acción física y dinámica, porque rebajan el peso específico del agua, y también influye en la presión de los gases que combina el agua y provoca su ascenso.

Los gases disueltos y ocluidos actúan sobre la densidad, que a su vez influye sobre la velocidad de flujo, y sobre la relación entre los caudales del gas y del líquido. El papel principal lo juegan dos tipos de gases: el anhídrido carbónico y el vapor de agua.

Acción de la temperatura: La temperatura actúa variando la masa específica del agua y su viscosidad, de forma que si el gradiente de temperatura supera su límite, el fluido existente en el acuífero se hace inestable y tiende a fluir por convección térmica hacia superficie.

Acción de la viscosidad: influye en general en la velocidad de circulación del agua, por lo tanto la viscosidad del agua disminuye al aumentar la temperatura por lo que el coeficiente de permeabilidad aumenta al hacerlo la velocidad de circulación.

4.4 CORRELACIÓN DE DATOS HIDROGEOQUÍMICOS

Las características físico-químicas de las aguas en fuentes termales vienen dada de los terrenos por donde circulan; así, su contenido en sales, su temperatura y las características hidrológicas pueden llegar a ser muy variables, se consideraron 5 fuentes termales donde se tomaron los parámetros físico-químicos dentro de la Cuenca sedimentaria de Cuenca y de las vertientes termales al pie del volcán activo Tungurahua.

4.4.1 Temperatura

Las temperaturas más altas de surgencias termales se encuentran en Baños de Cuenca, en el sector de El Riñón donde se registraron 72°C, históricamente se han registrado temperaturas de 75°C (INERHI 1981), mientras que las de baja temperatura se encuentran en Baños de Agua Santa, en las vertientes de Santa Ana y la Virgen que están en un promedio de 45°C (2013), previo a este estudio se registraron temperaturas de 50 a 55°C (INAMHI, 2010) de estos manantiales, actualmente usadas como complejos turísticos.

En Baños de Cuenca en las fuentes de Agapantos y Piedra de Agua las altas temperaturas de salida son similares entre 48 a 60°C (2013).

4.4.2 pH

El pH de la mayoría de las fuentes termales en Baños de Cuenca se encuentran dentro de la cuenca sedimentaria de Cuenca según estudios realizados por INERHI (1981) el pH varía entre 6,5 a 7,0 y según los análisis efectuados por INAMHI (2013) su pH va de 7,5 a 7,7. Los pH de las fuentes de Cuenca son más altos por estar directamente relacionados con la temperatura, ya que generalmente a mayor temperatura se dan valores más altos de pH.

Mientras que para las fuentes termales en Baños de Agua Santa, el pH de muestras tomadas por INERHI (1977) oscila entre 6 a 6,7 y que en la actualidad los estudios reflejaron pH de 7,67 y 7,4 indicando un aumento de pH en las dos zonas de estudio, y relacionadas probablemente por la influencia de las aguas de escorrentía superficial.

4.4.3 Conductividad

La conductividad de las fuentes termales cercanas al volcán Tungurahua en el sector de Baños de Agua Santa es $> 5,000$ uS/cm, llegando hasta los 6,300 uS/cm registrados en las fuentes del Salado, siendo esto característico de las aguas termales de la zona, asimismo tiene mayor cantidad de sales disueltas en el agua.

Las conductividades más bajas se registran en Baños de Cuenca cuyos valores son $< 3\ 900$ uS/cm, registrados en las fuentes el Riñón y Piedra de Agua, esto es debido probablemente a la poca concentración de iones, pero también es necesario mencionar que disminuye la concentración de sólidos disueltos en estas aguas.

La presencia de Sólidos Suspendidos Totales en el agua está ligada a la Turbidez, en aguas naturales los sólidos pueden ser de naturaleza inorgánica (arcillas, óxidos de hierro y manganeso), como orgánica (material húmico), el origen de estas partículas es diverso y se asocia a la erosión y resuspensión de material de los sedimentos, como también al vertido

de aguas termales. La concentración de los Sólidos Suspendidos Totales en Baños de Agua Santa, sector el Salado es alta y se asocia con la formación del lecho del río Vazcún y por antecedentes de lluvia en la zona, que asociado a la turbulencia queda material suspendido en el agua. En Baños de Cuenca a comparación de Baños de Agua Santa el total de sólidos disueltos es más bajo con valores menores a 4 120.

Se puede concluir que debido a que los valores no sobrepasan los 8,0 de pH, se define que para Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa se presenta un aumento en la alcalinidad.

4.4.4 Dureza

La dureza del agua subterránea de tipo termal (mg/l de CaCO_3) se calculó en base al procedimiento indicado en el apartado del procedimiento del capítulo III dentro de la prospección Hidrogeoquímica, los resultados se indican en la Tabla N.16. Para establecer el tipo de dureza los valores calculados fueron agrupados en base a los criterios de escala de dureza del agua (Tabla N. 21).

Tabla N.21 Resultados de dureza del agua termal de Azuay y Tungurahua

Muestras	Provincia	Vertiente	Tipo
1	Azuay	El Riñon_2013	Muy Dura
2	Azuay	Piedra de Agua_2013	Muy Dura
3	Azuay	Durán S.A_1981	Muy Dura
4	Azuay	Merchan L._1981	Muy Dura
5	Azuay	Susana L._1981	Muy Dura
1	Tungurahua	Salado-2013	Muy Dura
2	Tungurahua	La Virgen-2013	Muy Dura
3	Tungurahua	Illuchi Bajo_Adolfo	Muy Dura
4	Tungurahua	La Virgen_1977	Dura
5	Tungurahua	La Virgen_Domingo Sánchez_1977	Ligeramente Dura
6	Tungurahua	La Virgen_Municipio_1977	Muy Dura
7	Tungurahua	Salado_Gerardo Guevara_sin uso_1977	Muy Dura
8	Tungurahua	Salado_Municipio_1977	Muy Dura
9	Tungurahua	Santa Ana_Dituris_1977	Muy Dura

Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

4.4.5 Salinidad

Con los datos obtenidos de la conductividad eléctrica de los análisis físico-químicos realizados en las diferentes muestras de agua termales inventariadas, se puede establecer que la salinidad es alta típico de las aguas de fuente termal para los sectores de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca.

Es preciso señalar que las aguas termales en la actualidad y en el pasado han sido ingeridas por el ser humano como medicina para diversas enfermedades, lo que es muy riesgoso al no saber qué tipo de minerales y fluidos se consume, el verdadero beneficio que tienen las aguas termales es la balneoterapia que sí produce alivio en ciertas dolencias.

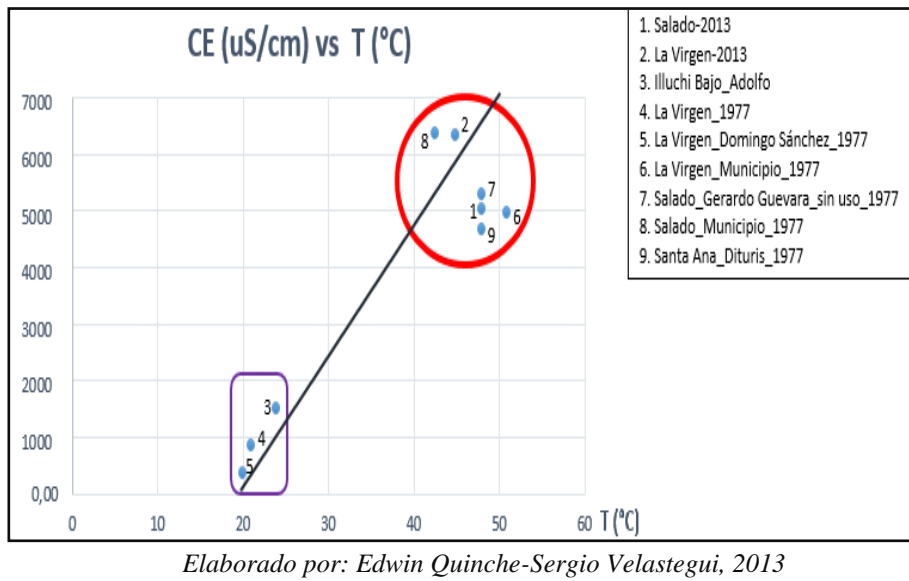
4.5 INTERACCIÓN AGUA-ROCA

Por lo general las aguas subterráneas varían su composición química absoluta en un cierto intervalo entre los períodos secos (máxima concentración) y los períodos húmedos (mínima concentración), pero tienden a presentar un mismo patrón hidrogeoquímico cuando la litología controla el modo de adquisición de la composición química de las aguas. Para el caso de Baños de Cuenca, lo anteriormente citado es fundamental ya que la composición química de las aguas no varía considerablemente, lo que haría pensar que la recarga del acuífero es más regional que local, dando así al agua una mayor interacción agua –roca y por lo tanto una mayor residencia dentro del acuífero. La relación entre los parámetros físico-químicos de Baños de Agua Santa, indican que las aguas termales han sufrido un proceso rápido de interacción agua - roca, ya que este tipo de aguas varían en sus valores al mezclarse con aguas superficiales.

4.5.1 RELACIÓN CONDUCTIVIDAD VS TEMPERATURA

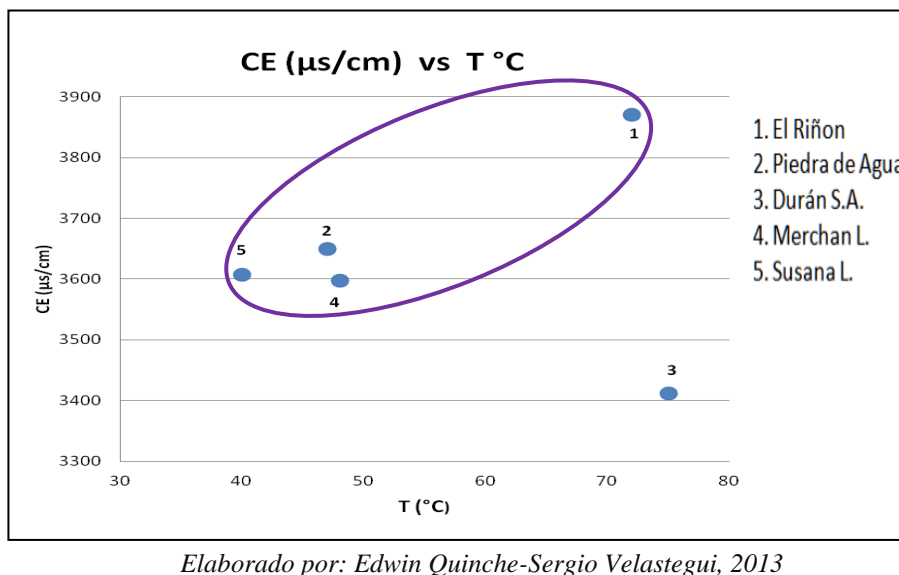
Existe una relación directa entre la conductividad y la temperatura, ya que permite clasificar que las diferentes muestras de agua en Baños de Agua Santa presentan una alta salinidad característica de las manantiales termales que se relacionan a fuentes hipertermales, por lo que estas altas temperaturas ayudan en la disolución de sales provenientes de la pared de rocas.

Figura 24. Relación CE vs Temperatura de las vertientes termales de Baños de Agua Santa



Mientras que para el sector de Baños de Cuenca no existe una relación directa entre conductividad y la temperatura, por ejemplo en la vertiente termal el Riñón evidencian una alta conductividad y una alta temperatura pero en la vertiente Durán S.A. no hay relación entre la temperatura y la conductividad.

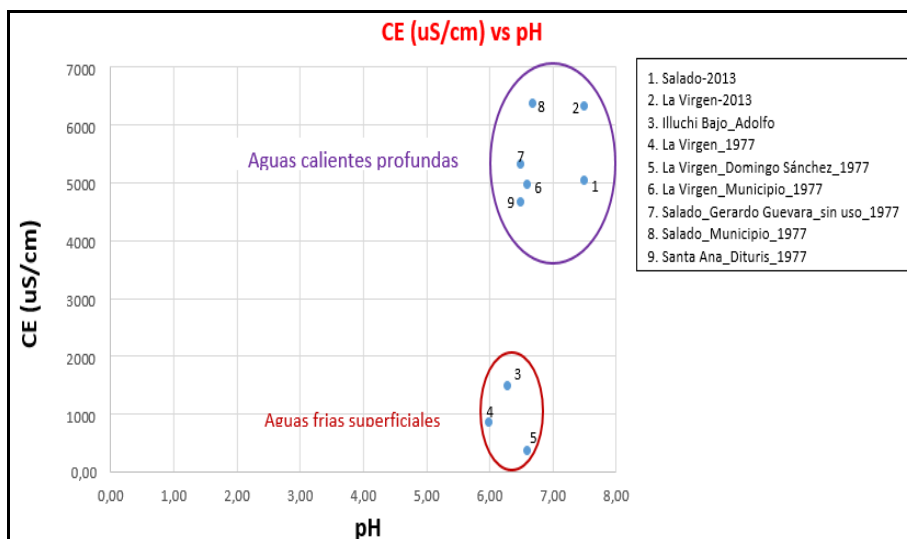
Figura 25. Relación CE vs Temperatura de las vertientes termales de Baños de Cuenca



4.5.2 PH VS LA CONDUCTIVIDAD

Al efectuar la elaboración de los diagramas de la relación ph vs la conductividad (Figura N. 27), permite notar que las aguas termales de Baños de Tungurahua no existe una relación directa entre el ph y su conductividad, es por eso que en Baños de Agua Santa lo que nos indica es que la acidez ($\text{pH} < 7$) es producto de la interacción agua – roca, y que los valores de $\text{pH} > 7$ se debe a que estas termas poseen interacción con las aguas superficiales. Por lo tanto, se determinó que se produce un fenómeno de mezcla de aguas superficiales con aguas hipertermales profundas en Baños de Agua Santa.

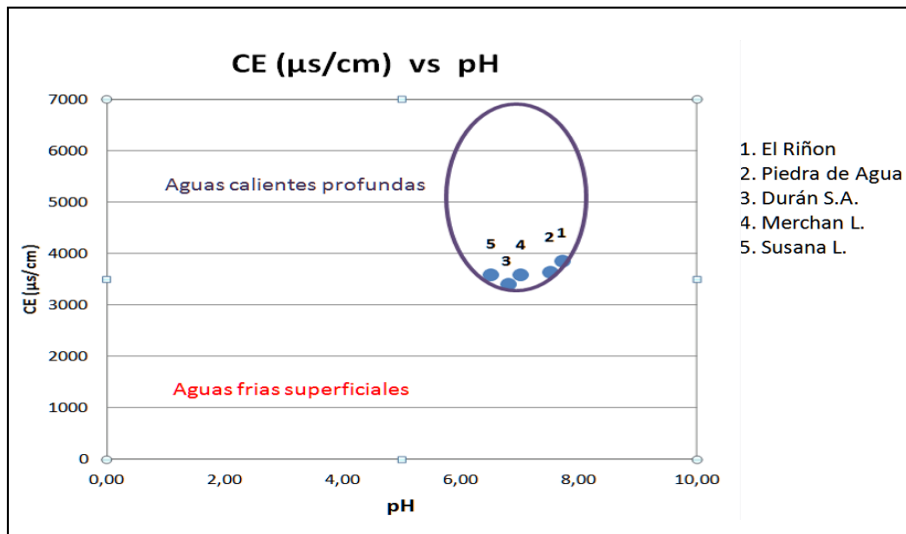
Figura 26. Relación CE vs pH de las vertientes termales de Baños de Agua Santa



Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

Para el caso de las fuentes termales de Baños de Cuenca (Figura N. 28), existe una relación directa entre el pH y la CE, lo que nos indica valor de ph entre 6 a 8, así estas termas tienen interacción agua - roca, por la presencia de un bajo de iones disueltos, provenientes de un mismo tipo de agua como la clorurada sódica.

Figura 27. Relación CE vs pH de las vertientes termales de Baños de Cuenca



Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

4.6 RELACIONES IÓNICAS

Las relaciones iónicas en muchos casos permiten comprender las reacciones fisicoquímicas que afectan a las aguas subterráneas en su camino desde las áreas de recarga hacia los puntos de descarga, y tienen directa relación con los materiales a través de los cuales circula el agua y/o fenómenos modificadores que cambian su composición.

A continuación se presentan las tablas de las principales relaciones iónicas y los valores tomados con respecto al agua de mar y continental, tanto para Baños de Agua Santa como para Baños de Cuenca.

Tabla N.22 Resultados de relaciones iónicas en Baños de Agua Santa

Termas	La Virgen 2013	Salado 2013	Illuchi Bajo Adolfo	La Virgen 1977	La Virgen Domingo Sánchez 1977	La Virgen Municipio 1977	Salado Gerardo Guevara	Salado Municipio 1977	Santa Ana Dituris 1977	OBSERVACIONES
x	787400	785653	789061	786802	787049	790854	785843	785688	788565	
y	9845225	9844452	9845867	9845131	9845039	9844973	9844733	9844733	9845468	
rNa/rK	10,28	8,24	10,92	8,01	6,18	9,27	15,9	14,5	10,82	El valor de esta relación tiende a crecer a medida que aumenta la salinidad, los valores más altos implican la interacción agua-roca, donde tras la alteración de los silicatos existe una sorción preferente del K en los minerales de alteración.
rMg/rCa	3,74	0,85	3,38	3,79	2,74	3,64	4,72	4,99	3,55	Esta relación indica una zona de transición de continental a marina. Detecta fenómenos de intercambio de bases. La relación se incrementa al aumentar la precipitación en la zona (CaCO ₃).
rSO ₄ /rCl	1,6	1,13	3,52	2,86	1,62	0,10	3,29	3,31	0,23	Involucra el aumento de los contenidos de sulfato dependientemente de la concentración de cloruro. Un valor de la relación rSO ₄ /rCl muy elevado para un origen solamente meteórico. Se descarta que elevados contenidos de SO ₄ en están relacionados con contaminación agrícola o industrial, pues no se detectan contenidos importantes de NO ₃ en estas aguas.
rCl/rHCO ₃	0,61	0,86	0,81	0,66	0,57	5,25	2,27	2,46	1,07	Para aguas continentales tienen un rango de 0,1 a 5. Su valor aumenta con el tiempo de residencia en el acuífero

Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

Tabla N.23 Resultados de relaciones iónicas en Baños de Cuenca

Termas	EL RIÑÓN	PIEDRA DE AGUA	DURAN S.A	MERCHAN L.	SUSANA L.	OBSERVACIONES
x	715436	715230	714221	714221	714221	
y	9676797	9676857	9676452	9676452	9676452	
rNa/rK	22,76	17,51	12,01	12,97	18,13	Comprendidos aguas continentales. En general, el valor de esta relación crece en el agua subterránea a medida que aumenta la salinidad.
rMg/rCa	0,39	0,20	0,06	0,19	0,31	Esta relación iónica presenta unos valores que varían entre 0,3-1 para aguas continentales. Las aguas que circulan por terrenos de formación marina o que han sufrido mezcla con el agua del mar presentan una relación elevada.
rSO ₄ /rCl	0,22	0,22	0,13	0,22	0,28	No hay aumento de los contenidos de sulfato independientemente de la concentración de cloruro. Un valor de la relación rSO ₄ /rCl muy elevado para un origen solamente meteórico.
rCl/rHCO ₃	2,25	1,46	3,60	3,66	3,57	Típico de agua continentales valores entre 0.1 - 5. Tiende a aumentar con el tiempo de residencia en el acuífero

Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

4.7 MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

Para determinar el tipo de agua se realizó los diagramas de Tickel, Piper, y Schoeller, en base a las concentraciones de los principales cationes y aniones determinadas en los análisis físico-químicos, a continuación se indica el tipo de agua subterránea presente en cada vertiente de las zonas de estudio.

Tabla N.24 Clasificación de fuentes termales presentes en Baños de Agua Santa

Provincia	Vertiente	Tipo de Agua	Tipo de Fuente
Tungurahua	Salado-2013 (INAMHI)	SULFATADA SODICA	Hipertermal
Tungurahua	Salado_Municipio_1977 (INERHI)	SULFATADA MAGNESICA	Hipertermal
Tungurahua	La Virgen-2013 (INAMHI)	SULFATADA MAGNESICA	Hipertermal
Tungurahua	La Virgen2 (INAMHI)	BICARBONATADA MAGNESICA	Hipertermal
Tungurahua	La Virgen_Municipio1977 (INERHI)	SULFATADA MAGNESICA	Hipertermal
Tungurahua	Santa Ana_2011 (INAMHI)	SULFATADA MAGNESICA	Hipertermal
Tungurahua	Santa Ana_Dituris_1977 (INERHI)	CLORURADA MAGNESICA	Hipertermal

Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

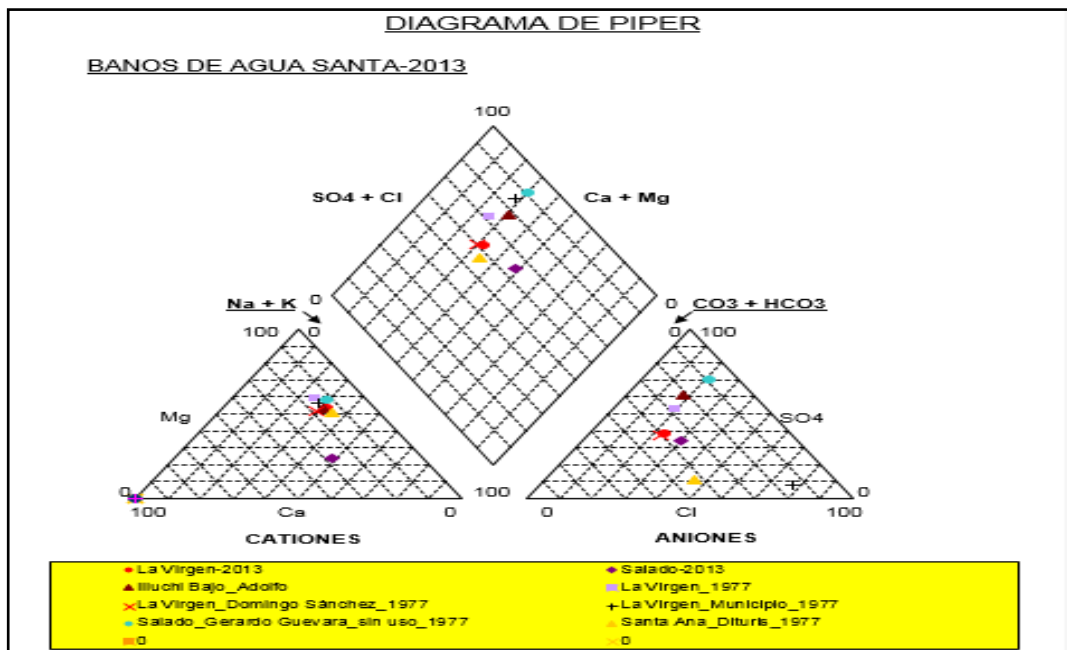
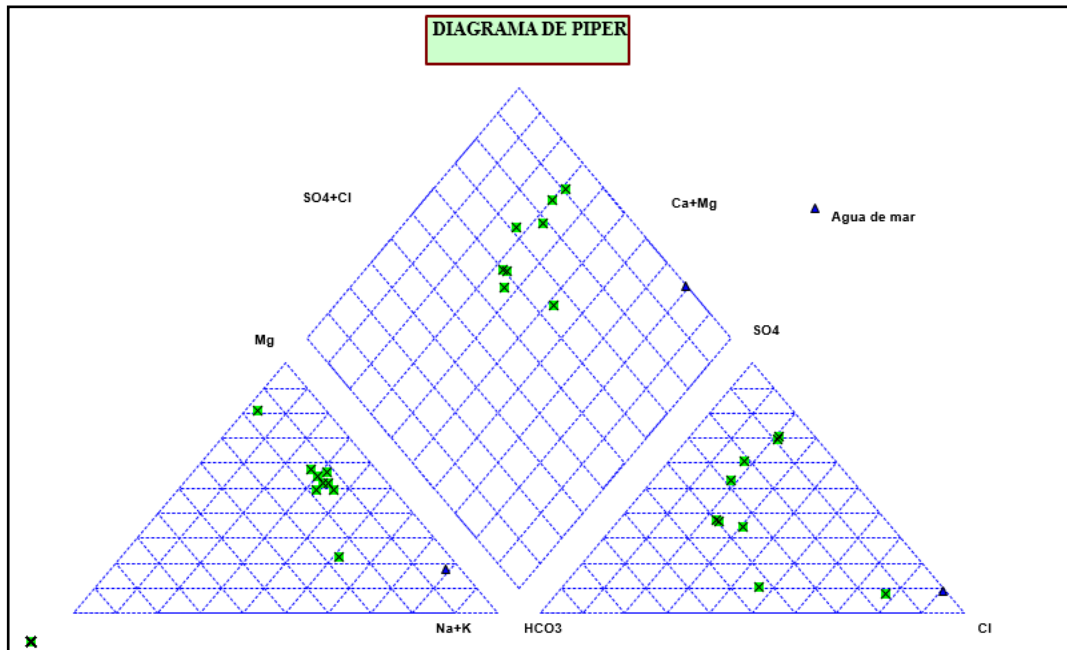
Tabla N.25 Clasificación de fuentes termales presentes en Baños de Cuenca

Muestra	Provincia	Vertiente	Tipo de agua	Tipo de fuente
1	Azuay	El Riñon	CLORURADA SÓDICA	Hipertermal
2	Azuay	Piedra de Agua	CLORURADA SÓDICA	Hipertermal
3	Azuay	Durán S.A	CLORURADA SÓDICA	Hipertermal
4	Azuay	Merchan L.	CLORURADA SÓDICA	Hipertermal
5	Azuay	Susana L.	CLORURADA SÓDICA	Hipertermal

Elaborado por. Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

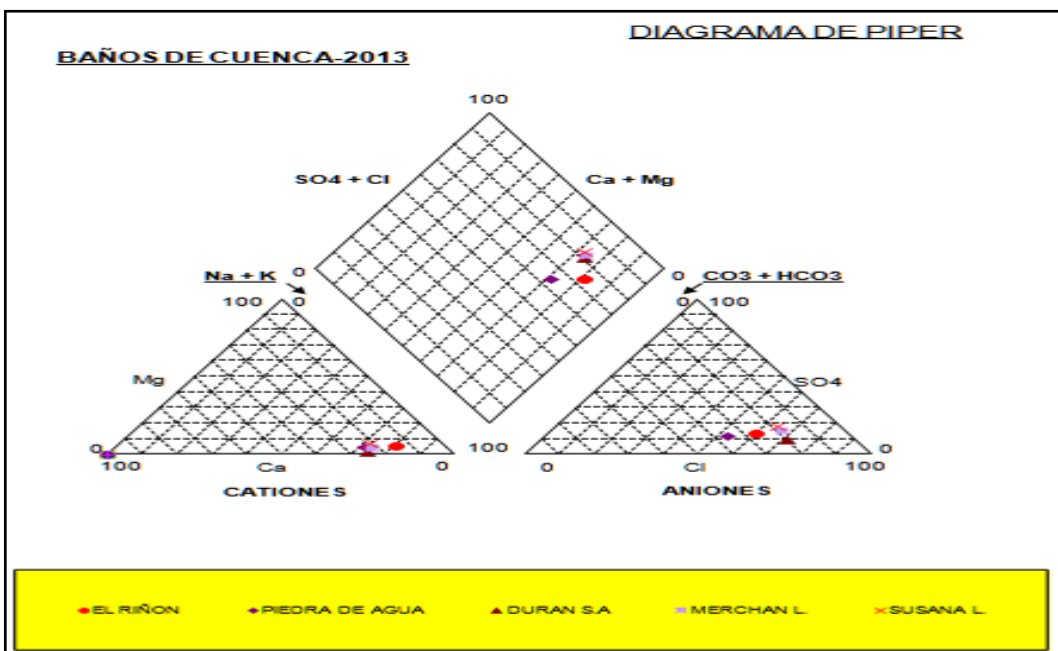
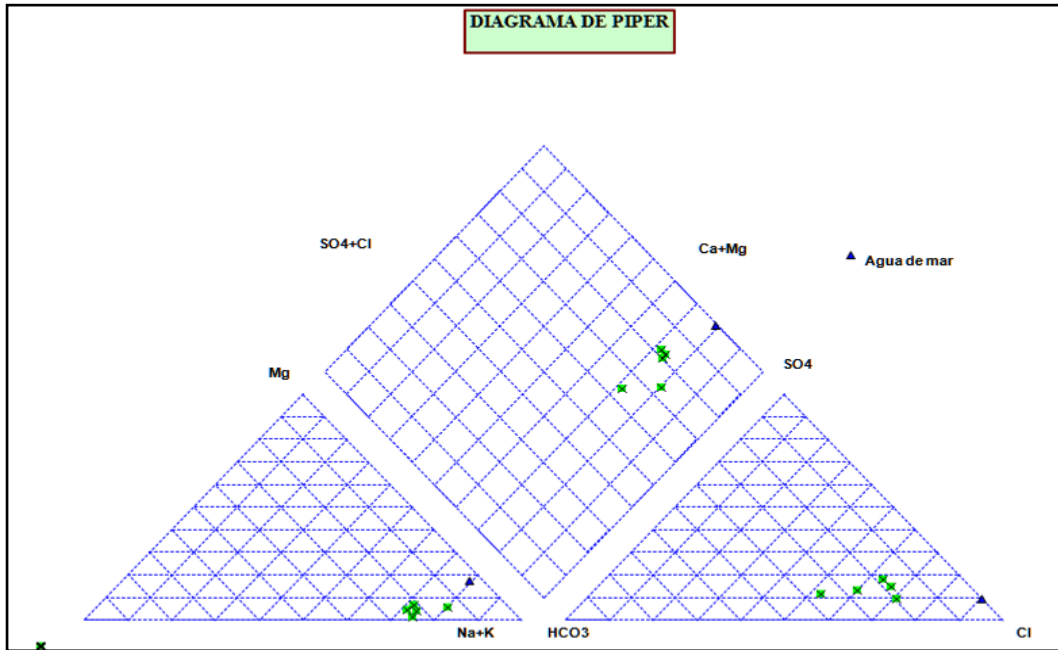
Mientras que en las Figuras 28 y 29 se muestran los Diagramas de Piper para las muestras de agua termal en los lugares de estudio, el tipo de aguas termales se estableció de acuerdo a la interpretación de los diagramas de Piper, indicando el tipo de fluido para el sector de Baños en Tungurahua. Se muestran a continuación los diagramas de Piper, en los cuales se nota una marcada diferencia entre las aguas termales de Baños de Agua Santa que son una mezcla de aguas con fluidos meteóricos y de Baños de Cuenca que son aguas de origen profundo.

Figura 28 Diagrama de Piper de las muestras de agua termal en Baños de Agua Santa



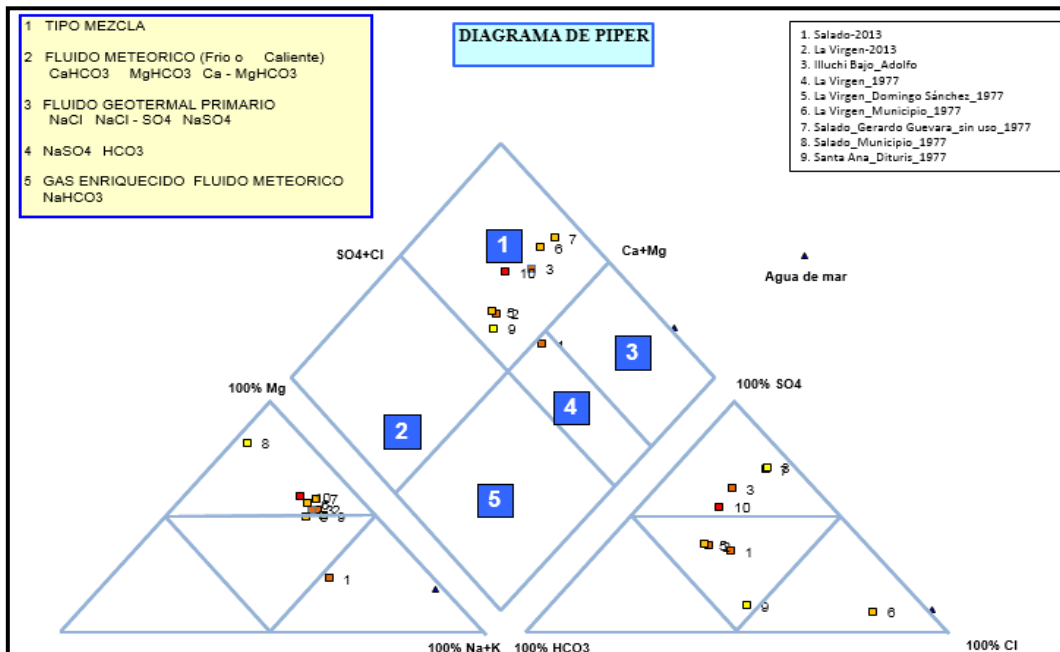
Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Figura 29 Diagrama de Piper de las muestras de agua termal en Baños de Cuenca



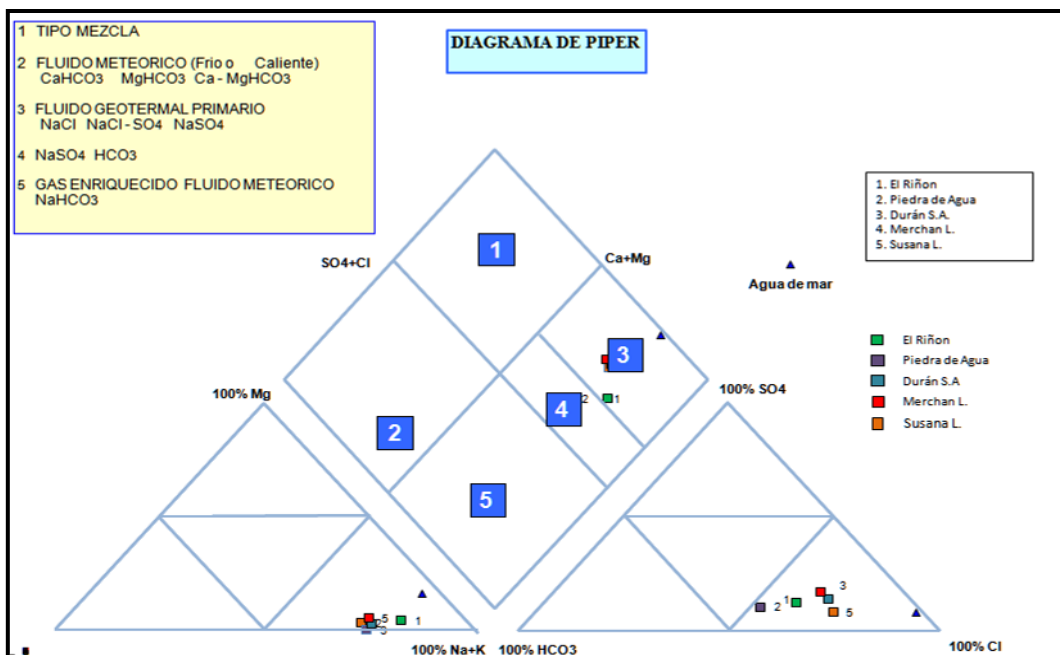
Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Figura 30. Interpretación del Diagrama de Piper y tipos de fluidos presentes en las aguas termales de Baños de Agua Santa



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Figura 31. Interpretación del Diagrama de Piper y tipos de fluidos presentes en las aguas termales de Baños de Cuenca



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Además se realizó los Diagrama de Schoeller para las muestras de cada vertiente termal en los dos sitios de estudio, cuya finalidad fue la comprobación de los tipos de fluidos que se obtuvieron con los resultados de los diagramas de Piper, para finalmente mostrar las muestras de Baños de Agua Santa poseen aguas tipo sulfatadas y las muestras de Baños de Cuenca son fluidos de tipo cloruradas (Figura 32).

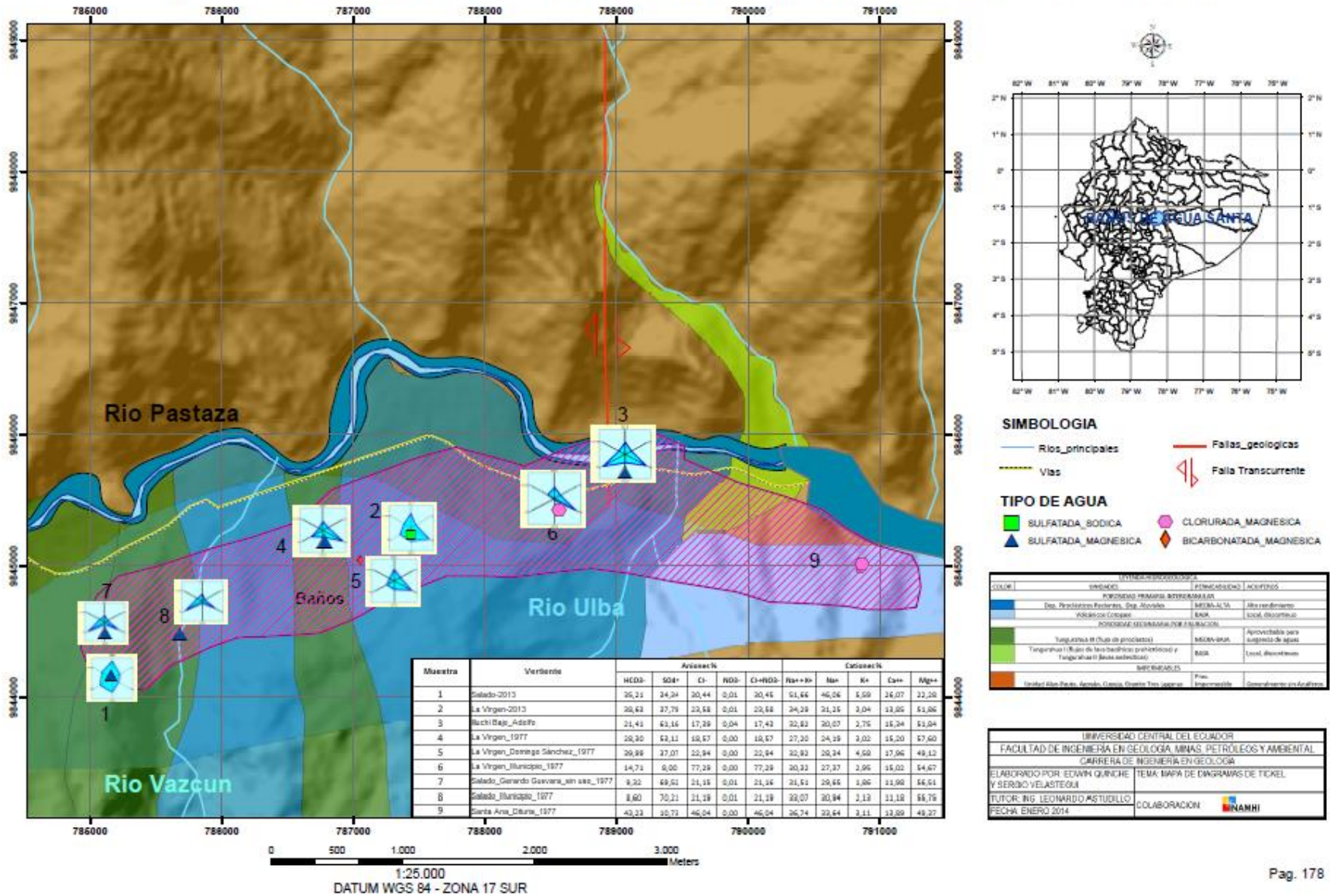
Figura 32. Diagrama de Schoeller de las aguas termales de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca.



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Para establecer la distribución espacial y composición de las aguas termales de Baños de Agua Santa, mismas que están ubicadas al pie del volcán Tungurahua, se elaboró el mapa Hidrogeoquímico con respecto a los resultados del Diagrama de Tickel y se procedió a su respectivo estudio, mientras que para el caso de Baños de Cuenca al no tener una variación en cuanto a composición de las aguas no se elaboró este mapa.

Mapa 17. DIAGRAMAS DE TICKEL PARA CLASIFICACIÓN QUÍMICA EN BAÑOS DE AGUA SANTA



4.8 TIPOS DE AGUAS

4.8.1 Descripción del mapa hidrogeoquímico de Baños de Agua Santa

En las vertientes en Baños de Agua Santa se identificó tipos de agua subterráneas como sulfatadas magnésicas, clorurada magnésica, sulfatada sódica y bicarbonatada magnésica.

En la vertiente localizada en el sector La Virgen muestra que tiene composición sulfatada magnésica; en cambio para las vertientes El Salado-2013 y Salado_Municipio_1977 ubicada más al sur de La Virgen se nota un cambio de composición a sulfatada sódica que se relacionaría con el grupo de fluidos meteóricos.

En las aguas termales ubicada en Santa Ana al oeste del poblado de Baños, se puede observar una evolución del agua subterránea a clorurada magnésica, estas aguas podrían resultar de una mezcla por disolución de los gases volcánicos en las aguas del reservorio. Por lo tanto se tiene dos tipos de fluidos: el primero en el este de Baños con fluidos meteóricos ricos en Mg (HCO_3)₂, mientras que hacia el oeste estos fluidos tienden a evolucionar a fluidos meteóricos enriquecidos en Na.

Mediante la elaboración del Mapa Hidrogeoquímico y del modelo conceptual, se puede mencionar que en la parte este de Baños en los sectores La Virgen y Santa Ana el catión predominante es el Mg²⁺, el cual tiende a disminuir hacia el oeste a igual que el Ca²⁺, mientras que al este de Baños, es decir en la vertiente El Salado, el catión predominante es el Na⁺, por lo tanto el sodio generalmente nos indica mayor permanencia del agua en la vertiente termal, por lo tanto el agua es más antigua mientras nos alejamos de la base del volcán Tungurahua.

Se debe destacar que en las vertientes La Virgen (Domingo Sánchez-1977), indica una composición bicarbonatada magnésica, y según el diagrama de Piper el agua de este acuífero pertenece a fluidos meteóricos enriquecidos en MgHCO₃. Aguas Bicarbonatadas posiblemente calentadas por vapores condensados de origen volcánico asociado a componentes de aguas freáticas.

En base a las concentraciones de iones y cationes, el agua de estas vertientes presentan la mayor concentración de contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} que de los contenidos de (Na^+ , K^+ y HCO_3^- , Cl^-) que las demás vertientes analizadas.

En base al inventario de aguas, en Baños de Agua Santa las vertientes termales El Salado y Santa Ana, presentan cierto alineamiento (NW–SE) y tienen una temperatura aproximada de 45°C , son por lo tanto hipertermales.

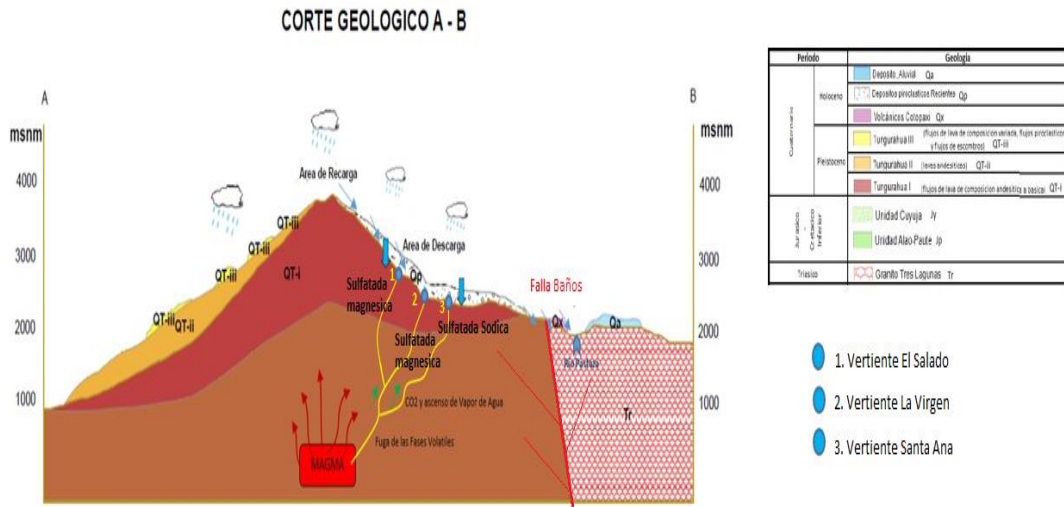
En cuanto que la otra vertiente (La Virgen), cuyo análisis de muestras de aguas, indican una composición sulfatada magnésica, de temperatura aproximada de 48°C (Hipotermal) y según Piper pertenecen al grupo de los fluidos tipo mezcla. Se considera que en esta zona existe un control estructural de la vertiente, dando lugar al ascenso de fluidos termales, los cuales se mezclan con fluidos meteóricos ricos en NaHCO_3 y $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, originando fluidos tipo mezcla, donde estos fluidos termales probablemente se originan de la cámara magmática que alimenta al Tungurahua, facilitando que estas aguas resultaran de una mezcla por disolución de los gases volcánicos en las aguas del reservorio frías de baja conductividad y calentándose por vapores condensados de origen volcánico, y cambiado a una alta conductividad.

Se concluye que las termas ($>40^\circ\text{C}$) ubicadas al este del volcán Tungurahua, se las considera como aguas termominerales de origen mixto. En primer lugar se debe señalar que éste volcán al permanecer activo cronológicamente, éste libero sustancias volátiles que escapen a la superficie y se mezclan constantemente con las aguas meteóricas.

Además se diseñó un modelo conceptual del origen y surgencia de estas vertientes, que emergen desde la unidad paleozoica Agoyán (Pz A), continúan ascendiendo a la superficie interactuando con las lavas andesíticas a basálticas emanadas en el primer evento del Tungurahua (QT-i) y que estuvo acompañada de expulsión de vapores de agua, gas carbónico, nitrógeno, H_2S , HCl y SO_2 . (Ver Figura 34).

El quimismo de estas aguas es condicionado por las manifestaciones volcánicas cuaternarias, sus características litológicas, las condiciones climatológicas e influencia antrópica.

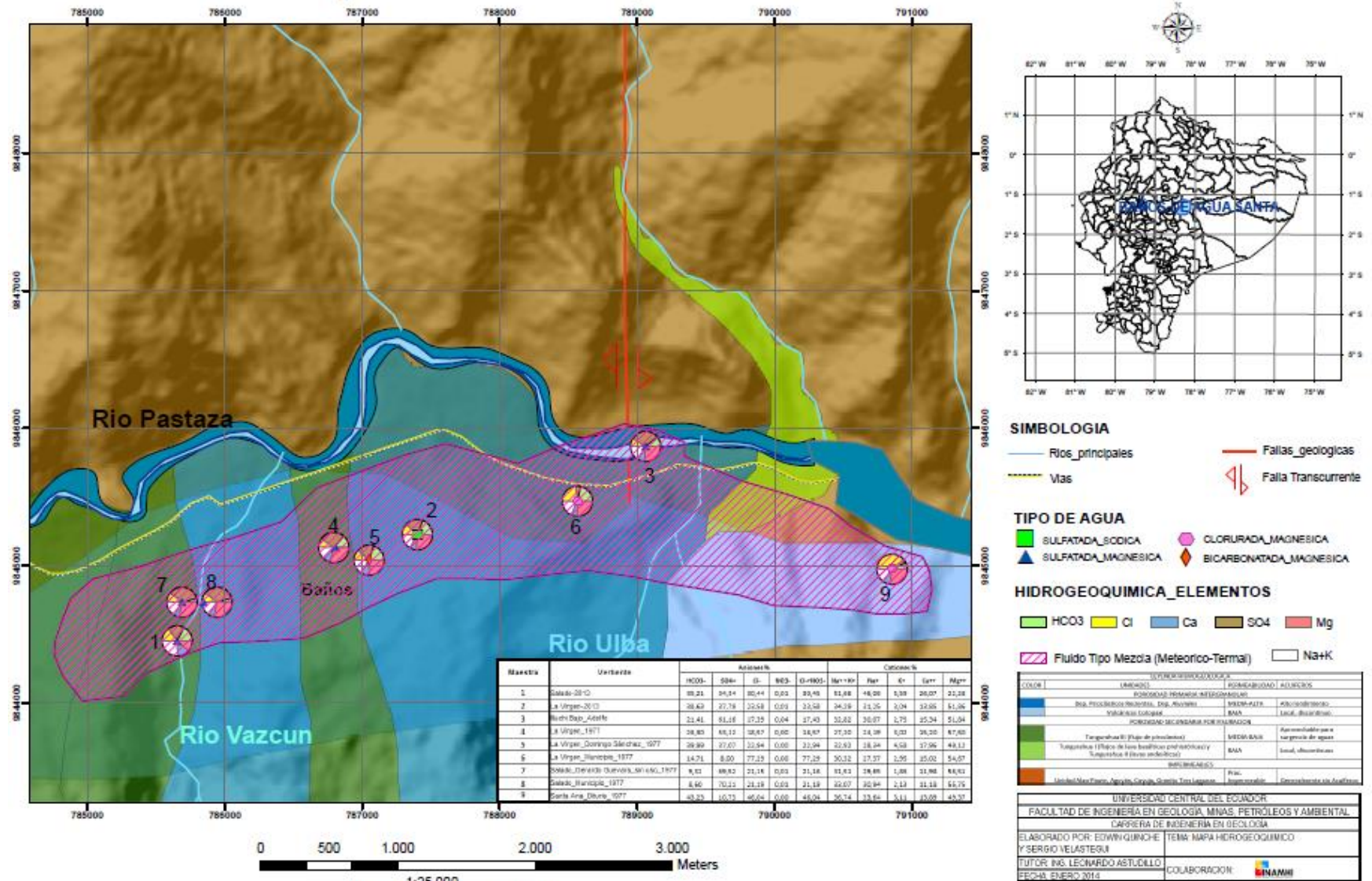
Figura 33. Modelo conceptual de la surgencia de las aguas termales en Baños de Agua Santa



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

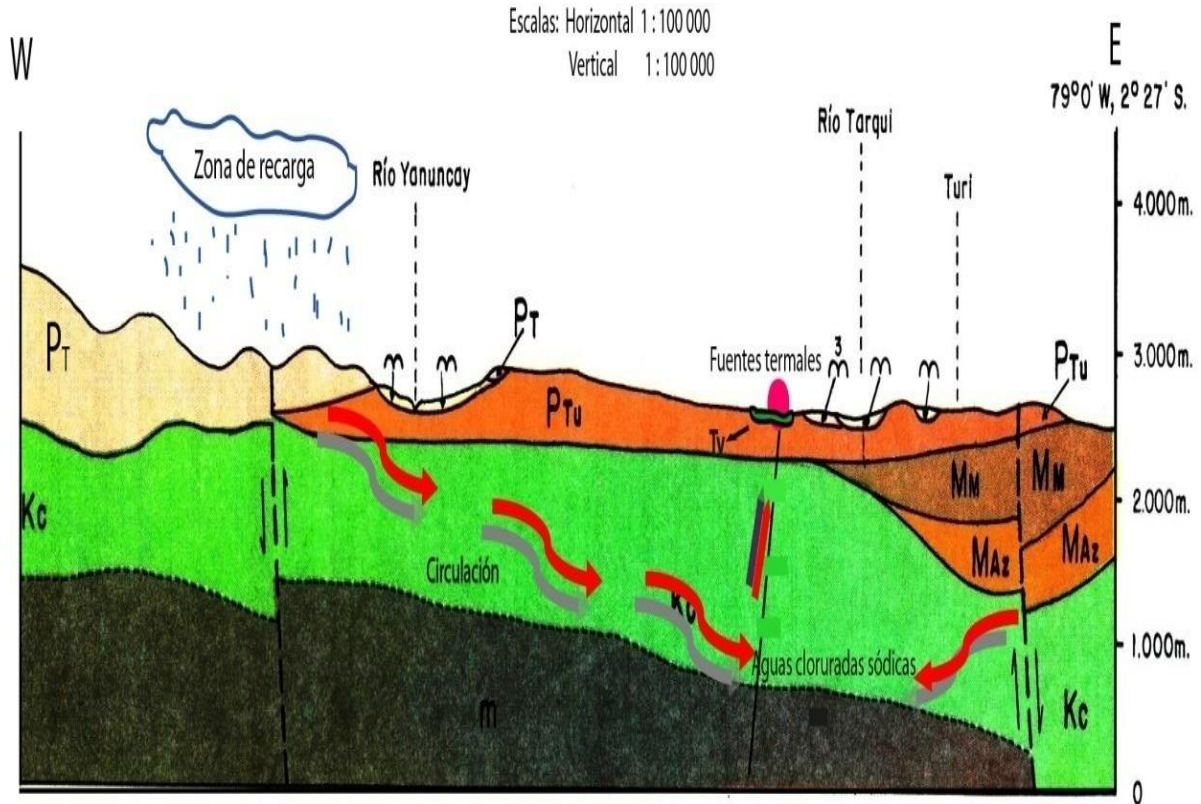
El mapa hidrogeoquímico de baños de Agua santa se presenta a continuación.

Mapa 18. MAPA HIDROGEOQUIMICO DE BAÑOS DE AGUA SANTA



4.8.2 Descripción del mapa hidrogeoquímico de Baños de Cuenca

Figura 34. Modelo conceptual de la surgencia de las aguas termales en Baños de Cuenca



Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

En las vertientes en Baños de Cuenca, el tipo de agua es homogéneo pues las cinco vertientes son cloruradas sódicas, de origen profundo.

La surgencia de las aguas subterráneas de Baños de Cuenca están asociadas a una falla local de dirección N315°/60°SW, que a su vez está asociada a la falla Girón (falla activa) y a las principales fallas del callejón interandino (falla Peltetec y Pallatanga), pues se muestra con una dirección perpendicular a estas.

La fuente de calor para los manantiales termales de Baños de Cuenca está asociada probablemente al antiguo complejo volcánico Quimsacocha, ubicado a 20 Km al suroeste de las manifestaciones termales, por lo que se da un probable flujo de salida lateral de las aguas termales. Este complejo volcánico produjo erupciones de afinidad calco alcalina y una caldera de ignimbritas riolíticas (formación Tarqui), hace unos 5 millones de años.

Cuerpos intrusivos y extrusivos de afinidad dacítica y pórfidos riolíticos han rellenado la caldera hace alrededor de 3.6 millones de años (Beate, 2002), la actividad volcánica no se ha reanudado después de la manifestación de los cuerpos intrusivos. El complejo volcánico Quimsacocha recubre una gruesa capa de sedimentos volcanoclásticos de edad Mioceno tardío (Fm Turi), que a su vez cubre rocas mesozoicas del basamento. Las principales fallas con dirección NE, cortan toda la secuencia y sirven como canales primarios para los fluidos profundos, lo que indica el aumento de la permeabilidad por efectos tectónicos. Probables reservorios y rocas de caja son las rocas volcánicas del Mioceno tardío, así como los volcanoclásticos previamente silicificados de la formación Turi.

Una amplia alteración hidrotermal fósil de alto grado se ha localizado a lo largo del suroeste de Baños de Cuenca, esta incluye silificación y alteración de arcillas, los cuales indican probables antiguas zonas de ebullición profunda. Hoy en día, el sistema es auto-sellado.

Con la elaboración e interpretación del Mapa Hidrogeoquímico y del modelo conceptual se corrobora lo anteriormente citado.

Geoquímicamente se puede mencionar que el catión predominante en la fuente El Riñón es el Na^+ , el cual tiende a disminuir hacia el oeste, de manera diferente se comporta el Ca^{2+} , el que aumenta su concentración hacia el oeste, el Mg^{2+} y el K^+ se comportan de una forma irregular. El sodio generalmente indica una mayor permanencia del agua en profundidad.

El anión que tiene mayor concentración es el Cl^- , que no presenta una tendencia de concentración preferencial, al igual que los nitratos, sulfatos y carbonatos se comportan de igual manera.

Según el diagrama de Piper las aguas termales de Baños de Cuenca pertenecen a los fluidos geotermales primarios con abundante NaCl.

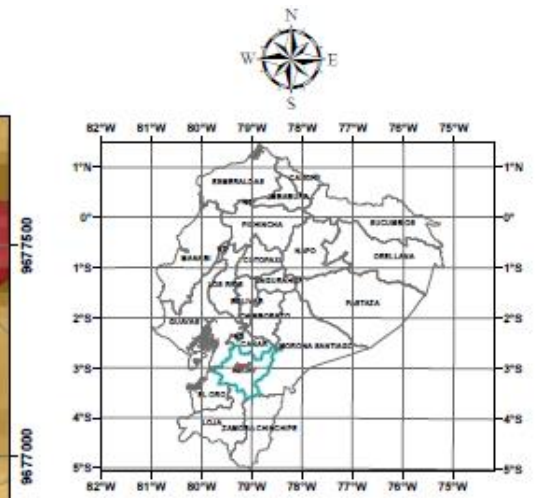
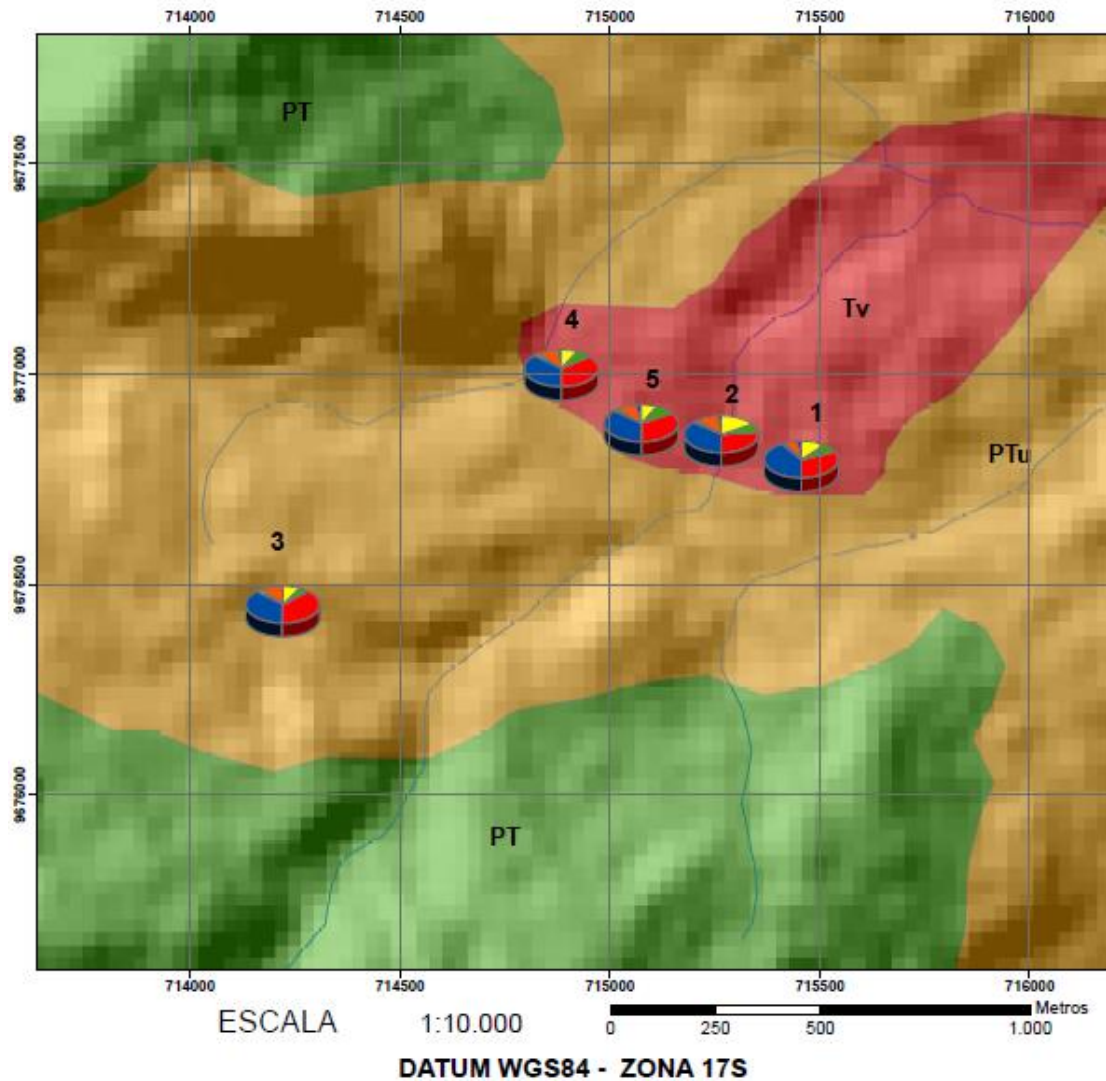
En base al inventario de puntos de agua realizado en la salida de campo, las vertientes de El Riñón, Piedra de Agua, Merchán L. y Susana L. presentan cierto alineamiento (NW–SE) y tienen una temperatura mayor a los 40°C, por ende son hipertermales.

Mientras que la vertiente Durán se encuentra un poco al SW de las anteriores, probablemente por causa de una fractura secundaria que provocó esta surgencia.

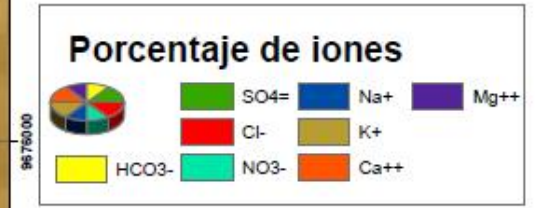
Por lo antes expuesto se define que, en esta zona existe un control estructural de las vertientes, lo que ayuda al ascenso de fluidos termales que se encuentran a profundidad.

Se presenta a continuación el mapa hidrogeoquímico de Baños de Cuenca.

Mapa 19. Mapa hidrogeoquímico de Baños de Cuenca



LEYENDA GEOLÓGICA			
Depósito aluvial	Cantos, gravas y arenas		HOLOCENO
Travertino	Carbonato	Tv	CUATERNARIO
Depósito glacial	Tilita	gt	
Formación Tarqui	Toba, riolita, andesita	Pt	PLESTOCENO
Formación Turi	Areniscas y conglomerados	Ptu	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL	
CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGIA	
ELABORADO POR: EDWIN QUINCHE Y SERGIO VELASTEGUI	TEMA: MAPA GEOQUÍMICO DE BAÑOS DE CUENCA
TUTOR: ING. LEONARDO ASTUDILLO	COLABORACION: INAMHI
FECHA: SEPTIEMBRE 2013	

Tabla N. 26 Tabla de porcentajes de iones en las aguas termales de Baños de Cuenca

Muestra	Numeración	X	Y	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
EL RIÑÓN	1	715436	9676797	26,68	13,23	60,07	0,03	77,00	3,38	14,11	5,51
PIEDRA DE AGUA	2	715230	9676857	35,97	11,46	52,53	0,04	67,50	3,86	23,97	4,68
DURAN S.A	3	714221	9676452	19,69	9,49	70,81	0,01	68,46	5,70	24,29	1,55
MERCHAN L.	4	714890	9677014	18,27	14,93	66,79	0,01	68,55	5,29	22,01	4,16
SUSANA L.	5	715075	9676883	17,97	17,85	64,18	0,01	68,22	3,76	21,37	6,65

Elaborado por: Edwin Quinche - Sergio Velastegui, 2013

Los colores simbolizan a los iones representados en el mapa hidrogeoquímico de Baños de Cuenca.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Una de las principales diferencias genéticas entre las aguas termales de Baños de Agua Santa y Baños de Cuenca es que; en Baños de Agua Santa las manifestaciones termales están asociadas a un volcanismo reciente y activo del volcán Tungurahua, mientras que para Baños de Cuenca estas manifestaciones se asocian a un fuente geotérmica profunda.
- En el cantón Baños de la provincia de Tungurahua actualmente hay 3 fuentes termales que son monitoreadas desde 1977. Dichas fuentes se encuentran localizadas en los flancos NE y S W del volcán Tungurahua, en estas fuentes se han medido distintos parámetros geoquímicos y físicos que pueden ser interpretados como informadores potencialmente útiles de la actividad magmática del volcán aledaño, es decir, que mientras hay ascenso de magma, los cambios en las condiciones subterráneas podrían ser reflejados en las composiciones de los gases y composición química emitidas por las vertientes termales.
- Los fluidos termales al encontrarse con rocas a una determinada temperatura, reaccionan y adquieren una composición físico-química. Así pues, esta composición refleja las condiciones termodinámicas interiores, y de no existir mezclas, su análisis químico permite conocer la temperatura interior del sistema independientemente de la temperatura de salida a la superficie, que puede ser alterada por factores externos.

- Mediante el análisis de las muestras de laboratorio realizadas por el INAMHI, se estudiaron las especies químicas de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), bicarbonatos (HCO_3), cloro (Cl) y sulfatos (SO_4). Adicionalmente se toman datos del pH, temperatura y conductividad de las termas en las dos zonas de estudio. De todo estos parámetros geoquímicos se notaron importantes cambios respecto a los datos, que podrían estar relacionados con aportes magmáticos en las distintas épocas que se realizó el muestreo (Baños de Agua Santa). Las concentraciones de sílice, sodio, potasio, magnesio y bicarbonatos presentes en las fuentes termales crecieron y decrecieron simultáneamente por cambios temporales, igualmente en pH y la conductividad parece haber seguido incrementándose.
- El origen del termalismo en Baños de Cuenca está asociado a movimientos tectónicos y fallamiento, especialmente por la evolución y surgimiento de la cuenca de Cuenca. Las manifestaciones termales se sitúan en los puntos en que las fracturas cortan con las formaciones subyacentes, aunque en muchos casos, el agua ascendente da lugar a múltiples surgencias debido a fracturas superficiales.
- Según el termómetro usado para la determinación de la temperatura en Baños de Agua Santa ésta oscila entre 42 °C y 50 °C según la respectiva vertiente, mientras que para las termas en Baños de Cuenca fluctúan entre 49 y 75°C.
- Tanto las termas de Baños de Tungurahua como las ubicadas en Cuenca son consideradas aguas hipertermales (>40°C), pero a diferencia radica que en Baños de Tungurahua existe un total predominio del Mg^+ sobre los demás cationes y mayor proporción de $(\text{SO}_4)_2^-$, lo contrario a Baños de Cuenca donde hay una superioridad del Na^+ y mayor Cl^- .
- Estas dos zonas del país poseen gran potencial de aguas naturales, minerales y mineromedicinales, cuya explotación para diferentes usos es limitada en la actualidad. Así las aguas sulfatadas magnésicas en Baños de Agua Santa y las aguas cloruradas sódicas de Baños de Cuenca son útiles para la población con finalidad hidroterapéutica y más no para el consumo humano, ni de regadío.

- Las vertientes de las dos zonas de estudio como El Riñón, Piedra de Agua, son mayormente alcalinas porque su pH supera el valor de 7.5; lo que no sucede con las termas de la Virgen y el Salado que constan de pH de 6,8 condicionado por el abundante desprendimiento de Cl⁻ que acompaña las aguas en su salida.
- Los resultados indican que las fuentes termales de Baños de Cuenca, poseen un tipo de dureza que mayormente es muy dura, mientras que en Baños de Agua Santa los resultados indican un tipo de dureza de ligeramente dura a muy dura.
- La parroquia de Baños de Cuenca, cuenta con 5 vertientes de aguas termales subterráneas; las que son aprovechadas y usadas para su uso terapéutico, medicinal y recreacional; estas son: El Riñón, Piedra de Agua, Duran Merchan L. y Susana L. Mientras que en el cantón Baños de Agua Santa actualmente están en uso recreativo solo 3 vertientes como son: La Virgen, El Salado y Santa Ana.
- La relación iónica entre el Na y el K al dar un valor promedio mayor a 1, indica que el agua subterránea de los dos sectores en estudio, es de origen continental.
- La relación iónica entre el Ca y el Mg, en Baños de Cuenca al tener un valor promedio de 0,23., es un indicativo de que son aguas continentales y en Baños de Agua Santa el valor de 3,49 indica una zona de transición de continental a marina y detecta además fenómenos de intercambio de bases.
- Se presenta a continuación una tabla a manera de resumen de los parámetros de diferencia entre las zonas de estudio.

Tabla N. 27 Parámetros de diferencia entre las zonas de estudio

MORFOLOGÍA	
BAÑOS DE CUENCA	BAÑOS DE AGUA SANTA
Se localiza entre la Cordillera Real y Occidental, en el callejón interandino. Dentro de la cuenca del río Paute y Santiago	La zona está ubicada dentro de la Cordillera Real en la cuenca principal del río Pastaza
Cosiste de una topografía propia de productos volcánicos, profundos valles de fondo plano y paredes abruptas de origen glaciario, que superan los 300 m de desnivel relativo.	Muestra una topografía muy accidentada con pendientes de medias a abruptas de hasta 90%, en donde afloran rocas metamórficas, que pertenecen a la Cordillera Real.
La morfología del sector es muy irregular, con valles y elevaciones de gran importancia que van aproximadamente desde los 2.580 m.s.n.m. hasta los 4.200 m.s.n.m. No existe evidencia de volcanismo reciente.	En este sector se localizan grandes edificios volcánicos activos como el volcán Tungurahua con 5.016 m.s.n.m.
HIDROGRAFÍA	
La zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Paute, que cubre aproximadamente 5055.40 km ² en las provincias de Azuay y Cañar.	Esta zona pertenece a la cuenca hidrográfica del río Pastaza, que fluye en dirección al oriente ecuatoriano.
Esta cuenca forma una hoya central entre las cordilleras real y occidental del sur de los Andes ecuatorianos y está limitada al sur por el nudo Portete - Tinajillas y al norte por el nudo del Azuay.	El río Pastaza nace de la Cordillera Real como el resultado de la unión de los ríos Chambo - Patáte, y después constituye el afluente del río Marañón el cual es uno de los tributarios del río Amazonas.
La cuenca se divide en las subcuencas de los ríos Upáno, Balao, Rircay y San Francisco, también en microcuencas del río Yanuncay y Tarqui. Drenajes forman un modelado subdendrítico.	En Baños de Agua Santa perteneciente a la parte alta y media de la cuenca del río Pastaza se mencionan las siguientes subcuencas de los ríos: Topo, Negro, Muyo Verde, Ulba y Puyo. Estos drenajes conforman un modelado de tipo dendrítico a paralelo.
La cuenca de Cuenca produce el 60 % de la energía eléctrica para el país y depende directamente de caudales regulados por los páramos y bosques nativos de la región.	La cuenca del río Pastaza genera el 20% de energía mediante los proyectos hidroeléctricos Agoyán y San Francisco.
GEOLOGÍA	
El área de estudio se ubica dentro de la cuenca de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, limitada al oeste por la Cordillera Occidental y al este por la Cordillera Real, presentando una forma alargada de dirección NNE-SSO, cubriendo un área de aproximadamente 3000 km ² , está formada principalmente por rocas sedimentarias del Terciario.	Baños de Agua Santa se localiza sobre La Cordillera Real que constituye un basamento Precámbrico sobreyacido por cinturones sublineales alargados de rocas metamórficas de edad Paleozoico-Cretácico Inferior, intruidas por granitoides tipo S e I, y que han sido afectadas por una sucesión de eventos tectónicos y magmáticos desde el Mesozoico hasta el Cuaternario.

Las formaciones sedimentarias de la cuenca de Cuenca actualmente son cubiertas discordantemente por depósitos volcánicos, siguiendo un orden geocronológico de las formaciones: Biblián, Loyola, Azogues, Mangán, Turi y Tarqui.	Se identificó unidades litológicas como Agoyán, Cerro Hermoso y Alao-Paute que conforman el basamento y que corresponden a los terrenos litotectónicos Loja, Salado, Alao y el Frente Baños.
Baños de Cuenca se la define como una zona geológica donde se emplazan las aguas termales en superficie a través de fallas profundas, tras las observaciones realizadas en el campo fue posible identificar que las litologías que afloran en el sitio de estudio corresponden a procesos magmáticos y sedimentarios, los que cubren en discordancia a facies sedimentarias antiguas, tanto continentales como marinas intensamente tectonizadas.	La zona de estudio está influenciada por el volcanismo del volcán Tungurahua. Este estrato volcán consta de 3 edificios sucesivos, de los cuales los dos primeros fueron parcialmente destruidos por colapsos sectoriales, mientras que el último evento se caracteriza por una continua actividad eruptiva representada por la generación de flujos de lava de composición variada, flujos piroclásticos, así como moderadas cantidades de material piroclástico. Las aguas termales se mueven dentro de estos productos volcánicos y surgen sin profundizarse.
GEOMORFOLOGÍA	
Baños de Cuenca está situada al interior de un amplio valle fluvial a 2.500 m.s.n.m. en la zona austral de Ecuador, que corresponden a una gran depresión intramontañosa terciaria “la cuenca de Cuenca”, y está afectada por procesos denudativos.	Baños de Agua Santa se encuentra ubicada en las estribaciones de la Cordillera Real, donde presenta geoformas como resultado de la interacción de procesos denudativos y agradacionales.
La naturaleza litológica de los relieves, que la constituyen rocas volcánicas cuyas pendientes y vertientes son muy altas, desde el punto de vista geomorfológico, están muy articuladas con cornisas estructurales y de morfología subvertical, presumiblemente sujetas a deslizamientos en forma de desprendimientos y coluviones localizados en las estribaciones de la cordillera occidental.	A causa de la naturaleza litológica de los relieves, conformadas por rocas metamórficas las cuales presentan relieves montañosos con pendientes muy abruptas, pero también están conformados por rocas volcánicas del volcán Tungurahua que han generado relieves colinados cuyas pendientes son fuertes; siendo susceptibles a deslizamientos de flujo de lodo.
El drenaje superficial se presenta bien desarrollado a causa del bajo grado de permeabilidad de los terrenos, donde confluyen numerosos torrentes que corren al interno de los valles intramontañosos y que contribuyen al flujo hídrico de los cursos de agua principales.	Los drenajes conformados por varios ríos de la zona, han sido influenciados por procesos acumulativos y conformados por la acumulación de material volcánico primario transportado por los flujos de escombros; por lo que la capacidad erosiva y de transporte es bastante acentuada.
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	
Las estructuras geológicas principales presentes en la zona de estudio exponen una tendencia de dirección NE-SW.	La Zona está conformada por terrenos litotectónicos orientados N-S, estos terrenos fueron producto de acreciones acontecidas durante una fase colisional, debido a esfuerzos compresivos E-W.
Se encuentra un importante sistema de fallas, de carácter inverso, llamado “Paccha – Cojitambo”, que muy probablemente constituye la prolongación del conocido sistema de fallas Girón.	Los límites de los terrenos litotectónicos corresponden a fallas transcurrentes dextrales con orientaciones NNE-SSW.

<p>Las estructuras con rumbos secundarios que se encuentran en las cercanías de la zona de estudio tiene edades similares a las fallas regionales y son las siguientes: Fallas del Frente Subandino, Falla de Paute, Falla de Gualaceo, Falla de Tarqui.</p>	<p>Las fallas con rumbos secundarios son tal vez generadas o removidas más recientemente porque están reflejadas con rocas mucho más jóvenes, como las lavas y piroclastos del Tungurahua y que siguen el valle alto del río Pastaza, siendo zonas de fallas tipo inversas que buzanan hacia el oeste.</p>
<p>Las aguas termales de Baños de Cuenca relacionadas probablemente a volcanismo antiguo proceden de una falla geológica de alrededor de 100 metros de longitud, conocida como La Loma de los Hervideros y está a su vez relacionada a la falla regional Girón, con aguas que emergen a la superficie a una temperatura de 75 grados centígrados.</p>	<p>Uno de los rasgos estructurales cerca de las aguas termales es el Frente Baños, que marca un cambio de rocas de origen marino a continental y que presenta un área de milonitización de aproximadamente 2 km de ancho que afecta tectónicamente a las Unidades Metamórficas de Alao-Paute y Agoyán. Las estructuras regionales no inciden en la surgencia termal.</p>
<p>TECTÓNICA Y VOLCANISMO</p>	
<p>Al subducirse la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana se ha formado la gran cordillera Andina, cuyos efectos se extienden hasta 200 km a cada lado de las montañas, esto implica un importante sistema de fallamientos, mayor sismicidad y además va acompañada de una mayor actividad volcánica, aclarando que ambas zonas de estudio son el resultado o están de una u otra forma al proceso subductivo. La única diferencia es que en Baños de Cuenca existe evidencias de un antiguo volcanismo y en Baños de Agua Santa el volcanismo está activo</p>	
<p>HIDROMETEOROLOGÍA</p>	
<p>Cuenca es un ejemplo típico del régimen de lluvias en la Sierra, presenta en efecto, dos máximos de precipitación de 830 mm y de 1257mm.</p> <p>En la zona correspondiente a las subcuencas del río Yanuncay y Tarqui, hasta la altura de Cuenca, las precipitaciones son de orden de 1.200 mm/año y tiene lluvias tanto del régimen oriental como del occidental; de ahí que la distribución de precipitaciones durante el año sea relativamente uniforme. La precipitación media en el sector es de 996,557895 mm.</p>	<p>La precipitación media referencial debido a la diversidad de la topografía de Baños de Agua Santa es de 1.300 mm.</p>
<p>El área de estudio posee un clima templado en épocas de verano o invierno. Varios sitios de la parroquia al ubicarse en zonas elevadas son muy fríos. Es preciso señalar que los cambios de temperaturas medias tanto mensuales como anuales, no son significativas para cada estación, y las variaciones entre ellas están relacionadas con la altitud a la que se encuentran.</p>	<p>El clima en Baños de Tungurahua (prevalece temperatura mayores a 15°C) está afectado por sistemas climáticos occidentales y orientales, que prevalecen en el país. Existen pisos climáticos como el Subtropical que abarca las tierras más bajas y suelos húmedos. El piso Templado comprende praderas interandinas, y el último el piso alto Andino, típico de páramos andinos que se extiende desde el límite anterior hasta los límites de los nevados a 4000 m.s.n.m.</p>
<p>El balance hídrico indica en los meses de enero a mayo existe exceso de agua, señalando que existe una recarga de los acuíferos, esencialmente de la vertiente oriental de la cordillera Occidental; mientras que en los meses de mayo a octubre existe un pequeño déficit; y de</p>	<p>El balance hídrico en Baños, muestra que en los meses de mayo-agosto existe exceso de agua, tiempo en el cual los acuíferos se recargan, fundamentalmente de la vertiente oriental del nevado Tungurahua; mientras que en los meses de enero-noviembre existe un marcado</p>

octubre a diciembre se nota nuevamente un ascenso en el exceso de agua.	déficit.
HIDROGEOLOGÍA	
<ul style="list-style-type: none"> • Unidades Litológicas Permeables por Porosidad Intergranular: i) Permeabilidad Media a Alta: Depósitos Piroclásticos y Depósitos Aluviales. ii) Permeabilidad Media a Baja: La formación Mangán se ajusta a esta división. 	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades Litológicas Permeables por Porosidad Intergranular: i) Permeabilidad Media a Alta: Depósitos Piroclásticos y Depósitos Aluviales (Holoceno). ii) Permeabilidad Media a Baja: Volcánicos Cotopaxi (Holoceno)
<ul style="list-style-type: none"> • Unidades Litológicas Permeables por Fisuración: i) Permeabilidad Media a Baja: Las formaciones Tarqui y Turi, ii) Permeabilidad Baja: La formación Loyola y la formación Yunguilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades Litológicas Permeables por Fisuración: i) Permeabilidad Media a Baja: Evento Tungurahua III. ii) Permeabilidad Baja: Evento Tungurahua II y I (Plio-Pleistoceno)
<ul style="list-style-type: none"> • Unidades Litológicas Prácticamente Impermeables: Formación Biblián 	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades Litológicas Prácticamente Impermeables: Unidad Alao-Paute, Agoyán, Cuyuja (Paleozoico), y Granito Tres Lagunas (Intrusivo).
HIDROGEOQUÍMICA	
Las temperaturas más altas de surgencia termal se encuentran en Baños de Cuenca, en el sector de El Riñón donde se registraron 72°C, históricamente se han registrado temperaturas de 75°C (INERHI, 1981).	Las temperaturas en Baños de Agua Santa, en las vertientes de Santa Ana y la Virgen están entre 42 a 55°C.
El pH según estudios realizados en el año de 1981 varía entre 6,5 a 7,0 y según los análisis efectuados actualmente año 2013 su pH va de 7,5 a 7,7.	Para las fuentes termales en este lugar el pH de muestras tomadas en 1977 oscila entre 6 a 6,7 y que en la actualidad según los estudios su pH van de 7,67 y 7,4.
Las conductividades que se registran en Baños de Cuenca tienen valores promedios de 4090 uS/cm.	La conductividad promedio de las fuentes termales cercanas al volcán Tungurahua son de 5 387 uS/cm llegando hasta los 6560 uS/cm.
En Baños de Cuenca a comparación de Baños de Agua Santa el total de sólidos disueltos es más bajo con valores menores a 4 120.	La concentración de los Sólidos Suspendidos Totales en Baños de Agua Santa, sector el Salado es alta y se asocia con la formación del lecho del río Vazcún y por antecedentes de lluvia en la zona, que asociado a la turbulencia queda material suspendido en el agua.
Para el caso de Baños de Cuenca, la composición química de las aguas no varía considerablemente, lo que haría pensar que la recarga del acuífero es más regional que local, dando así al agua una mayor interacción agua-roca y por lo tanto una mayor residencia dentro del	La relación entre los parámetros físico-químicos de Baños de Agua Santa, indican que las aguas termales han sufrido un proceso rápido de interacción agua-roca, ya que este tipo de aguas varían en sus valores al

acuífero.	mezclarse con aguas superficiales.
La rNa/rK cuyo valor promedio es 16,68.	La rNa/rK da un valor promedio de 10,45.
La rMg/rCa es menor de 0,23.	rMg/rCa con un valor de 3,49.
Mediante los diagramas de Tichel, Piper, Schoeller y en base a las concentraciones de los principales cationes y aniones se determinó que el tipo de agua es clorurada sódica, de un fluido geotermal primario.	Para Baños de Agua Santa los análisis indican un tipo agua producto de una mezcla. El tipo de aguas del sector son sulfatadas.
Las vertientes de El Riñón, Piedra de Agua, Merchán L. y Susana L., presentan cierto alineamiento (NW–SE). En esta zona existe un control estructural de las vertientes, lo que ayuda al ascenso de fluidos termales que se encuentran a profundidad. Una amplia alteración hidrotermal fósil de alto grado se ha localizado a lo largo del suroeste de Baños de Cuenca, esta incluye silisificación y alteración de arcillas, los cuales indican probables antiguas zonas de ebullición profunda.	Las vertientes de La Virgen, El Salado y Santa Ana, se sitúan sobre el tercer evento del Tungurahua (QT-iii), por lo tanto el quimismo de las aguas es condicionado por las características litológicas, aguas meteóricas y primordialmente por la condición magmática del sector.

Elaborado por: Edwin Quinche-Sergio Velastegui, 2013

- La variación de los parámetros físico-químicos de los resultados de los análisis de las muestras efectuados por el INERHI (1977-1981), para Baños de Agua Santa, difieren de los análisis realizados por el INAMHI (2013) debido probablemente a la variación en las condiciones instrumentales y tecnológicas.

5.2 RECOMENDACIONES

- De los resultados que se obtuvieron del estudio de las aguas termales se puede concluir, que éstas indican que las enfermedades que podrían tratarse a partir de la composición química, estén siempre bajo control médico o de un especialista: todo tipo de reumatismos; secuelas de traumatismos, recuperaciones; afecciones crónicas del aparato respiratorio; afecciones de la piel (dermatosis); soriasis (blanqueamiento) y dispepsias en general. Siempre teniendo en cuenta que el tratamiento en aguas termales no cura una afección reumática, pues en las afecciones reumatológicas, no hay curas definitivas, pero alivian los dolores y disminuyen apreciablemente la ingesta de medicamentos¹⁵.
- Dado el carácter excitante y estimulante de las aguas termales, no siempre es recomendable su uso en fases agudas, o brotes de reagudización de algunas enfermedades, como:
 - Úlceras gástricas
 - Cardiopatías descompensadas
 - Hipertensión severa
 - Nefritis
 - Procesos asmáticos en crisis
 - Tuberculosis
 - Distintos tipos de tumores y cáncer
- Se recomienda un muestreo, análisis e interpretación más detallada de las aguas termales y los gases, así como de las rocas con alteración hidrotermal para caracterizar un posible sistema geotérmico y definir las condiciones en profundidad.

¹⁵*Fuente: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS DE LA SIERRA DEL ROSARIO Y ALTURAS DEL MARIEL, Llerena Maritza. Cuba, 2010.*

- Llevar a cabo un estudio de resistividad con el modelo Schlumberger, que consiste en un mapeo subterráneo de las condiciones del reservorio, y una serie de sondeos eléctricos verticales (SEV), para definir la parte superior de un posible reservorio geotérmico, para las dos zonas de estudio.
- Finalmente con los estudios geofísicos, proponer los objetivos de perforación con el fin de llegar a los fluidos calientes en profundidad y determinar si es o no apto para una explotación geotérmica.
- Realizar un monitoreo constante cada 6 meses o cada año, de los parámetros físico-químicos y ambientales en general, para la protección de las aguas termomedicinales. Y socializar sobre el cuidado de estas fuentes con las comunidades aledañas.
- Valorar cualquier actividad antrópica mediante estudios de impacto ambiental en el área, para proteger estos recursos y así propiciar un uso sostenible del mismo.
- Poner en manos de las autoridades adecuadas y dar como propuesta una búsqueda de financiamiento para la construcción y recuperación de balnearios y la utilización de este recurso, que en su mayoría se encuentran subutilizados u otros han de dejado de ser aprovechados por falta de apoyo para su conservación.

CAPITULO VI

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AGUILERA, E. (2010) “GEOTERMIA EN EL ECUADOR: UNA HOJA DE RUTA PARA SU DESARROLLO SUSTENTABLE” Primera Conferencia Nacional de Energía Geotérmica en el Ecuador, pdf.

ARMIJO-CASTRO, F. (1994). Estructura y propiedades físicas, físico-químicas y químicas de las aguas mineromedicinales. En: Curas Balnearias y Climáticas.

Aspden, J. A., Litherland, M., Duque, P., Salazar, E., Bermudez, R.; Viteri, F. (1987). Cinturón de la Cordillera Real, Ecuador, y su posible significación regional.

BELTRAN, Jorge. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Diseño de un sistema de información de análisis de agua. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Unidad Académica de Ambiental. Santafé de Bogotá, 1994.

CLARK, I., & FRITZ, P., 1997: Environmental Isotopes in Hydrogeology. - 328 págs. Lewis Publishers, New York.

CHANGOLUISA, M. y PLAZA V. (2009). Modelación Hidrológica de la Cuenca (alta y media) del Río Pastaza aplicando el Modelo de Simulación WEAP (water evaluation and planning system), Quito.

DELGADO, C (2008) Hidrogeología y Modelación del Acuífero Pifo – El Quinche. Tesis de Grado no publicada, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

DUQUE, P. (2.000). Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador, Recopilación, Sistema de Información Geológica SIM.

FAGUNDO, J (2000) “Fundamentos del Termalismo con Énfasis en la Hidrogeoquímica”.

FAGUNDO J.R. (1990): Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. Efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales, Hidrogeología (Granada).

GENOVÉS, I. (1996). Génesis Geológica e Hidrogeológica de la Surgencia de Aguas Termales en los Baños de Fortuna. Págs. 225-248.

MARTÍNEZ & EMAAP-Q (diciembre, 2005) “Análisis de la Información Hidrogeoquímica de los Valles Tumbaco”. Fase de diagnóstico. Informe de Consultoría. Caracteriza los tipos de agua existentes en la zona y realiza modelos hidrogeoquímicos y quimismo del agua.

MOLINA, P; RUIZ, M (2000) “CAMBIOS TEMPORALES DEL VALOR DE b: ¿POSIBLES CORRELACIONES CON LA ACTIVIDAD HIDROTERMAL DEL VOLCÁN TUNGURAHUA?”, Instituto Geofísico–EPN, Quito-Ecuador.

PACHECO P. (2007) “Clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso y aplicaciones para el túnel de conducción del Proyecto hidroeléctrico San Francisco”, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

STEINMANN, M. (1999). Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission – track approach. *Tectonophysics*. Volumen. 307, págs. 255 – 276.

VILLAGÓMEZ, D (2003) “Evolución geológica Plio-cuaternaria del valle Interandino central en Ecuador”, fortalece los criterios para las definiciones de las formaciones geológicas en la cuenca de Quito.

YÉLAMOS, J. (1998). Hidrogeología del Acuífero del Cretácico de los Manantiales Termales de Alhama de Aragón.

TIRZA, C; VARGAS I. y Badilla E. (2012) “Propiedades Hidrogeoquímicas e isotópicas del agua subterránea en la parte media de la cuenca del río Tulián”, Puerto Cortés, Honduras.

ETAPA; (2.000); "Plan Integral de Manejo y Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Río Paute: ETAPA, Cuenca.

6.2 WEBGRAFÍA

<http://www.inamhi.gob.ec/index.php/conozca-el-inamhi>, 2012 - 10 -15, 14h15

https://sites.google.com/a/hidrogeocol.com.co/carlos_molano, 2012 - 10 -18, 15h26

<http://www.aih-ge.org/recursos.php>, 2012 - 10 -20, 18h54

<http://www.alhsud.com/castellano>, 2012 -10 -24, 09h05

<http://earthexplorer.usgs.gov>, 2012 -10 -27, 17h25

<http://www.geofisica.cl>, 2012 – 10 – 28, 08h00

<http://www.igt-geofisica.com/portada/main.html>, 2010 - 10 -29, 16h12


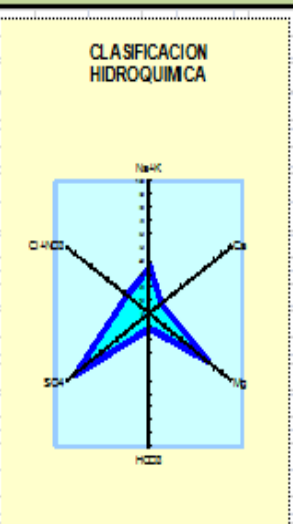


<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#streamflow>, 2013-02-07, 09h40.

<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/VulnerabilidadAcuiferos.htm>, 2013-02-22, 15h30.

7. ANEXOS

ANEXO A. HIDROGEOQUÍMICA DE BAÑOS DE AGUA SANTA


ANEXO A - 1. Diagrama de Tichel de la vertiente de Salado_Municipio_1977 (INERHI)

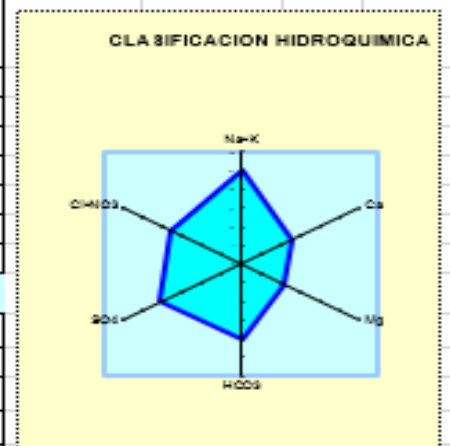
		INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR				RESULTADOS DE LABORATORIO									
FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN										CLASIFICACION HIDROQUIMICA					
INFORMACIÓN BÁSICA															
Cuenca:	Pastaza	H. Topgraf.	Baños	Localidad:	Baños	ANON	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES					
Provincia:	Tungurahua	Longitud X	785688	Propietario:	Municipio Baños (El Salado)	CO3H-	685,00	Na+	904,00	Parámetros					
N°:	100	Latitud Y	9844733	Fecha:	15/07/1977	CO3=	0,0	K+	106,00	pH	6,7				
Tipo:	Vert. Hipertermal	Elevación	1920	Uso:	Recreación (Balneario)	SO4=	4400,0	Ca++	284,00	CE (µs/cm)	6350				
		Proyección:	WGS84			Cl-	982,00	Mg++	857	DUREZA (mg/l)	4235				
 <p style="text-align: center;">GEOLOGÍA</p> <p>Pr (c. azul) Lavas Tungurahua: Basaltos. T3 (c. blanco) Depósitos aluviales de terrazas: rodados, arenas, conglomerados.</p>						NO3-	0,46	NH4+	0,100	TEMPERAT (°C)	42,50				
						NO2	40,000	Fe=	0,31						
<p style="text-align: center;">FOTO</p>						PO4=	2,04								
						<p style="text-align: center;">INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUIMICAS</p>									
<p style="text-align: center;">pH</p> <p style="text-align: center;">T °C</p> <p style="text-align: center;">Q l/s</p> <p style="text-align: center;">CONDUCTIVIDAD</p> <p style="text-align: center;">Tipo</p>						SAR	4,48	r K+/rNa+	0,20						
						SCR	-73,75	r Na+/rCa++	2,06						
								r Mg++/rCa++	4,99						
								r SO4/rCl	3,30						
 <p style="text-align: center;">UBICACIÓN</p>								r Cl/rCO3H	2,47						
						<p style="text-align: center;">OBSERVACIONES:</p>									
<p>ACCESIBILIDAD: Vía Ambato - Baños - Puyo.</p> <p>OBSERVACIONES:</p>						<p>EL AGUA ES: Muy Dura</p>		<p>TIPO DE AGUA</p> <p>SULFATA MAgNESICA</p>							
						<p>PARA CONSUMO HUMANO: No Apta para Consumo Humano</p>						<p>HIPERTERMAL</p>			
<p>AUTORE: N. SUÑIGANO D.</p>						<p>FUENTE DATOS: INERHI-75</p>									

ANEXO A - 2. Diagrama de Tichel de la vertiente de Salado_GerardoGuevara_sin uso_1977 (INERHI)




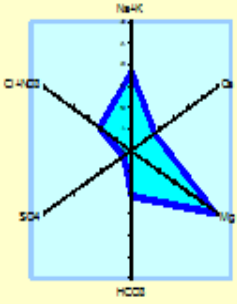
INAMHI		INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR				RESULTADOS DE LABORATORIO									
FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN										CLASIFICACION HIDROQUIMICA					
Cuenca:	Pastaza	H. Topgraf.	Baños	Localidad:	Baños (La Matriz)	ANON	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES					
Provincia:	Tungurahua	Longitud X	785843	Propietario:	Munic. Baños, Gerardo Guevara	CO3H-	620,00	Na+	720,00	Parámetros					
N°:	101	Latitud Y	9844733	Fecha:	15/07/1977	CO3=	0,0	K+	77,00	pH	6,5				
Tipo:	Vert. Hipertermal	Elevación	1915	Uso:	Sin uso	SO4=	3640,0	Ca++	253,00	CE (µs/cm)	5290				
		Proyección:	WGS84		El agua drena al río.	Cl-	819,00	Mg++	722	DUREZA (mg/l)	3600				
INFORMACIÓN BÁSICA										INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUIMICAS					
FOTO	<p>GEOLOGIA Pr (c. azul) Lavas Tungurahua; Basaltos. T3 (c. blanco) Depósitos aluviales de terrazas; rodados, arenas, conglomerados.</p>				SAR	3,87	r K/rNa*	0,19							
					SCR	-62,12	r Na/rCa**	1,84							
							r Mg**/rCa**	4,71							
						r SO4**/rCl	3,28								
						r Cl/rCO3H	2,27								
										OBSERVACIONES:		TIPO DE AGUA SULFATADA MAGNÉSICA HIPERTERMAL			
						EL AGUA ES:	Muy Dura								
						PARA CONSUMO HUMANO:	No Apta para Consumo Humano								
										AUTOR: N. BURGANO O.		FUENTE DATOS: INERHI-79			
ACCESIBILIDAD:										Vía Ambato - Baños - Puyo.					
OBSERVACIONES:															
										UBICACIÓN					

ANEXO A - 3. Diagrama de Tickel de la vertiente de Salado-2013 (INAMHI)


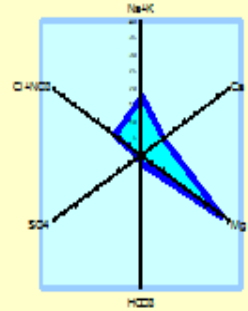

	UBICACIÓN	LONGITUD-X	LATITUD-Y	IDENTIFICACION	COTA
	Banos (Salado)	785653	944452	Municipio de Banos	1930
	FECHA MUESTREO	FECHA ANALISIS	PROPIETARIO	USO	
	18/09/2013	23/09/2013	Sergio Velastegui	Recreacion	
RESULTADOS DE LABORATORIO					
BALANCE IONICO					
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES	
CO3H-	1278,75	Na+	519,20	Parámetros	
CO3=	0,0	K+	107,16	pH	7,5
SO4=	981,3	Ca++	255,49	CE (µs/cm)	6310
Cl-	643,40	Mg++	132,1	DUREZA (mg/l)	1181
NO3-	0,20	NH4+	0,307	TEMPERAT (°C)	45,00
NO2	0,050	Fe ⁻	<0,5		
PO4=	0,665	Mn ⁻	0,472		
OTRAS DETERMINACIONES					
Turbidez	10,9		Cobre	<0,024	
Color	6		Cromo	<1	
Alcalinidad	1278,75		Plomo	<1	
STD	4082,57		SiO2	146,75	
CO2	88,438		Mn	0,472	
OBSERVACIONES:					
TIPO DE AGUA					
HIPERTERMAL					
SULFATADA SODICA					
AUTOR: N.BURBANO O				FUENTE INAMHI-2012	





ANEXO A - 4. Diagrama de Tichel de la vertiente de Santa Ana_Dituris_1977 (INERHI)

 INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR		FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN				RESULTADOS DE LABORATORIO																													
		Cuenca: Pastaza	H. Topgraf.: Baños	Localidad: Baños (La Matriz)				ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES																							
Provincia: Tungurahua	Longitud X: 788565	Propietario: DITURIS.				CO3H-	635,00	Na+	452,00	Parámetros																									
N°: 106	Latitud Y: 9845468	Fecha: 03/08/1977				CO3=	0,0	K+	71,00	pH	6,5																								
Tipo: Vert.Hipertermal	Elevación: 1750	Uso: Recreación.				SO4=	124,0	Ca++	162,32	CE(µs/cm)	4656																								
	Proyección: WGS84					Cl-	393,61	Mg++	348,99	DUREZA (mg/l)	1840																								
INFORMACIÓN BÁSICA																																			
FOTO																																			
	GEOLOGÍA T± (c.blanco) Depósitos aluviales de terrazas: rodados, arenas, conglomerados. P± (c.azul) Lavas Tungurahua: Basaltos.																																		
		pH	T °C	Q l/s	CONDUCTIVIDAD																														
		6,5	48	0,7	4656																														
		Tipo Clorurada-Magnésica.Por su temperatura: Hipertermal.																																	
																																			
UBICACIÓN																																			
ACCESIBILIDAD:		Vía Ambato - Baños - Puyo.																																	
OBSERVACIONES:																																			
EL AGUA ES: Muy Dura																																			
PARA CONSUMO HUMANO:						No Apta para Consumo Humano																													
AUTOR: N. BURSANO G.						FUENTE DATOS: INERHI-79																													
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUÍMICAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SAR</td> <td>3,40</td> <td>r K+/rNa+</td> <td>0,27</td> </tr> <tr> <td>SCR</td> <td>-26,53</td> <td>r Na+/rCa++</td> <td>1,80</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>r Mg+/rCa++</td> <td>3,55</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>r SO4-/rCl-</td> <td>0,23</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>r Cl-/rCO3H</td> <td>1,07</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> CLASIFICACION HIDROQUÍMICA  </div> </div>												INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUÍMICAS				SAR	3,40	r K+/rNa+	0,27	SCR	-26,53	r Na+/rCa++	1,80			r Mg+/rCa++	3,55			r SO4-/rCl-	0,23			r Cl-/rCO3H	1,07
INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUÍMICAS																																			
SAR	3,40	r K+/rNa+	0,27																																
SCR	-26,53	r Na+/rCa++	1,80																																
		r Mg+/rCa++	3,55																																
		r SO4-/rCl-	0,23																																
		r Cl-/rCO3H	1,07																																
TIPO DE AGUA																																			
CLORURADA MAGNÉSICA																																			
HIPERTERMAL																																			


ANEXO A - 5. Diagrama de Tickel de la vertiente de La Virgen_Municipio_1977 (INERHI)

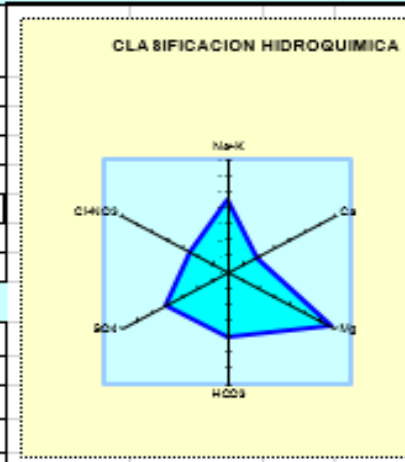
INAMHI		INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR				RESULTADOS DE LABORATORIO						
FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN												
Cuenca:	Pastaza	H. Topgraf.	Baños	Localidad:	Baños (La Matriz)	ANON	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES		
Provincia:	Tungurahua	Longitud X	790854	Propietario:	Municipio de Baños	CO3H-	145,00	Na+	420,00	Parámetros		
N°:	102	Latitud Y	9844973	Fecha:	03/08/1977	CO3=	0,0	K+	77,00	pH	6,6	
Tipo:	Vert.Hipertermal	Elevación	1855	Uso:	Recreación	SO4=	62,0	Ca++	200,40	CE (µs/cm)	4940	
		Proyección:	WGS84			Cl-	443,25	Mg++	441,41	DUREZA (mg/l)	2315	
INFORMACIÓN BÁSICA						NO3-	0,00	NH4+	0,100	TEMPERAT (°C)	51,00	
FOTO						INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUÍMICAS						
	GEOLÓGIA T3 (c.blanco) Depósitos aluviales de terrazas: rodados, arenas, conglomerados. Pr1 (c.azul) Lavas Tungurahua: Basaltos.					SAR	2,81	r K/rNa+	0,32			
pH					T °C	Q l/s	CONDUCTIVIDAD					
6,6					51	4,1	4940					
Tipo					Clorurada-Magnésica.Por su temperatura:Hipertermal.			r Mg++/rCa++				3,64
								r SO4/rCl-				0,10
					OBSERVACIONES:							
UBICACIÓN					EL AGUA ES:		Muy Dura		TIPO DE AGUA			
ACCESIBILIDAD: Vía Ambato - Baños - Puyo.					PARA CONSUMO HUMANO:		No Apta para Consumo Humano		CLORURADA MAGNÉSICA			
OBSERVACIONES:					AUTOR:		N. BURBANO O.		FUENTE DATOS: INERHI-79			
									HIPERTERMAL			

ANEXO A - 6. Diagrama de Tickel de la vertiente de La Virgen (INAMHI)



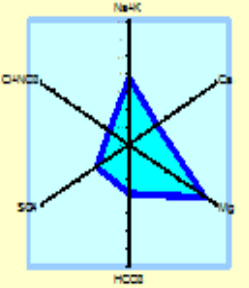
INAMHI		INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR				RESULTADOS DE LABORATORIO					
FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN						CLASIFICACION HIDROQUIMICA					
Cuenca:	Pastaza	H. Topgraf	Baños	Localidad:	Baños (La Matriz)	ANON	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES	
Provincia	Tungurahua	Longitud X	786802	Propietario	Municipio de Baños	CO3H-	130,00	Na+	66,00	Parámetros	
N°:	104	Latitud Y	9845131	Fecha:	03/08/1977	CO3=	0,0	K+	14,00	pH	6,0
Tipo:	Vert. Hipotermal	Elevación	1840	Uso:	Recreación	SO4=	192,0	Ca++	36,07	CE (µs/cm)	847
		Proyección	WGS84			Cl-	49,64	Mg++	82,69	DUREZA (mg/l)	430
INFORMACIÓN BÁSICA FOTO 						NO3-	0,01	NH4+	0,150	TEMPERAT (°C)	21,00
						PO4=	0	Fe=	0		
GEOLOGÍA T3 (c.blanco) Depósitos aluviales de terrazas: rodados, arenas, conglomerados. Pr1 (c.azul) Lavas Tungurahua: Basaltos.						INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUIMICAS					
						SAR	1,03	r K+/rNa+	0,37		
pH 6 T° C 21 Q lts 14 CONDUCTIVIDAD 847 Tipo Sulfatada-Magnésica. Por su temperatura: Hipotermal						SCR	-6,50	r Na+/rCa++	1,18		
								r Mg++/rCa++	3,79		
								r SO4//rCl-	2,85		
								r Cl-/rCO3H	0,66		
UBICACIÓN ACCESIBILIDAD: Vía Ambato - Baños - Puyo. OBSERVACIONES:						OBSERVACIONES:					
						EL AGUA ES: dura					
TIPO DE AGUA SULFATADA MAGNÉSICA HIPOTERMAL						PARI CONSUMO HUMANO: No Apta para Consumo Humano					
						AUTOR: R. SUÑIBANGO C. FUENTE DATOS: 7825-75					

ANEXO A - 7. Diagrama de Tickel de la vertiente de La Virgen_2013 (INAMHI)


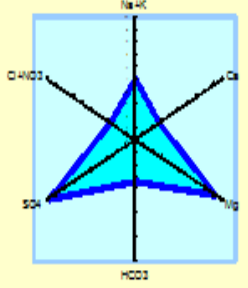
	UBICACIÓN	LONGITUD-X	LATITUD-Y	IDENTIFICACION	COTA
	Banos (La Virgen)	787400	9845225	Municipio de Banos	1832
	FECHA MUESTREO	FECHA ANALISIS		PROPIETARIO	USO
	14/09/2013	23/09/2013		Sergio Velastegui	Recreacion
RESULTADOS DE LABORATORIO					
BALANCE IONICO					
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES	
CO3H-	1277,82	Na+	471,20	Parámetros	
CO3=	0,0	K+	77,95	pH	7,5
SO4=	983,5	Ca++	181,60	CE (µs/cm)	5010
Cl-	453,89	Mg++	411,4	DUREZA (mg/l)	2146
NO3-	0,20	NH4+	0,420	EMPERAT (°C)	48,00
NO2	0,050	Fe ⁻	<0,5		
PO4=	0,598	Mn ⁻	0,151		
OTRAS DETERMINACIONES					
Turbidez	25,3	Cobre	<0,024		
Color	13	Cromo	<1		
Alcalinidad	1277,82	Plomo	<1		
STD	3241,47	SiO2	205,25		
CO2	76,94	Mn	0,151		
OBSERVACIONES:					
TIPO DE AGUA					
HIPERTERMAL					
SULFATADA MAGNESICA					
AUTOR: N.BURBANO O.				FUENTE: INAMHI-2012	



ANEXO A - 8. Diagrama de Tickel de la vertiente de La Virgen_Domingo Sánchez_1977 (INERHI)

INAMHI		INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR				RESULTADOS DE LABORATORIO					
FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN											
Cuenca:	Pastaza	H. Topgraf.	Baños	Localidad:	Baños (La Matriz)	ANON	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES	
Provincia	Tungurahua	Longitud X	787049	Propietario:	Domingo Sánchez	CO3H-	85,00	Na+	40,00	Parámetros	
N° :	105	Latitud Y	9845039	Fecha:	03/08/1977	CO3=	0,0	K+	11,00	pH	6,6
Tipo:	Vert. Hipotermal	Elevación	1850	Uso:	Recreación. Comercialización de agua con gas para bebida.	SO4=	62,0	Ca++	22,04	CE (µs/cm)	353
		Proyección:	WGS84			Cl-	28,37	Mg++	36,48	DUREZA (mg/l)	205
INFORMACIÓN BÁSICA						NO3-	0,00	NH4+	0,050	TEMPERAT (°C)	20,00
FOTO	 <p>GEOLOGÍA T (c.blanco) Depósitos aluviales de terrazas: rodados, arenas, conglomerados. P (c.azul) Lavas Tungurahua: Basaltos.</p>					INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUÍMICAS					
						SAR	0,90	r K ⁺ /rNa ⁺	0,48		
						SCR	-2,72	r Na ⁺ /rCa ⁺⁺	1,17		
								r Mg ⁺⁺ /rCa ⁺⁺	2,73		
								r SO4 ⁼⁼ /rCl ⁻	1,61		
								r Cl ⁻ /rCO3H	0,57		
						OBSERVACIONES:					
						EL AGUA ES:	Ligeramente Dura				
						PARA CONSUMO HUMANO: No Apta para Consumo Humano					
						AUTOR: N. BURBANO G.					
						FUENTE DATOS: INERHI-72					
 <p>UBICACIÓN</p>						CLASIFICACION HIDROQUÍMICA					
											
ACCESIBILIDAD: Vía Ambato - Baños - Puyo.						TIPO DE AGUA					
OBSERVACIONES:						BICARBONATA DA MAGNÉSICA					
						HIPOTERMAL					

ANEXO A - 9. Diagrama de Tickel de la vertiente de Illuchi Bajo_Adolfo (INERHI)

		INVENTARIO FUENTES TERMO MINERALES DEL ECUADOR				RESULTADOS DE LABORATORIO										
		FICHA INDIVIDUAL DE LOCALIZACIÓN														
Cuenca:	Pastaza	H. Topgraf.	Baños	Localidad:	Baños (La Matriz)	ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES						
Provincia	Tungurahua	Longitud X	789061	Propietario:	Adolfo Herdoiza	CO3H-	210,00	Na+	122,00	Parámetros						
N° :	107	Latitud Y	9845867	Fecha:	03/08/1977	CO3=	0,0	K+	19,00	pH	6,3					
Tipo:	Vert. Hipotermal	Elevación	1730	Uso:	Recreación privada.	SO4=	472,0	Ca++	54,11	CE (µs/cm)	1482					
		Proyección:	WGS84			Cl-	99,29	Mg++	110,66	DUREZA (mg/l)	590					
INFORMACIÓN BÁSICA						NO3-	0,40	NH4+	0,040	TEMPERAT (°C)	24,00					
						NO2	0,000	Fe=	0							
						PO4=	0									
						INDICES Y RELACIONES HIDROGEOQUIMICAS										
						SAR	1,62			r K ⁺ /r Na ⁺	0,27					
SCR	-8,40			r Na ⁺ /r Ca ⁺⁺	1,46											
				r Mg ⁺⁺ /r Ca ⁺⁺	3,38											
				r SO4 ²⁻ /r Cl ⁻	3,51											
				r Cl ⁻ /r CO3H ⁻	0,81											
FOTO						CLASIFICACION HIDROQUIMICA										
																
UBICACIÓN						OBSERVACIONES:										
						EL AGUA ES: Muy Dura										
ACCESIBILIDAD: Vía Ambato - Baños - Puyo.						TIPO DE AGUA										
						Sulfatada-Magnésica. Por su temperatura: Hipotermal.										
OBSERVACIONES:						PARA CONSUMO HUMANO: No Apta para Consumo Humano										
						AUTOR: N. BURBANCO										
						FUENTE DADOS: INERHI										


ANEXO A – 10. Resultados de los análisis físico-químicos de las Muestras de Agua Termal en Baños de Agua Santa

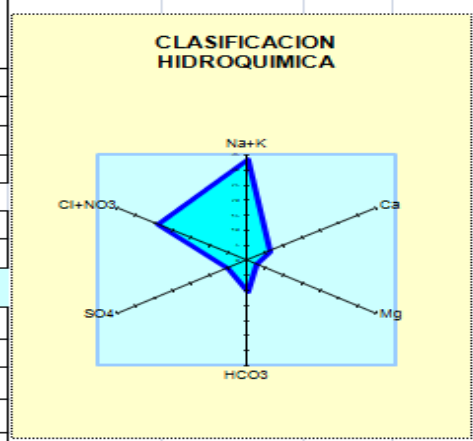
FECHA	23-oct-13	23-oct-13	03-ago-77	03-ago-77	03-ago-77	03-ago-77	15-jul-77	15-jul-77	03-ago-77
VERTIENTE	La Virgen 2013	Salado 2013	Illuchi Bajo Adolfo	La Virgen 1977	La Virgen Domingo Sánchez 1977	La Virgen Municipio 1977	Salado Gerardo Guevara sin uso 1977	Salado Municipio 1977	Santa Ana Dituris 1977
X	787400	785653	789061	786802	787049	790854	785843	785688	788565
Y	9845225	9844452	9845867	9845131	9845039	9844973	9844733	9844733	9845468
CE us/cm	5010	6310	1482	847	353	4940	5290	6350	4656
PH	7,5	7,5	6,3	6	6,6	6,6	6,5	6,7	6,5
TAC	347	174	205	257	316	297	221	272	189
DUR	2146	1181	590	430	205	2315	3600	4235	1840
TSD	3241,47	4082,57	958,85	548	228,39	3196,18	2329,2	4108,45	3012,43
DATOS	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
HCO3-	1277,82	1278,75	210	130	85	145	620	685	635
SO4=	983,5	981,3	472	192	62	62	3640	4400	124
Cl-	453,89	643,4	99,29	49,64	28,37	443,25	819	982	393,61
NO3-	0,2	0,2	0,4	0,01	0	0	0,8	0,46	0
SUM ANIONES	2715,41	2903,65	781,69	371,65	175,37	650,25	5079,8	6067,46	1152,61
DATOS	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
NA+	471,2	519,2	122	66	40	420	720	904	452
K+	77,95	107,16	19	14	11	77	77	106	71
CA++	181,6	255,49	54,11	36,07	22,04	200,4	253	284	162,32
MG++	411,4	132,1	110,66	82,69	36,48	441,41	722	857	348,99
SUM CATIONES	1142,15	1013,95	305,77	198,76	109,52	1138,81	1772	2151	1034,31
DATOS	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
NH4+	0,42	0,307	0,04	0,15	0,05	0,1	0,15	0,1	0
CL+NO3+	454,09	643,6	99,69	49,65	28,37	443,25	819,8	982,46	393,61
NA+ + K+	549,15	626,36	141	80	51	497	797	1010	523

Las concentraciones de color rojo pasan los límites permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran tratamiento convencional


ANEXO B. HIDROGEOQUÍMICA DE BAÑOS DE CUENCA

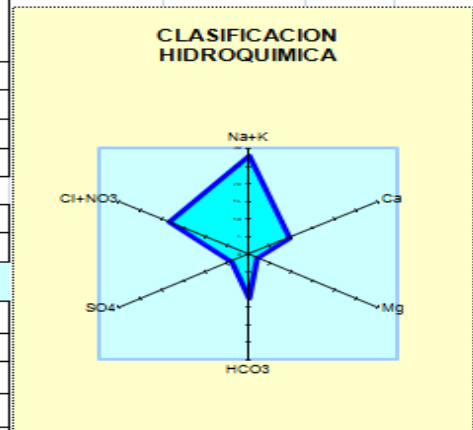
ANEXO B - 1. Diagrama de Tichel de la vertiente El Riñón – 2013 (INAMHI).

		COORDENADAS		WG84		
		UBICACIÓN	LONGITUD-X	LATITUD-Y	IDENTIFICACION	COTA
		El Riñón	715436	9676797		2710
FECHA MUESTREO		FECHA ANALISIS		PROPIETARIO	USO	
15/09/201		16/09/2013			RECREACION	
RESULTADOS DE LABORATORIO						
BALANCE IONICO						
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES		
CO3H-	656,58	Na+	746,40	Parámetros		
CO3=	0,0	K+	55,75	pH	7,7	
SO4=	256,3	Ca++	118,96	CE (µs/cm)	3870	
Cl-	860,40	Mg++	28,08	DUREZA (mg/l)	412	
NO3-	0,64	NH4+	<0,001	TEMPERAT (°C)	72,00	
NO2	<0,005	Fe ⁻	<0,5			
PO4=	0,573	Mn ⁻	0,076			
OTRAS DETERMINACIONES						
Turbidez	1,51		Cobre	<0,024		
Color	7		Cromo	<1		
Alcalinidad	656,58		Plomo	<1		
STD	2503,89		SiO2	62,15		
CO2	27,95		Mn	0,076		
OBSERVACIONES:						
TIPO DE AGUA						
HIPERtermal						
CLORURADA SODICA						
AUTOR: N. BURBANO O.				FUENTE DATOS: INAMHI-2012		




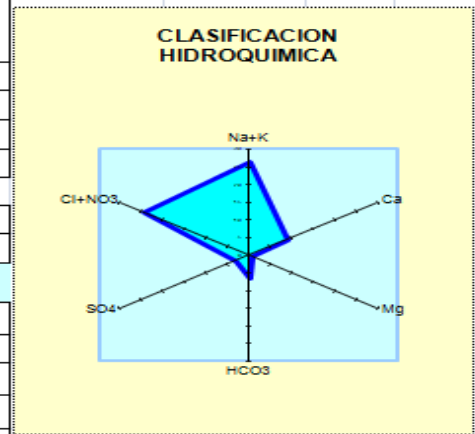
ANEXO B - 2. Diagrama de Tickel de la vertiente Piedra de Agua - 2013 (INAMHI).

		COORDENADAS		WG84		
		UBICACIÓN	LONGITUD-X	LATITUD-Y	IDENTIFICACION	COTA
		Piedra de Agua	715230	9676857		2700
FECHA MUESTREO		FECHA ANALISIS		PROPIETARIO	USO	
15/09/2013		16/09/2013			RECREACION	
RESULTADOS DE LABORATORIO						
BALANCE IONICO						
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES		
CO3H-	777,48	Na+	610,20	Parámetros		
CO3=	0,0	K+	59,25	pH	7,5	
SO4=	195,0	Ca++	188,40	CE (µs/cm)	3650	
Cl-	660,89	Mg++	22,27	DUREZA (mg/l)	562	
NO3-	0,83	NH4+	<0,01	TEMPERAT (°C)	47,00	
NO2	<0,05	Fe ⁼	<0,5			
PO4=	0,5	Mn ⁼	0,206			
OTRAS DETERMINACIONES						
Turbidez	1,74		Cobre	<0,024		
Color	6		Cromo	<1		
Alcalinidad	777,5		Plomo	<1		
STD	2361,55		SiO2	62,8		
CO2	44,7		Mn	0,206		
OBSERVACIONES:						
TIPO DE AGUA						
HIPERTERMAL						
CLORURADA SODICA						
AUTOR: N.BURBANO O.				FUENTE DATOS INAMHI-2012		




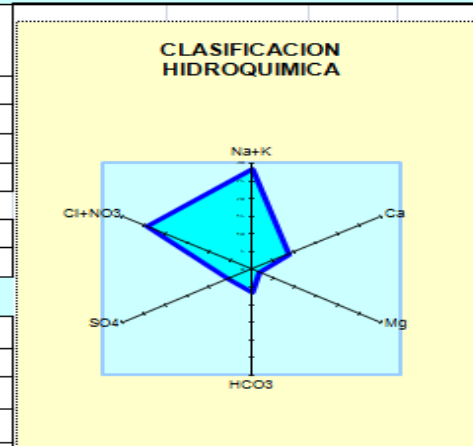
ANEXO B - 3. Diagrama de Tickel de la vertiente Durán – 2013 (INAMHI).

	UBICACIÓN		COORDENADAS		WG84	IDENTIFICACION	COTA
	Duran S.A		LONGITUD-X	LATITUD-Y			
			714221	967452			2680
	FECHA MUESTREO		FECHA ANALISIS		PROPIETARIO		USO
		13/02/1981		13/02/1981		RECREACION	
RESULTADOS DE LABORATORIO							
BALANCE IONICO							
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES			
CO3H-	415,00	Na+	565,09	Parámetros			
CO3=	0,0	K+	80,00	pH	6,8		
SO4=	157,5	Ca++	174,35	CE (µs/cm)	3412		
Cl-	868,77	Mg++	6,75	DUREZA (mg/l)	545		
NO3-	0,20	NH4+	0,500	TEMPERAT (°C)	75,00		
NO2	0,002	Fe ⁼	0,17				
PO4=	0,12	Mn ⁼	0,006				
OTRAS DETERMINACIONES							
Turbidez	1,74		Cobre	<0,024			
Color	6		Cromo	<1			
Alcalinidad	657		Plomo	<1			
STD	2207,564		SiO2	62,8			
CO2	44,7		Mn	0,006			
OBSERVACIONES:							
TIPO DE AGUA							
HIPERTERMAL							
CLORURADA SODICA							
AUTOR: N.BURBANO O.				FUENTE DATOS INAMHI-2012			




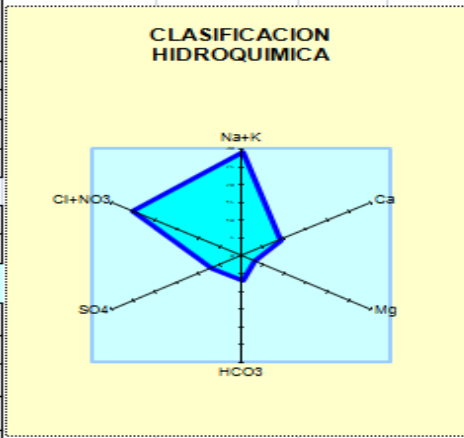
ANEXO B - 4. Diagrama de Tickel de la vertiente Merchán L. - 2013 (INAMHI).

 INAMHI <small>INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA</small>	COORDENADAS		WG84		
	UBICACIÓN	LONGITUD-X	LATITUD-Y	IDENTIFICACION	COTA
	Merchan L.	714221	9676452		2690
FECHA MUESTREO	FECHA ANALISIS		PROPIETARIO	USO	
13/02/1981	13/02/1981			RECREACION	
RESULTADOS DE LABORATORIO					
BALANCE IONICO					
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES	
CO3H-	410,00	Na+	610,15	Parámetros	
CO3=	0,0	K+	80,00	pH	7,0
SO4=	263,7	Ca++	170,34	CE (µs/cm)	3597
Cl-	872,32	Mg++	19,46	DUREZA (mg/l)	505
NO3-	0,30	NH4+	0,520	TEMPERAT (°C)	48,00
NO2	0,004	Fe ⁻	0,12		
PO4=	0,43	Mn ⁻	0,006		
OTRAS DETERMINACIONES					
Turbidez	1,74		Cobre	<0,024	
Color	6		Cromo	<1	
Alcalinidad	657		Plomo	<1	
STD	2327,259		SiO2	62,8	
CO2	44,7		Mn	0,006	
OBSERVACIONES:					
TIPO DE AGUA					
HIPERTERMAL					
CLORURADA SODICA					
AUTOR: H.BURBANO O.				FUENTE DATOS INAMHI-2012	



ANEXO B - 5. Diagrama de Tickel de la vertiente Susana L. - 2013 (INAMHI).

	UBICACIÓN		COORDENADAS		WG84		
	Susana L.		LONGITUD-X 714221	LATITUD-Y 9676452	IDENTIFICACION		COTA 2680
	FECHA MUESTREO		FECHA ANALISIS		PROPIETARIO		USO
	13/02/1981		13/02/1981				RECREACION
RESULTADOS DE LABORATORIO							
BALANCE IONICO							
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES			
CO3H-	435,00	Na+	640,00	Parámetros			
CO3=	0,0	K+	60,00	pH	6,5		
SO4=	340,0	Ca++	174,35	CE (µs/cm)	3607		
Cl-	904,23	Mg++	32,83	DUREZA (mg/l)	570		
NO3-	0,20	NH4+	0,420	TEMPERAT (°C)	40,00		
NO2	0,000	Fe ⁼	0,11				
PO4=	0,43	Mn ⁼	0,006				
OTRAS DETERMINACIONES							
Turbidez	1,74		Cobre	<0,024			
Color	6		Cromo	<1			
Alcalinidad	627		Plomo	<1			
STD	2333,729		SiO2	62,8			
CO2	44,7		Mn	0,006			
OBSERVACIONES:							
TIPO DE AGUA							
HIPERTERMAL							
CLORURADA SODICA							
AUTOR: N.BURBANO O.				FUENTE DATOS: INAMHI-2012			



ANEXO B - 6. Resultados de los análisis físico-químicos de las Muestras de Agua Termal en Baños de Cuenca

Fecha	16-sep-13	16-sep-13	13-feb-81	13-feb-81	17-feb-81
Pozo	EL RIÑON	PIEDRA DE AGUA	DURAN S.A	MERCHAN L.	SUSANA L.
x	715436	715230	714221	714221	714221
y	9676797	9676857	9676452	9676452	9676452
CE uS/cm	3870,00	3650,00	3412,00	3597,00	3607,00
pH	7,67	7,54	6,80	7,00	6,50
TAC	656,58	777,50	657,00	628,00	690,00
DUR	412,344	561,74	545,00	505,00	570,00
TSD	2503,89	2361,55	2207,56	2327,26	2333,73
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
HCO ₃ ⁻	656,58	777,48	415,00	410,00	435,00
SO ₄ ⁼	256,25	195,00	157,50	263,70	340,00
Cl ⁻	860,40	660,89	868,77	872,32	904,23
NO ₃ ⁻	0,64	0,83	0,20	0,30	0,20
sum aniones	1773,874	1634,195	1441,47	1546,32	1679,43
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na ⁺	746,40	610,20	565,09	610,15	640,00
K ⁺	55,75	59,25	80,00	80,00	60,00
Ca ⁺⁺	118,96	188,40	174,35	170,34	174,35
Mg ⁺⁺	28,08	22,27	6,75	19,46	32,83
sum cationes	949,19	880,12	826,19	879,95	907,18
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
NH ₄ ⁺	0,01	0,01	0,5	0,52	0,42
Cl ⁻ +NO ₃ ⁻	861,044	661,715	868,97	872,62	904,43
Na ⁺ + K ⁺	802,15	669,45	645,09	690,15	700

ANEXO C. GEOLOGÍA LOCAL DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

GEOLOGÍA LOCAL DE BANOS DE AGUA SANTA

ANEXO C-1.

Coordenadas: 9845200 N

787380 E

Altura: 1828 m.s.n.m.

Sector: Termas La Virgen

Descripción:

En Baños se encuentran las aguas termales ubicadas al pie de la Cascada Cabellera de la Virgen, donde han sido aprovechadas por el hombre para balnearios con fines terapéuticos. Entre sus características su temperatura ambiente es de 18° C y la temperatura del agua termal es de 48 °C.



Foto N.1 Agua termal en Baños “La Virgen”

ANEXO C-2.

Coordenadas: 788464 E

9845424 N

Altura: 1884 m.s.n.m.

Sector: Termas de Santa Ana

Descripción:

Las aguas termales de Santa Ana, se encuentran ubicadas a 100 metros de la Cascada Cabellera de la Virgen, en el centro de la ciudad de Baños, que al igual que las aguas de “La Virgen” han sido usadas por la población, ya que sus aguas que conforma una de las piscinas es mineral, con una temperatura de 42 °C.



Foto N.2 Agua termal en Baños “Santa Ana”

ANEXO C-3.

Coordenadas: 791582 E

9845298 N

Altura: 1965 m.s.n.m.

Sector: Represa Agoyán

Descripción:

Nos ubicamos en el puente sobre el río Pastaza en la carretera Baños -Puyo, al lado oeste de la Represa Hidroeléctrica Agoyán, así se evidenció que la represa fue construida sobre roca metamórfica de grado bajo a medio de la unidad Agoyán, constituida por esquistos verdes sericíticos cuya mineralogía presenta sericita, biotita, cuarzo, grafito, clorita, pero asimismo esta Represa fue empotrada en rocas volcánicas basálticas provenientes del Volcán Tungurahua.

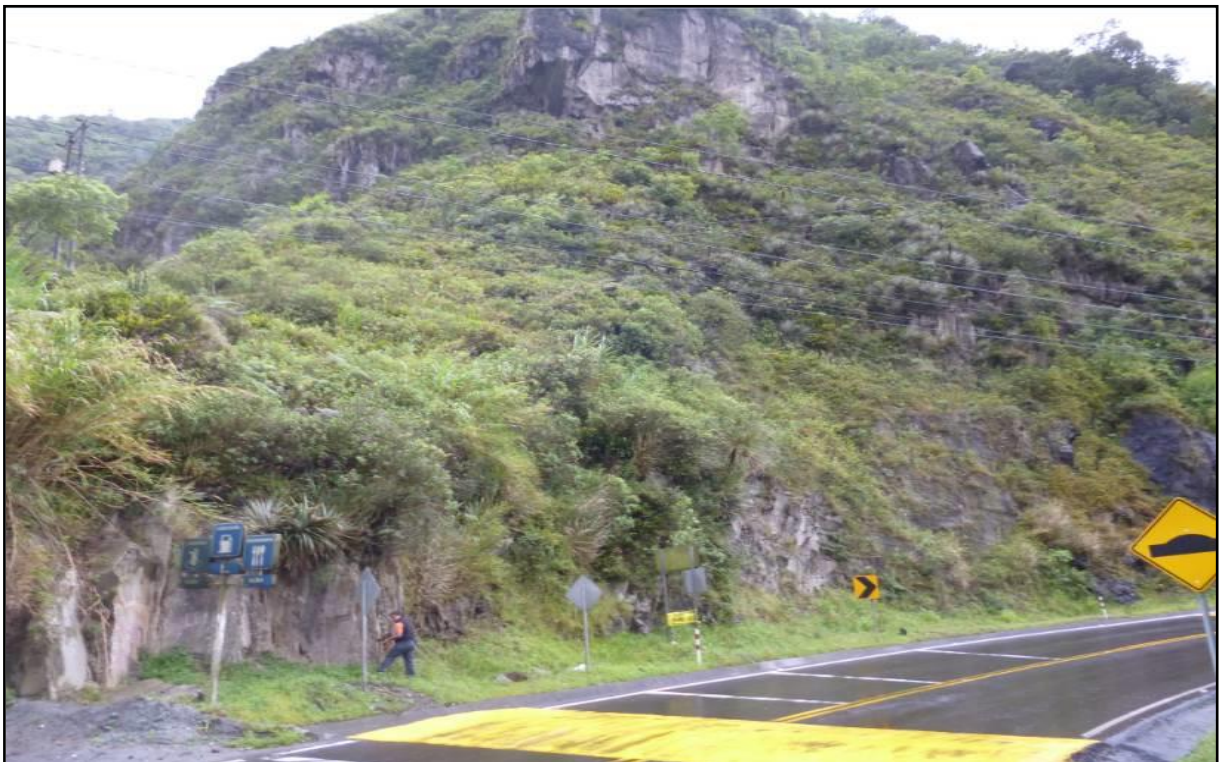


Foto N.3 Carretera Baños-Puyo. Esquistos sericitos de la Unidad Agoyán.

ANEXO C-4.

Coordenadas: 782463 E
9844353 N

Altura: 1983 m.s.n.m.

Descripción:

Se pudo evidenciar la extensión y grado de afectación que puede producir un evento volcánico en las obras civiles en este caso un flujo de lahar de alta energía; y además que los factores de identificación y control de riesgo volcánico deben ser tomados en cuenta en la planificación del urbanismo y las obras civiles para Baños de Agua Santa.



Foto N.4 Obra Construida sobre un depósito de lahar (Flujo con alta carga de sólidos).Sector "Los Pájaros".

GEOLOGÍA LOCAL DE BAÑOS DE CUENCA

ANEXO C-5

Coordenadas: 9676797 N

715436 E

Altura: 2710 m.s.n.m.

Sector: Termas El Riñón

Descripción:

En este lugar surgen las aguas termales más calientes del Ecuador, su temperatura es de 75 °C y su coloración es cristalina a ligeramente verdosa, en el sitio se evidencia la formación del travertino a causa de la composición carbonática de las aguas.

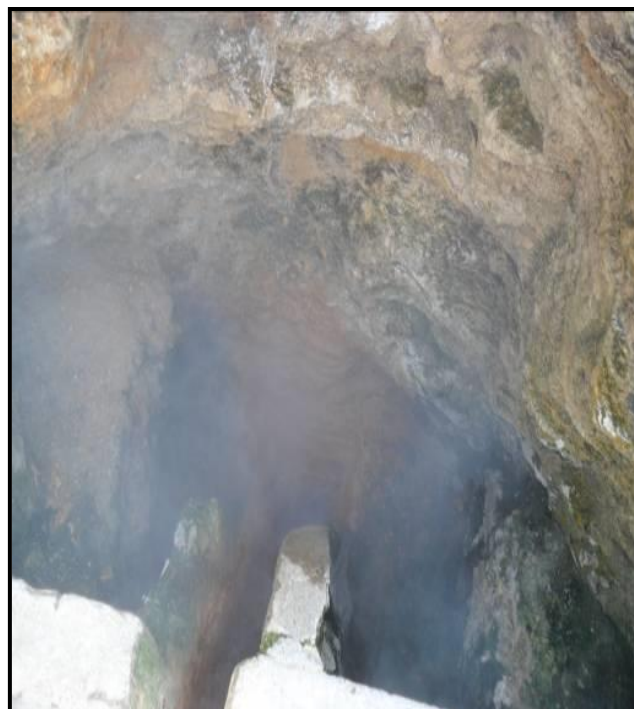


Foto N.5 Termas El Riñón (Baños de Cuenca)

ANEXO C-6

Coordenadas: 9676857 N

715230 E

Altura: 2700 m.s.n.m.

Sector: Termas Piedra de agua

Descripción:

En este punto se encontró una capa más potente de travertino y una falla de dirección N315°/60°SW que controla la surgencia del agua termal, misma que exhibe una temperatura de 47°C y una coloración verde clara.



Foto N.6 Termas Piedra de Agua (Baños de Cuenca)

ANEXO C-7

Coordenadas: 9676857 N

715230 E

Altura: 2700 m.s.n.m.

Sector: Vía al mirador de Turi

Descripción:

El sector permite la descripción de los conglomerados y microconglomerados, con clastos subangulares a redondeados de tamaños variables (centimétricos a decimétricos), de composición andesítica, sedimentaria y metamórfica en una matriz limo arenosa, se ven además pequeñas intercalaciones de tobas amarillentas.

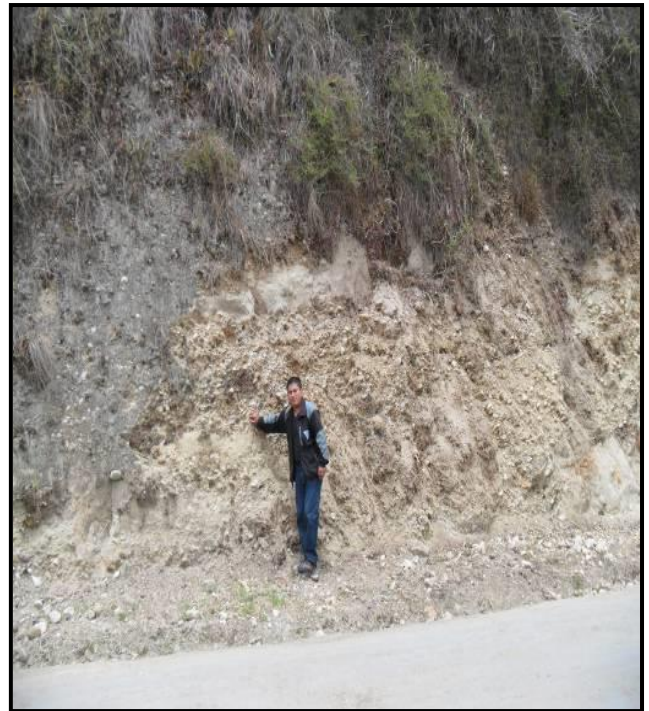


Foto N.7 Formación Turi (Baños de Cuenca)

ANEXO C-8

Coordenadas: 9673065 N

716762 E

Altura: 2627 m.s.n.m.

Sector: Vía Cuenca- Loja

Descripción:

Se puede observar un afloramiento que tiene más de 20 metros de potencia, compuesto principalmente por tobas volcánicas de coloración gris, que se encuentran muy fracturadas.



Foto N.8 Formación Tarqui (Baños de Cuenca)

ANEXO D. GLOSARIO DE TERMINOS

Agua: es un recurso natural esencial para la vida, es el principal componente de nuestro organismo, así como de la mayoría de los organismos vivos e influye en diversas funciones y reacciones orgánicas, contribuyendo a mantener el equilibrio vital.

Aguas termales: son aquellas bacteriológicamente sanas que tienen su origen en un estrato o yacimiento subterráneo, y que brotan de un manantial en uno o varios puntos de alumbramiento, naturales o perforados, las cuales son ricas en diferentes componentes minerales y permiten su utilización en la terapéutica.

Cauce principal: el canal principal que capta y conduce el agua hasta la descarga de una cuenca.

Cuenca hidrológica: el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos.

Descarga natural: volumen de agua que descarga una unidad hidrogeológica a través de manantiales, vegetación, ríos y humedales, o subterráneamente a cuerpos de agua (mares, lagos y océanos).

Evaporación: es el proceso por el cual el agua, en la superficie de un cuerpo de agua natural o artificial o en la tierra húmeda, adquiere la suficiente energía cinética de la radiación solar, y pasa del estado líquido al gaseoso.

Evaluación: es la acción de estimar, apreciar, calcular o señalar el valor de un objeto.

Geoquímica: es la ciencia que estudia los caracteres y el comportamiento de los diferentes elementos químicos en la corteza terrestre.

Génesis: origen, principio, nacimiento, manantial, raíz y causa de una cosa.

Hidrografía: descripción y medidas de los cuerpos de agua, como son, océanos, mares, ríos, lagos, embalses, etc.

Hidrología: ciencia que estudia las aguas de la tierra, incluyendo su distribución, circulación, sus propiedades físicas y químicas y su interacción con el medio ambiente y los seres vivos.

Hidrogeoquímica: Siendo esta la ciencia que estudia los aspectos geoquímicos del agua en sí y sus relaciones con las rocas de la corteza terrestre.

Hidrometeorología: parte de la meteorología que estudia la ocurrencia, movimiento y cambios de estado del agua en la atmósfera, o sea, la meteorología aplicada a la hidrología.

Infiltración: caudal de agua de la superficie terrestre en el subsuelo.

Placa tectónica: es una gran capa de roca sólida, de forma irregular y generalmente compuesta de material oceánico y continental.

Porosidad: medida de la capacidad de carga de agua de la roca del subsuelo. Con respecto al movimiento de agua, no es sólo la magnitud total de la porosidad que es importante, pero el tamaño de los huecos y el grado en que están interconectadas.

Precipitación: cualquier y todas las formas del agua, en estado líquido o sólido, que cae de las nubes hasta llegar a la tierra. Esto incluye la lluvia, llovizna, llovizna helada, lluvia helada, granizo, hielo granulado, nieve, granizo menudo y bolitas de nieve.

Recarga: volumen de agua que recibe una unidad hidrogeológica, en un intervalo de tiempo específico.

Reservas: son recursos minerales que pueden ser utilizados por el hombre y que existen en el suelo y subsuelo.

Temperatura: Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio, frío que puede ser medida, específicamente, con un termómetro. Además es una propiedad intensiva, es decir, que no depende del tamaño del sistema, sino que es una propiedad que le es inherente y no depende ni de la cantidad de sustancia ni del material del que este compuesto.

Unidad hidrogeológica: conjunto de estratos geológicos hidráulicamente conectados entre sí, cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales subterráneas.

Unidad litoestratigráfica: volumen de materiales diferenciado por sus características litológicas.

Vertiente: desnivel, talud, escarpa, declive o sitio por donde corre o puede correr agua; Cada una de las pendientes de una montaña que van de la cima a la base.

Volcán: lugar donde la roca ígnea, fundida o fragmentada por el calor sale a través de una abertura desde las partes internas de la tierra a la superficie.