

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“CARACTERIZACIÓN GEOTÉRMICA Y
CONSIDERACIONES AMBIENTALES DE LOS BAÑOS
TERMALES DE SAN VICENTE, PROVINCIA DEL
GUAYAS”**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentada por:

MIGUEL ANGEL GONZÁLEZ BONILLA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2003

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Centro de Investigación, Ciencia y Tecnología (CICYT) de la ESPOL, sin cuyo soporte financiero y logístico hubiera sido mucho más difícil realizar este trabajo.

A la Subsecretaría de Turismo del Litoral, por permitirme tomar las muestras de campo necesarias para esta investigación.

Al personal del Complejo Turístico "Telésforo Villacrés", por su apoyo en las salidas de campo realizadas a Baños de San Vicente.

Al Ing. Galo Montenegro Santos, cuya guía y sabia crítica, alumbraron el sendero por el que debía ir.

A los Ingenieros Eugenio Núñez del Arco y Gastón Proaño Cadena, cuyos sabios consejos me ayudaron a llevar a buen término este trabajo.

A mis profesores de la FICT, por compartir sus conocimientos científicos y experiencias conmigo

A mis amigos, por su ayuda incondicional cuando los necesité.

A mi familia, porque siempre me apoyaron en todo sentido.

Al Dr. Paúl Carrión, por creer que nosotros, los estudiantes de la FICT, podemos llegar muy lejos.

DEDICATORIA

A mis Padres
A mis Hermanos
A mis Amigos
A Dios

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Ricardo Gallegos O.
DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE DEL
TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Galo Montenegro S.
DIRECTOR DE TESIS

Msc. Eugenio Núñez del Arco
VOCAL

Ing. Gastón Proaño C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Miguel González Bonilla

RESUMEN

En el poblado de Baños de San Vicente, Provincia del Guayas, existen emanaciones naturales de aguas a temperaturas por encima de la media local. Entre Abril y Mayo del 2002 el autor elaboró un estudio geológico de Baños de San Vicente en base a fotointerpretación y salidas de campo. Como resultado se determinó que esta área se encuentra ubicada sobre una zona de antearco muy fracturada con predominio de materiales sedimentarios, principalmente del Grupo Azúcar, que presentan evidencias de deslizamientos intraformacionales locales. Los manantiales están alineados siguiendo los rumbos de los sistemas de fallas principales (45° y 330° azimuth).

Se determinó la presencia de dos plegamientos. El primero muestra un anticlinal y un sinclinal, ambos con un eje NE – SO que corre desde Baños de San Vicente hasta los Cerros Asagmones. El segundo, ubicado en la parte este del área de estudio, presenta solo un anticlinal y tiene dirección dominante NO – SE. Los manantiales termales se encuentran ubicados sobre el eje del primer anticlinal.

El drenaje es sub – angular indicando control por fallas y fracturas. Hay tres sub – cuencas hidrográficas que controlan la dirección de las aguas y diferencian los terrenos sobre los cuales aparecen.

Entre Junio y Julio del 2002 se llevó a cabo una campaña de toma de datos de resistividad eléctrica en los alrededores de Baños de San Vicente. De acuerdo a estas medidas el nivel freático local se encuentra aproximadamente a la cota 70m por debajo del complejo termal. Hay evidencia de dos planos de falla al noroeste de Baños, a profundidades aproximadas de 12 y 40 m respectivamente. La falla más superficial indica un posible levantamiento de los materiales resistivos. En cambio, la falla más profunda pone en contacto anormal las rocas de la Formación Santa Elena con materiales más arenosos y resistivos del Grupo Azúcar. Por lo tanto,

existe en el subsuelo de Baños una zona de posible alteración hidrotermal que se expande hacia el sureste.

Entre Julio y Agosto del mismo año, el autor tomó muestras de agua y sedimentos, tanto de manantiales termales como no termales, para análisis físico – químicos, isotópicos, bacteriológicos y de difracción de rayos X. Como resultado de estos análisis se determinó que las aguas aflorantes en los manantiales de Baños de San Vicente tienen temperaturas entre 24°C y 37°C. El pH se encuentra en un rango desde 6.4 a 8.1 yendo de ligeramente ácido a ligeramente básico, en una dirección oeste – este, indicando mezcla en ese sentido.

Las concentraciones elevadas de cloruros indican que estos fluidos son del tipo salmuera. De acuerdo al diagrama ternario Cl, SO₄ y HCO₃ estos fluidos están clasificados como aguas cloruro – sulfatadas neutras. Existe una notable diferencia entre las concentraciones de los fluidos termales y los no termales indicando que los primeros tienen un origen profundo (> 2 Km.), mientras que los segundos son aguas subterráneas netamente superficiales, cuya zona de recarga son los Cerros Palo Largo, de Baños y la cuenca del Río Asagmones. El probable fluido original tiene una entalpía de 500 kJ/kg indicando una temperatura para el reservorio de 120°C. La composición isotópica de estas aguas señalan un sistema de salmueras con un probable origen magmático de tipo arco de isla. También indican dilución de las aguas de origen profundo con aquellas aguas superficiales y frías. Los minerales presentes en las capas subterráneas de Baños de San Vicente son cuarzo – albita – caolinita – illita.

No existe peligro aparente de contaminación, por algún tipo de bacteria (*Escherichia coli* por ejemplo) u otro agente enteropatógeno en las aguas de Baños de San Vicente, a excepción de las aguas en la Población de Saya, que mostraron presencia de *E. coli*.

Índice

Página

Índice	I
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	X
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición de Geotermia	2
1.2 Clasificación de sistemas geotérmicos	3
1.3 Usos de la Geotermia en el Mundo	7
1.4 Usos de la Geotermia en el Ecuador	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2.1 Antecedentes e Historia de los Baños de San Vicente	21
2.2 Justificación del Estudio	23
GEOLOGÍA REGIONAL	26
3.1 Marco Estratigráfico de La Península de Santa Elena	27
3.1.1 El Cretáceo	29
3.1.1.1 Formación Piñón	29
3.1.1.2 Formación Santa Elena (Cretáceo superior)	31
3.1.2 Grupo Azúcar (Paleoceno)	33
3.1.3 El Cuaternario	42
3.1.3.1 Formación Tablazo (Pleistoceno)	43
3.1.3.2 Depósitos Coluviales Y Aluviales Recientes (Pleistoceno y Holoceno)	43
3.2 Marco Tectónico de La Península de Santa Elena	43
3.2.1 Principales Estructuras Regionales	43
GEOLOGÍA DEL AREA	45
4.1 Geología Local	46
4.2 Principales Estructuras	50
4.3 Hidrogeología Local	52
CARACTERÍSTICAS TERMALES SUPERFICIALES	55
5.1 Características Termales Superficiales	56
5.2 Características Termales en Baños de San Vicente	59
BASES TEORICAS	71
6.1 BASES TEÓRICAS	72
6.1.1 Geofísica	72
6.1.1.1 Métodos de Resistividad Eléctrica	73
6.1.1.1.1 El Concepto de Resistividad Aparente	73
6.1.1.1.2 Factor Geométrico	76
6.1.1.1.3 Principio del Sondeo Eléctrico Vertical	77
6.1.1.1.4 Cortes Geoeléctricos: Notación y Nomenclatura	79
6.1.1.1.5 Determinación de los límites de resistividad	82
6.1.2 Geoquímica de las aguas presentes en los sistemas geotérmicos	83
6.1.2.1 Tipos de Solutos, Aguas y sus Orígenes	83

6.1.2.2	Presentación de los datos – solutos	89
6.1.2.3	Parámetros Geoquímicos	90
6.1.3	Parámetros de Isótopos Estables	90
6.1.3.1	Fraccionamiento de Isótopos	92
6.1.3.2	Relaciones Matemáticas y Notación	93
6.1.3.3	Isótopos Estables en Aguas de Origen Geotérmico	96
6.1.4	Parámetros de los Sedimentos	97
6.1.5	Parámetros Bacteriológicos	101
6.1.5.1	Coliformes y grupo de coliformes fecales	101
6.1.5.2	Escherichia coli enteropatógeno	103
6.2	Tabajos de Prospección del Area	105
6.2.1	Metodología	105
6.2.2	Metodología de Campo y Equipos de SEV	106
6.2.3	Métodos de Muestreo geoquímico	109
6.2.4	Ubicación de los puntos de muestreo	111
ANÁLISIS DE RESULTADOS		113
7.1	Mapa de Fracturas	114
7.1.1	Densidad de Fracturas	114
7.2	Sondeos Eléctricos Verticales	117
7.2.1	Perfil Geoeléctrico	126
7.2.2	Resistividad y Factor de Formación	129
7.2.3	Mapa de Isoresistividades	131
7.3	Composición Geoquímica de los Manantiales	133
7.4	Composición Isotópica de los Manantiales	139
7.5	Análisis de los Sedimentos	142
7.6	Análisis Microbiológico de los Manantiales	145
INTERPRETACION		146
8.1	Interpretación	147
CONSIDERACIONES AMBIENTALES		152
9.1	IDENTIFICACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE IMPACTOS AMBIENTALES	153
9.1.1	Métodos de Análisis de los Impactos	154
9.1.2	Tipos de Métodos	154
9.1.2.1	Listas de Control	156
9.1.2.2	Superposición de Capas (Overlays)	157
9.1.2.3	Matrices	159
9.1.2.4	Diagramas de Redes	160
9.1.3	Aspectos Climáticos	162
9.1.4	Flora en Baños de San Vicente	164
9.1.5	Fauna en Baños de San Vicente	166
9.1.6	Identificación y Evaluación Preliminar de Impactos Ambientales en la Zona de Baños de San Vicente	167
9.1.7	Matriz Causa – Efecto aplicada a Baños de San Vicente	167
9.1.8	Aspecto socio– económico en Baños de San Vicente	174
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		179
10.1	CONCLUSIONES	180
10.2	RECOMENDACIONES	183
ANEXOS		186
BIBLIOGRAFÍA		202

ABREVIATURAS

Al	Aluminio
Alb.	Feldespato de albita
Aus.	Ausencia
B	Boro
Br ⁻	Bromuro
°C	Grados centígrados
CALEC	California Ecuador Petroleum Co.
Cl ⁻	Cloruro
Ca ⁺²	Calcio
Cs	Cesio
EEC	Escherichia coli enteropatógeno
ESPE	Escuela Politécnica del Ejército
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
°F	Grados Fahrenheit
F ⁻	Fluoruro
Fe	Hierro
Fig.	Figura
Fm	Formación geológica
Gr	Grupo geológico
gr.	Gramos
GWh	Gigavatio-hora
² H	Isótopo de hidrógeno 2 (deuterio)
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
H ₂ SO ₄	Acido sulfúrico
I	Ilita
I ⁻	Ioduro
IEPC	International Ecuadorian Petroleum Company
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
J	Joule
K	Caolin
K ⁺	Potasio
Km ²	Kilómetro cuadrado
L	Litro
Li	Litio
log	Logaritmo de base 10
LT	Toxina termolábil
m	Metros
Mg ⁺²	Magnesio
mhos	Unidad de conductividad eléctrica
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MWe	Megavatio eléctrico
MWL	Meteoric water line
MV _t	Megavatio térmico
Na ⁺	Sodio

NaCl	Cloruro de sodio
NH ₃	Nitritos
NMP	Número mas probable
¹⁸ O	Isótopo de oxígeno 18
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
pH	Potencial de hidrogenoides
ppm	Partes por millón
Pres.	Presencia
Qz	Cuarzo
Rb	Rubidio
S.A.	Sociedad anónima
SEV	Sondeo Eléctrico vertical
SiO ₂	Cuarzo
SO ₄ ⁻²	Sulfato
ST	Toxina termoestable
T	Temperatura
UFC	Unidades formadoras de colonias
V	Voltio
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
WEC	World Energy Conference

SIMBOLOGIA

A-A'	Corte geoeléctrico
a	Coefficiente de resistividad que depende de la litología
a*	Factor que depende del fraccionamiento del hidrógeno y el oxígeno durante la evaporación del agua
AB/2	Distancia media de los electrodos de corriente en un dispositivo Schlumberger
B-B'	Corte geoeléctrico
b	Factor que depende del fraccionamiento del hidrógeno y el oxígeno durante la evaporación del agua
CD	Corriente directa
Δ	Variación
δ	Concentraciones relativas de isótopos
E	Vector de campo eléctrico
EM	Electromagnético
F	Factor de formación
ϕ	Porosidad
h	Espesor
I	Intensidad de corriente eléctrica
j_o	Densidad de corriente
m	Factor de cementación
Ω -m	Ohmios-metro (unidad de resistividad eléctrica)
p	Profundidad de penetración
p_{ef}	Profundidad de penetración efectiva
ρ	Resistividad eléctrica
‰	Partes por mil
r	Radio
R_w	Resistividad del agua de formación
R_o	Resistividad de la roca limpia saturada d agua
z	Profundidad (m)

Índice de Figuras

	Página
Fig. 1.1 Secciones transversales esquemáticas de sistemas geotérmicos de alta temperatura en (A) terreno llano, y (B) terreno montañoso volcánico. (Ellis & Mahon, 1977)	4
Fig. 1.2 Condiciones hidrológicas de los sistemas de vapor dominante (a) y líquido dominante (b). (White et al, 1971)	6
Fig. 1.3 Distribución en la superficie de la Tierra de las fronteras entre placas: (//) —centro de creación de nueva litosfera; (▲) —frontera destructiva entre placas.	8
Fig. 1.4 Localización de los principales sistemas geotérmicos: 1. Meager Mt.; 2. Los Geysers; 3. Yellowstone; 4. Salton Sea; 5. Cerro Prieto; 6. Los Humeros; 7. La Primavera; 8. Los Azufres; 9. Ahuachapan; 10. Momotombo; 11. Bouillante; 12. El Tatío; 13. Krafla; 14. Namafjal; 15. Svartsengi; 16. Larderello; 17. Ma khashcala; 18. Kizildere; 19. Puga; 20. Aluto; 21. Langano; 22. Olkaria; 23. Pauzhetskiy; 24. Matzukawa; 25. Otake; 26. Tatun; 27. Makban; 28. Tiwi/Bacman; 29. Tongonan/Palinpinon; 30. Dieng; 31. Kawah Kamodjang; 32. Broadlands; 33. Wairakei.	11
Fig. 1.5 Ubicación de las fuentes termales conocidas en el Ecuador (Basado en información de Muñoz, 1949)	18
Fig. 3.1 Mapa geológico de la parte más occidental de la Península de Santa Elena (Tomado del Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1000000)	28
Fig. 4.1 Mapa Geológico del Area de Baños de San Vicente	47
Fig. 4.2 Columna Litológica en Baños de San Vicente	49
Fig. 4.3 Mapa de Fracturas y curvas estructurales de Baños de San Vicente	51
Fig. 4.4 Diagrama de Rosas que muestra las direcciones de fracturamiento predominantes en Baños de San Vicente. Los números indican la cantidad de fracturas en una dirección dada.	52
Fig. 4.5 Mapa Hidrográfico de Baños de San Vicente	53
Fig. 5.1 Las aguas en ascenso, a altas temperaturas, emiten vapores calientes que alteran la roca por la que circulan. Siendo este fenómeno más evidente en los materiales superficiales, produciendo los denominados suelos alterados por vapor (steaming ground). En esta figura se aprecia este tipo de alteración ocurrida en el Parque Geotérmico de Orakeikorako, Nueva Zelanda	57
Fig. 5.2 Las descargas directas varían en sus dimensiones. Pueden ser manantiales con unos pocos centímetros (como algunos en Baños de San Vicente) hasta varias decenas de metros en su diámetro, como el que se aprecia en la figura. Este manantial se denomina “Champagne Pool” y esta localizado en el Parque Geotérmico de Way-O-Tapu, Nueva Zelanda. Es de notar la gran cantidad de vapor que emite este manantial y, como resultado de esto, la alteración del suelo en los alrededores. A pesar de ello la vegetación es exuberante. Existe la presencia de microorganismos termales en los bordes de esta laguna, lo cual es evidente por la coloración café – anaranjada en esa zona.	58
Fig. 5.3 La salida violenta de fluidos en dos fases es común en campos geotérmicos presurizados con gran dominio volcánico. El de la figura es el “Diamond Geyser” del Parque Geotérmico de Orakeikorako, Nueva Zelanda. En Baños de San Vicente no existe tal tipo de manifestación, indicando que la zona no es geopresurizada.	58
Fig. 5.4 En algunos casos, a pesar de haber flujo de fluidos, la energía en el interior de un sistema se acumula, ya sea por el amontonamiento de materiales a la salida del manantial o por la obstrucción, en niveles más profundos, de la ruta de ascenso de los fluidos. Cuando la resistencia de las capas que rodean al fluido acumulado es sobrepasada entonces se produce una salida violenta del líquido termal junto con rocas y sedimentos, denominándose este fenómeno como erupción hidrotermal. En la figura se aprecia una erupción hidrotermal ocurrida en “Kuirau Park” de Rotorua, Nueva	

Zelanda. Obsérvense los materiales depositados sin ningún orden en los alrededores y la intensa evaporación de uno de los manantiales. No se ha encontrado un fenómeno de este tipo en Baños de San Vicente.	59
Fig. 5.5 Este gráfico muestra la ubicación de casi todos los manantiales y albarradas de los que se tomaron muestras para este trabajo. M-6 y B1 no aparecen por estar ubicados en zonas muy alejadas, el primero en la población de Saya 7 km. al este de Baños de San Vicente, y el segundo en Alicante ~8 km. al noreste de Baños	60
Fig. 5.6 Esta piscina caliente es el lugar más frecuentado por turistas en el Complejo Termal. Su temperatura y contenido de sólidos disueltos le confiere, según estas personas, cualidades curativas y de relajamiento.	61
Fig. 5.7 Vista del manantial M-2. Se aprecia la diferencia en coloración entre las dos fuentes separadas solamente por un muro de cemento. Se cree que, a pesar de ello, son un solo manantial.	62
Fig. 5.8 En esta figura se puede apreciar al manantial de sedimentos. Obsérvense en la parte inferior izquierda la manguera que alimenta este manantial con agua del manantial 2	63
Fig. 5.9 Pequeño manantial en el centro del Complejo Termal. Su caudal es casi despreciable, sin embargo es uno de los de mayor temperatura y actividad burbujeante.	64
Fig. 5.10 Este manantial se encuentra actualmente en estado de abandono. En el literal (b) se muestran las dimensiones	65
Fig. 5.11 Vista de la boca del pozo de captación de agua subterránea en Saya. Obsérvense lo amarillenta de esta agua indicando algún tipo de contaminación	66
Fig. 5.12 Este manantial tiene una salida continua de gas inflamable que los pobladores locales, en algún momento, quisieron usar para labores domésticas	67
Fig. 5.13 Este reservorio es utilizado como abrevadero para el ganado	68
Fig. 5.14 Este manantial, al igual que M9, es utilizado como abrevadero para el ganado	69
Fig. 5.15 Este manantial es utilizado por la población local como alberca de esparcimiento	70
Fig. 6.1 Fuente puntual de corriente sobre terreno homogéneo.	74
Fig. 6.2 Los flujos de corriente como una función de la separación de los electrodos de corriente	78
Fig. 6.3 Ejemplo de una curva de sondeo realizada sobre un sector al noroccidente de Guayaquil. En ella se aprecia una estructura de tres capas, donde: $\rho_1 = 14.1 \Omega\text{-m}$, $\rho_2 = 1.3 \Omega\text{-m}$, $\rho_3 = 179.5 \Omega\text{-m}$, $h_1 = 1 \text{ m}$, $h_2 = 2.5 \text{ m}$, $h_3 = \infty$. (Proaño G., González M., 2001)	79
Fig. 6.4 Curvas de resistividad verdadera para diversos cortes geoelectrónicos. Nomenclatura de los tipos de cortes. (Orellana, 1982)	81
Fig. 6.5 Contornos de resistividad aparente medidos con un dispositivo Schlumberger, con espaciamiento medio (AB/2) de (a) 600 m, y (b) 1200 m. La posición del límite de resistividad del campo geotérmico de Mokai, Nueva Zelanda, es mostrada por la región rayada. Lugares de medida son indicados por puntos (Bibby et al, 1981).	82
Fig. 6.6 Diagrama ternario utilizado para representar las concentraciones relativas de los aniones y cationes mayores. Cl, SO ₄ y HCO ₃ en este caso	88
Fig. 6.7 Diagrama de la composición de isótopos estables de dD/H versus d18O/16O para aguas meteóricas, oceánicas (SMOW), connatas y magmáticas (Ellis & Mahon, 1977)	93
Fig. 6.8 Equipo de Geofísica Terrameter SAS 300 de la ESPOL, utilizado en la toma de los SEV's de este trabajo. Se aprecian el módulo principal, los carretes de emisión y recepción de corriente (de color naranja), carrete que mide la diferencia de potencial (en colores rojo y negro), la fuente de poder (batería de carro) y los electrodos de acero y cobre para los puntos A, B y M,N respectivamente (dispositivo Schlumberger).	107
Fig. 6.9 Disposición del equipo en el campo para medidas de resistividad	108
Fig. 6.10 Equipo de trabajo de sondeos eléctricos en operación	108
Fig. 6.11 Recipientes de plástico conteniendo las muestras de agua para análisis bacteriológicos (al fondo) e isotópicos (al frente)	111
Fig. 7.1 Contornos de Densidad de Fallas y Fracturas y Límite de Resistividad	116

Fig. 7.2 Perfil geoelectrico A-A' formado por los sondeos 06, 07, 05, 04 y 10, con dirección NO-SE. Los números dentro de cada columna representan los valores de resistividad, los números a la derecha de cada columna representan las profundidades de cada capa. Las líneas rojas que unen los sondeos 06 y 07 y en el sondeo 10 representan planos de falla.	126
Fig. 7.3 Diagrama que muestra la variación de ρ_a en la línea A-A' compuesta por los SEV's 06, 07, 05, 04 y 10, con dirección NO-SE. La distancia se refiere a la separación entre cada sondeo	127
Fig. 7.4 Contornos de resistividad aparente medidos con un dispositivo Schlumberger, con espaciamiento medio (AB/2) de (a) 100m, y (b) 400m, en la zona de Baños de San Vicente. Círculos llenos indican la ubicación de los sondeos, las líneas entrecortadas (color azul) señalan la dirección de los perfiles A-A' en (a) y B-B' en (b).	132
Fig. 7.5 Diagrama ternario en el cual están representados, en círculos abiertos, los contenidos relativos de Cl, SO ₄ y HCO ₃ de las muestras de agua tomadas en Baños de San Vicente. Hexágonos llenos indican los contenidos relativos de algunos manantiales termales de la zona geotérmica de Tufiño – Chiles - Cerro Negro, en la Provincia del Carchi.	136
Fig. 7.6 Diagrama entalpía vs cloruros de las muestras de agua tomadas en Baños de San Vicente. Se muestra un posible fluido original (120°C) y los efectos de mezcla con aguas subterráneas superficiales.	137
Fig. 7.7 Diagrama ternario en el cual están representados, en círculos abiertos, los contenidos relativos de Na, K y Mg de las muestras de agua tomadas en Baños de San Vicente. Hexágonos llenos indican los contenidos relativos de algunos manantiales termales de la zona geotérmica de Tufiño – Chiles - Cerro Negro, en la Provincia del Carchi.	139
Fig. 7.8 Gráfico de δH^2 versus δO^{18} , en ‰ SMOW, de los manantiales termales en Baños de San Vicente. Se aprecia el proceso progresivo de dilución desde M3 (manantial de sedimentos) hasta M6 (pozo de agua subterránea en Saya).	141
Fig. 7.9 Gráfico de las concentraciones de Cl y SO ₄ (ppm) versus dO18 (‰) en el que se aprecia la línea de dilución de las aguas netamente termales con los líquidos superficiales.	142
Fig. 7.10 Difractograma de rayos X mostrando las diferentes especies minerales presentes en los sedimentos del manantial de lodo (M3) en Baños de San Vicente.	144
Fig. 8.1 Modelo esquemático del sistema hidrotermal en Baños de San Vicente. Este modelo está basado en los datos de resistividad eléctrica de los sondeos 07, 05, 04 y 09 que forman el perfil B-B' con dirección N-S. Los números dentro de cada columna representan los valores de resistividad de cada capa. Las líneas de color rojo representan fallas a través de las cuales fluyen los fluidos, tanto de origen profundo como superficiales	148
Fig. 8.2 Gráfico de δD versus $\delta^{18}O$, en ‰ SMOW, de varios tipos de aguas. Se relacionan las aguas de ríos, lluvias y pozos de aguas subterráneas superficiales de la zona de Milagro con los fluidos de la zona geotérmica de Tufiño (Provincia del Carchi), varios campos geotérmicos de Nueva Zelanda y la zona geotérmica de Baños de San Vicente. Es interesante notar la cercanía de las composiciones de Baños de San Vicente con las obtenidas para los fluidos de origen andesítico de arco de isla.	150
Fig. 8.3 Valores de resistividad para rocas sedimentarias afectadas por alteración hidrotermal en Baños de San Vicente.	151
Fig. 9.1 Ejemplo del método de superposición de capas	159
Fig. 9.2 Ejemplo de un diagrama de redes para un proyecto de dragado (Sorensen, 1971. Como es mostrado por Canter, 1977)	161
Fig. 9.3 Cantidades relativas de acciones que causan impacto vs elementos ambientales presentes en Baños de San Vicente	172
Fig. 9.4 Cantidad relativa de elementos ambientales vs acciones que causan impacto en Baños de San Vicente	173
Fig. 9.5 Gráfico que estima la cantidad mensual de visitantes en el Complejo Termal "Telésforo Villacrés" en Baños de San Vicente	176
Fig. 9.6 Gráfico que estima los ingresos mensuales en el Complejo Termal "Telésforo Villacrés" en Baños de San Vicente	177

Fig. A.2 Datos y curva de campo del SEV-02	187
Fig. A.3 Datos y curva de campo del SEV-03	187
Fig. A.4 Datos y curva de campo del SEV-04	188
Fig. A.5 Datos y curva de campo del SEV-05	188
Fig. A.6 Datos y curva de campo del SEV-06	189
Fig. A.7 Datos y curva de campo del SEV-07	189
Fig. A.8 Datos y curva de campo del SEV-08	190
Fig. A.9 Datos y curva de campo del SEV-09	190
Fig. A.10 Datos y curva de campo del SEV-10	191
Fig. B.2 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-02 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	192
Fig. B.3 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-03 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	193
Fig. B.4 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-04 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	194
Fig. B.5 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-05 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	195
Fig. B.6 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-06 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	196
Fig. B.7 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-07 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	197
Fig. B.8 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-08 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	198
Fig. B.9 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-09 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	199
Fig. B.10 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-10 (a), con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.	200

Índice de Tablas

	Página
Tabla 1.1 Diagrama de Lindal que muestra algunas aplicaciones para la energía geotérmica de acuerdo al rango de temperatura del fluido. _____	9
Tabla 1.2 Producción mundial de energía geoelectrica (Huttrer, 1995; DiPippo, 1999). N/d = Información no disponible _____	12
Tabla 1.3 Fuentes termales del Ecuador (Elaborado en base a Muñoz, 1949) _____	14
Tabla 1.4 Áreas con potencial geotérmico en el Ecuador. (Coviello, 1995) _____	19
Tabla 3.1 Bloque Santa Elena - Marco Estrati gráfico (Malone et al, 1999) _____	30
Tabla 6.1 Constituyentes disueltos más comunes en las aguas termales (Ellis & Mahon, 1964) _____	83
Tabla 6.2 Fuentes probables de las aguas de recarga en sistemas geotérmicos (Ellis & Mahon, 1964) _____	84
Tabla 6.3 Resumen de los tipos de agua en sistemas geotérmicos (Ellis & Mahon, 1977) _____	88
Tabla 6.4 Distribución de algunos minerales hidrotermales en campos geotérmicos activos (Browne, 1984) _____	100
Tabla 6.5 Caracteres de las enfermedades transmitidas por la Escherichia coli (Frazier, 1993) _____	105
Tabla 7.1 Coordenadas de los puntos que forman el cuadrante que limita al área de estudio en Baños de san Vicente _____	115
Tabla 7.2 Datos generales de los sondeos eléctricos verticales realizados en Baños de San Vicente. _____	117
Tabla 7.3 Composiciones geoquímicas de las aguas en Baños de San Vicente y Borbollones, Península de Santa Elena. Concentraciones de los elementos y los sólidos totales están en mg/kg (ppm), salinidad en g/L, temperatura en °C y conductividad eléctrica en mhos/cm. Los resultados de la muestra M3 fueron tomados del Estudio de Impacto Ambiental realizado por el CEMA en el 2001 _____	134
Tabla 7.4 Reporte de las concentraciones de isótopos estables (D y ¹⁸ O) presentes en las aguas de Baños de san Vicente y Saya. Todas las medidas son con respecto al VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), y tienen errores de ± 1‰ para δ D y ± 0.1‰ para δ ¹⁸ O _____	140
Tabla 7.5 Análisis microbiológicos de las aguas de Baños de San Vicente _____	145
Tabla 9.1 Métodos de evaluación ambiental y sus diferencias _____	155
Tabla 9.2 Ejemplo de una lista de control (Canter, 1977) _____	157
Tabla 9.3 Matriz causa – efecto usada en Baños de San Vicente para la evaluación preliminar de impactos al ambiente _____	168
Tabla 9.4 En esta tabla se han estimado algunos parámetros socio – económicos del Complejo Termal “Telésforo Villacrés” de Baños de San Vicente. El total de personas corresponde a un estimado mensual, se considera que los adultos (edades entre 18 y 55 años) corresponden al 80% del total de personas, niños y ancianos el restante 20%. Los ingresos se calcularon con los siguientes valores: entrada al Complejo USD 0.80 adultos y USD 0.40 niños y ancianos, masajes USD 2.50, sauna USD 2.00. Se asume que la cantidad de personas que hacen uso del servicio de masaje y sauna son el 50% del total de personas. _____	175

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Definición de Geotermia

“Geotermia es la disciplina científica que comprende el estudio de las variaciones de temperatura dentro de la corteza terrestre y los fenómenos naturales que influyen sobre la distribución de los flujos térmicos”.

La intrusión de magmas dentro de la corteza terrestre es controlada, a escala regional, por procesos tectónicos y magmáticos globales. Los magmas generados en el manto son máficos en composición y relativamente móviles debido a su baja viscosidad. Los magmas félsicos, que tienen una viscosidad mucho más alta, son generados por diferenciación progresiva de magmas máficos o por fusión con material de la corteza. Estos son menos móviles que los magmas máficos y tienden a acumularse en cámaras magmáticas a profundidades desde unos pocos a varias decenas de kilómetros.

Con una continua entrada de magma estos cuerpos félsicos desarrollan un tamaño lo suficientemente grande como para tener un impacto térmico significativo sobre la corteza, y se cree son responsables por la mayoría de los sistemas de convección hidrotermal de alta temperatura. La diferencia de calor entre las unidades rocosas hace que el calor acumulado se propague hasta zonas de gran contenido hídrico, donde se transfiere calor a la masa de agua, dando origen a la formación de reservorios naturales. Las profundidades a las que se encuentran varían de 500 a 2000 metros y las temperaturas oscilan entre los 150 y 300 grados centígrados. El aprovechamiento de estos flujos térmicos deriva en numerosas aplicaciones prácticas económicamente redituables.

El término “Sistema Geotérmico” fue originalmente usado para describir aguas naturalmente convectivas en la corteza superior de la tierra, las cuales en un espacio confinado transfieren calor desde una fuente de calor a un disipador de energía, usualmente la superficie libre. Este término fue

posteriormente ampliado para incluir cualquier otro recurso de la tierra desde el cual calor pueda ser extraído económicamente.

El volumen de roca, desde el cual calor puede ser extraído, es denominado “reservorio geotérmico”, generalmente esta rodeado por rocas más frías que están hidráulicamente conectadas con el reservorio. Así, el agua puede moverse desde las rocas externas más frías hacia el reservorio (recarga), donde los fluidos calientes se mueven bajo la influencia de fuerzas de flotación hacia las áreas de descarga (Fig. 1.1). El volumen total de roca en el cual los fluidos se mueven tanto dentro como fuera del reservorio, junto con la fuente de calor y la zona de descarga natural, constituyen un sistema geotérmico.

La génesis de los recursos geotérmicos se basa en el transporte geológico de cantidades anómalas de calor lo suficientemente cerca a la superficie. Como resultado, la distribución de las ocurrencias geotérmicas no es aleatoria ya que está gobernada por procesos geológicos a escalas global, regional y local. Concentrándose esta actividad, por lo tanto, en los límites de las placas tectónicas, como puede ser visto en las figuras 1.3 y 1.4.

Un sistema geotérmico comúnmente tiene tres componentes:

- 1) una fuente de calor, esto es una concentración anómala de calor;
- 2) permeabilidad interconectada en la roca para formar un sistema de cañerías; y
- 3) Un fluido para transportar la energía desde la roca hacia la superficie

1.2 Clasificación de sistemas geotérmicos

No existe un esquema establecido para clasificar sistemas geotérmicos. Así, se han usado aspectos de la fuente de calor, el reservorio y ciertos fluidos característicos para describir varios tipos de sistemas geotérmicos (Ellis & Mahon, 1977; Muffler, 1979; Kestin et al., 1980; Rybach & Muffler, 1981;

Grant et al., 1982; Reed, 1983; Armstead, 1983). Uno de los parámetros más simple usado para tal clasificación es la temperatura del reservorio.

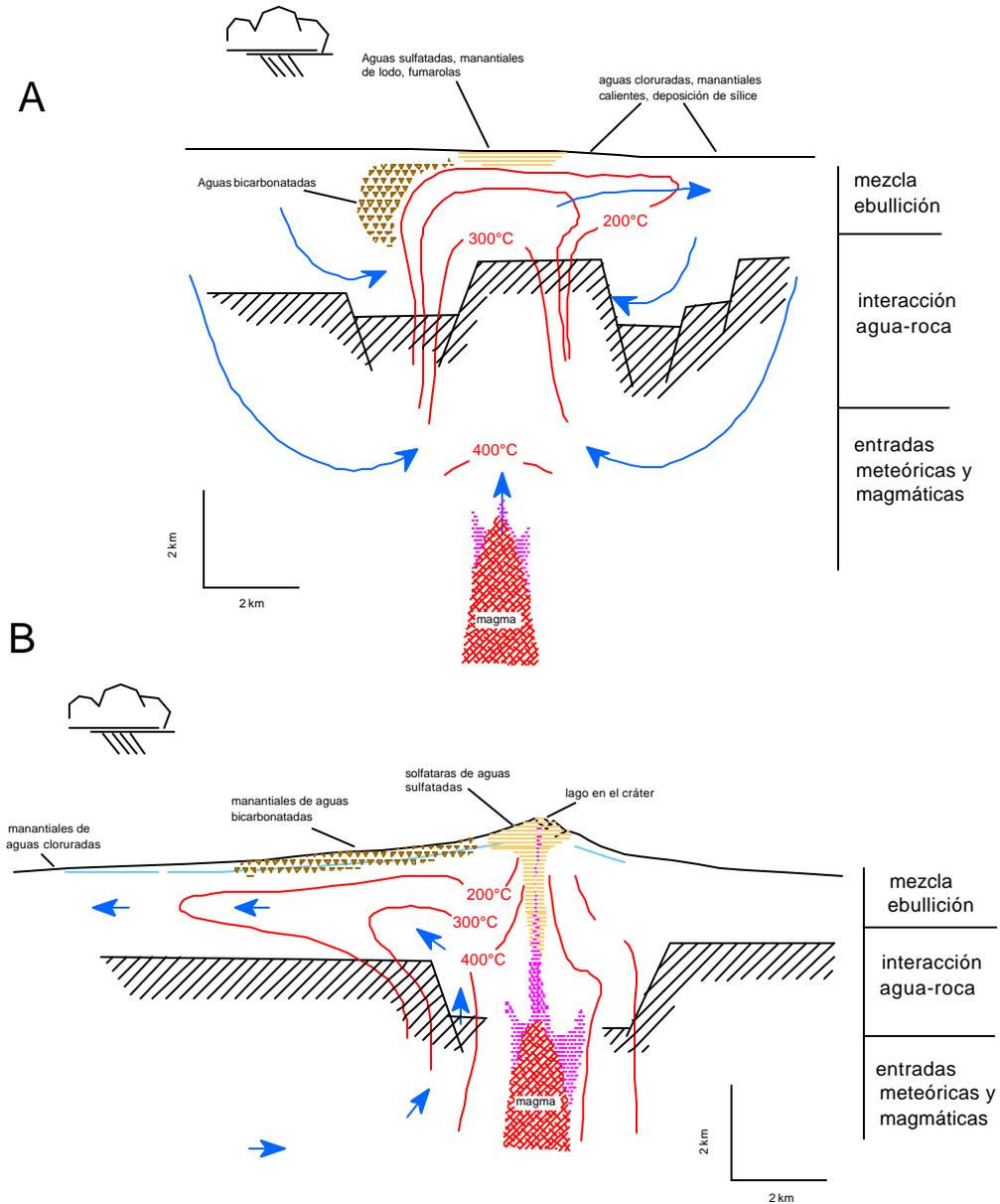


Fig. 1.1 Secciones transversales esquemáticas de sistemas geotérmicos de alta temperatura en (A) terreno llano, y (B) terreno montañoso volcánico. (Ellis & Mahon, 1977)

Hasta que ésta no sea medida en un pozo exploratorio o de producción ciertos criterios, geoquímicos o geofísicos, deben ser usados para obtener

un estimado de este parámetro. Usando la temperatura promedio del reservorio los sistemas geotérmicos pueden ser clasificados en:

1. Sistemas de temperatura baja: donde la temperatura en los pozos de producción es menor a 125° C,
2. Sistemas de temperatura media: donde la temperatura en los pozos de producción yace entre 125° C y 225° C; y
3. Sistemas de temperatura alta: donde la temperatura en los pozos de producción es mayor a 225° C.

Otra manera de clasificar los sistemas geotérmicos es basándose en el estado físico del fluido que controla la presión, bajo este precepto estos sistemas pueden ser:

1. Sistemas de agua dominante, en los cuales el agua es el fluido que controla el gradiente de presión; y
2. Sistemas de vapor dominante, en los cuales el agua y el vapor normalmente coexisten en el reservorio, siendo el vapor el fluido controlador de la presión.

Los sistemas de vapor dominante (Fig. 1.2) son óptimos para la generación de energía eléctrica; desgraciadamente, éstos son mucho más escasos que los de agua dominante.

En los sistemas de agua dominante, la química de la fase fluida mantiene relación directa con el reservorio subterráneo de agua termal y con la roca. Debido a la alta temperatura, las reacciones químicas entre los componentes alcanzan el equilibrio en un proceso relativamente rápido. Así, la química del fluido en un sistema de agua caliente refleja el estado de "equilibrio" entre el fluido y la roca del reservorio y puede ser interpretado de acuerdo con ello. Por otro lado, la química del fluido de un sistema de vapor dominante no tiene generalmente una relación directa con el reservorio, debido a la

ebullición del fluido y la subsiguiente presencia de dos fases: líquido y vapor, que propician la pérdida de ciertos elementos que si se encuentran en el sistema anterior.

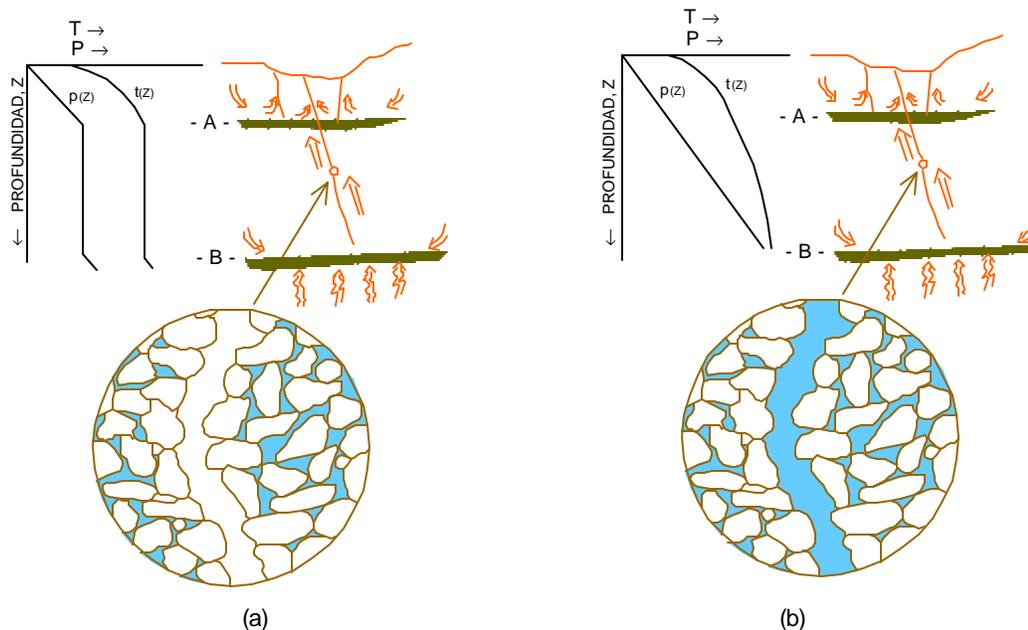


Fig. 1.2 Condiciones hidrológicas de los sistemas de vapor dominante (a) y líquido dominante (b). (White et al, 1971)

Otro tipo de clasificación, muy simple, divide estos sistemas en dos grandes categorías, basándose en el estilo hidrológico (Ellis and Mahon, 1977):

- a) **Sistemas Cíclicos.-** En los cuales el agua entra (típicamente descendiendo desde la superficie), es calentada y elevada a la superficie, circulando a través del sistema. La fuerza conductora puede deberse a la presencia de una fuente anómala de calor a una cierta profundidad (ej. Magma), haciendo que estos fluidos circulen por convección. Los gradientes de presión son típicamente hidrostáticos o hidrodinámicos, refiriéndose a estos sistemas simplemente como hidropresurizados. Los períodos de permanencia de estos fluidos en el reservorio varían entre decenas a cientos de miles de años.

- b) **Sistemas de Almacenamiento.**- El agua es almacenada dentro de un acuífero confinado y calentada en el mismo lugar. Bajo estas condiciones generalmente es poca la recarga desde superficie o las expresiones de este calor en superficie. El gradiente de presión en estos sistemas es parcialmente hidrostático y puede incluir una componente litostática/tectónica adicional; también se usa el término geopresurizado para describir estos sistemas. Buenos ejemplos pueden observarse en las grandes cuencas sedimentarias que contienen aguas connatas (agua de mar atrapada en los poros de los sedimentos al momento de la deposición). En estos sistemas termales el agua reside en el acuífero por largos períodos geológicos, sobre los cientos de millones de años.

Estas dos categorías pueden también ser denominadas como abiertas o cerradas, indicando la libertad de movimiento del fluido dentro del sistema, siendo la permeabilidad el principal parámetro controlador. Así, la presencia de conductos (sean estos fallas o fracturas) extendiéndose hacia abajo desde la superficie caracteriza un sistema abierto; mientras que, conductos sellados o rocas impermeables caracterizan a un sistema cerrado. Un sistema geotérmico puede mostrar características de ambas clases.

1.3 Usos de la Geotermia en el Mundo

Las manifestaciones del calor terrestre han sido utilizadas desde hace siglos tanto con fines recreacionales y medicinales, como para la extracción de los minerales que los fluidos termales arrastran y acumulan en la superficie, o bien a profundidades someras. Sin embargo ha sido sólo a principios de este siglo que la explotación de los recursos geotérmicos se ha extendido y desarrollado en forma impresionante, especialmente en regiones de actividad tectónica (Fig. 1.3), donde la alta temperatura de los fluidos descargados permite su utilización sobre todo en la producción de energía eléctrica, pero también para calefacción y algunos otros usos turísticos e industriales.



Fig. 1.3 Distribución en la superficie de la Tierra de las fronteras entre placas: (//)—centro de creación de nueva litosfera; (▲)—frontera destructiva entre placas.

Además de la importancia científica que tiene el estudio del calor contenido en la Tierra y del valor estético en cuanto a belleza natural de sus manifestaciones superficiales, éste es importante también como recurso energético; especialmente en las condiciones actuales de consumo creciente y la búsqueda de fuentes alternas de energía.

La principal restricción al uso de la energía geotérmica es la dificultad para su transporte, por lo que preferentemente se trata de transformarla a energía eléctrica. En compensación a esta deficiencia, existen otros usos alternos para este tipo de energía, los cuales se muestran en la tabla 1.1. En esta tabla se dan los usos posibles de los fluidos geotérmicos con la temperatura mínima requerida para éstos.

Tabla 1.1 Diagrama de Lindal que muestra algunas aplicaciones para la energía geotérmica de acuerdo al rango de temperatura del fluido.

	Rango aproximado de temperatura (°C)	Algunos usos de la energía geotérmica
Rango de producción convencional de energía eléctrica	180	Refrigeración por evaporación de amoníaco
	170	Producción de agua pesada
	160	Secado de tierras diatomáceas
		Secado de pescado
		Secado de madera
	150	Obtención de alúmina
	140	Enlatado de alimentos
	130	Secado de productos agrícolas Evaporación en el refinado de azúcar Extracción de sales por evaporación y cristalización
	120	Producción de agua potable por destilación
		Evaporación con fines diversos
	110	Secado de placas de cemento
	100	Secado de materiales orgánicos (vegetales, algas, etc.)
		Lavado y secado de lana
	90	Secado de bacalao
		Procesos intensivos de descongelamiento
	80	Calefacción
	70	Límite inferior de temperatura para procesos de refrigeración
	60	Invernaderos y ganadería
	50	Crecimiento de hongos
		Balneología
	40	Calentamiento de suelos
	30	Albercas
		Biodegradación
		Fermentación
		Agua caliente para trabajos de minería en climas fríos.
	20	Piscicultura

Gracias al avance de la tecnología se han podido superar muchos problemas en la utilización de la energía geotérmica y en la actualidad es posible aprovechar sus recursos en un rango muy amplio de temperaturas, o bien explotarlos "en cascada", lo cual equivale a seguir extrayendo energía de fluidos que han pasado ya por alguna etapa de su uso: por ejemplo los fluidos que son desechados por una estación geotermoeléctrica a una temperatura de más de 100°C, pueden aún ser utilizados para el enlatado de comida, extracción de sales y posteriormente para calefacción, refrigeración, invernaderos, etc., hasta que finalmente, ya a una temperatura menor de 30°C, sean usados en albercas para recreación o en criaderos de peces. De esta forma, se extrae el contenido energético de los fluidos geotérmicos con un máximo de eficiencia. En varios países como Nueva Zelanda y Francia se implementa ya la utilización "en cascada" por ser económicamente más rentable.

Por supuesto que no todos los usos que se mencionan en la tabla 1.1 son igualmente aplicados, los más extendidos en lo que respecta a cantidad de energía obtenida son: producción de energía eléctrica, calefacción, ganadería y balneología, además de la extracción de minerales que no produce energía pero que es una utilidad muy importante de las manifestaciones termales.

Actualmente una capacidad total de 11385 MW_t suministrados por fuentes geotérmicas han sido identificadas en 33 campos geotérmicos alrededor del mundo (Fig. 1.4). Esto representa cerca de 36000 GWh de energía, lo que equivale a aproximadamente 4.1 millones de toneladas de petróleo por año.

En 1980, el 97% de las necesidades energéticas del mundo fueron cubiertas por combustibles fósiles. El resto fue suministrado en su mayoría por embalses hidroeléctricos, una pequeña cantidad por fisión nuclear y otra muy pequeña cantidad por energía geotérmica.

En 1990, los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) suministraron el 77.2% de la energía mundial, 4.5% por energía nuclear y 18.2% vino de las fuentes de energía renovables, de los cuales 98% fueron biomasa e hydro, 0.8% geotérmicos, 0.8% solar y 0.1% del viento (World Energy Conference, WEC,1993). Durante el 16^{avo} Congreso de la WEC en 1995, fue demostrado que, en términos de producción eléctrica desde recursos renovables tales como geotérmica, solar, de viento o mareas, el 86% del total eléctrico producido en 1994 provino de recursos geotérmicos los cuales tenían una capacidad total instalada de 6 456 MWe (WEC, 1995).



Fig. 1.4 Localización de los principales sistemas geotérmicos: 1. Meager Mt.; 2. Los Geysers; 3. Yellowstone; 4. Salton Sea; 5. Cerro Prieto; 6. Los Humeros; 7. La Primavera; 8. Los Azufres; 9. Ahuachapan; 10. Momotombo; 11. Bouillante; 12. El Tatío; 13. Krafla; 14. Namafjal; 15. Svartsengi; 16. Larderello; 17. Makhashcala; 18. Kizildere; 19. Puga; 20. Aluto; 21. Langanó; 22. Olkaria; 23. Puzhetskij; 24. Matzukawa; 25. Otake; 26. Tatum; 27. Makban; 28. Tiwi/Bacman; 29. Tongonan/Palimpinon; 30. Dieng; 31. Kawah Kamodjang; 32. Broadlands; 33. Wairakei.

La WEC estimó los recursos geotérmicos mundiales en 4.1×10^{25} J de los cuales 2.9×10^{24} J fueron citados como energía térmica recuperable adecuada para aplicaciones directas, y 3.6×10^{21} J pueden ser convertidos a electricidad fácilmente usando las tecnologías existentes (WEC, 1978).

Estos datos son porcentajes mundiales y no reflejan la situación individual de cada país donde la geotermia hace ya una contribución considerable a su

desarrollo energético; tal es el caso de Nueva Zelanda, Indonesia y Las Filipinas.

En 1998 la capacidad eléctrica total instalada, generada por energía geotérmica, fue de 8148 MWe. Para el año 2000 la capacidad instalada total fue de 9960 MWe. La tabla 1.2 muestra la capacidad de generación geotermoeléctrica, desde 1985 hasta el 2000, de los países reconocidos como productores geotérmicos.

Tabla 1.2 Producción mundial de energía geotérmica (Huttrer, 1995; DiPippo, 1999). N/d = Información no disponible

CAPACIDAD DE GENERACION, MWe					
PAIS	1985	1990	1995	1998	2000
Argentina	0	0.67	0.67	0.7	N/d
Australia	0	0	0.17	0.4	N/d
China	14.3	19.2	28.78	28.78	81
Costa Rica	0	0	55	120	170
El Salvador	95	95	105	105	165
Estados Unidos	2022.1	2774.6	2816.7	2850	3395
Etiopía	0	0	0	8.5	N/d
Francia	4.2	4.2	4.2	4	N/d
Islandia	39	44.6	49.4	50.6	N/d
Indonesia	32.2	144.75	309.75	589.5	1080
Italia	519.2	545	631.7	742	856
Japón	215.1	214.6	413.705	530	600
Kenya	45	45	45	45	N/d
México	645	700	753	743	960
Nueva Zelanda	167.2	283.2	286	364	440
Nicaragua	35	35	35	70	N/d
Filipinas	894	891	1227	1848	1978
Portugal	3	3	5	16	N/d
Rusia	11	11	11	11	110
Tailandia	0	0.3	0.3	0.3	N/d
Turquía	20.6	20.6	20.6	21	125
Total	4761.9	5831.72	6797.975	8147.78	9960

1.4 Usos de la Geotermia en el Ecuador

Ecuador dispone -potencialmente- de una importante “mezcla” de fuentes energéticas, entre las cuales destacan el petróleo, el gas natural, la hidroelectricidad y la geotermia. De las fuentes anteriormente mencionadas, las últimas 3 son universalmente consideradas ambientalmente sostenibles

y, de ellas, el gas y la hidroelectricidad ya han demostrado ampliamente su viabilidad económica y absoluta competitividad.

Las características geológicas del territorio ecuatoriano son muy favorables para prever la existencia de una importante anomalía regional del flujo de calor terrestre, debido al hecho que, desde el periodo terciario y en los niveles superiores de la corteza, se han emplazado cámaras magmáticas que alimentan a una intensa y persistente actividad volcánica que continúa manifestándose en el segmento septentrional de la Cadena Andina. No es casual el hecho que en el territorio del Ecuador exista una elevada concentración de aparatos volcánicos diferenciados, de edad cuaternaria a reciente, cuyos sistemas de alimentación son los que originan la antes mencionada anomalía del flujo de calor terrestre (Coviello, 1995).

Estas manifestaciones termales superficiales se encuentran ubicadas a lo largo de la cadena montañosa de Los Andes y en zonas costeras con evidente actividad volcánica antigua. Algunas de ellas son utilizadas como parte de tratamientos terapéuticos de relajamiento físico y mental debido a las cualidades medicinales que, según se dice, poseen. Aparte del uso en balneoterapia, hidromasajes y como agua de mesa que se les da a estas aguas no se aprovecha sus cualidades termales y termodinámicas en ninguna otra actividad. La inmensa mayoría es simplemente ignorada.

De acuerdo al libro "Aguas Minerales del Ecuador" del Dr. José E. Muñoz (1949) se han identificado en el Ecuador las siguientes fuentes termales naturales mostradas en la tabla 1.3, organizadas según la provincia a la que pertenecen. La ubicación de casi todas las fuentes mencionadas no es precisa, éstas están referenciadas con respecto a poblaciones conocidas, de las cuales suelen estar alejadas varios kilómetros (Fig. 1.5). Todas aquellas fuentes conocidas y actualmente en uso son utilizadas solamente en balneoterapia y recreación.

Tabla 1.3 Fuentes termales del Ecuador (Elaborado en base a Muñoz, 1949)

Nombre	Ubicación
Fuentes de la Provincia del Azuay	
Baños	Parroquia Baños, Cantón Cuenca
Fuentes de la Provincia de Bolívar	
Fuentes de "Salinas"	Cerca de la ciudad de Guaranda
Fuentes de la Provincia del Cañar	
Fuentes de "Guapán"	A 3 Km. del poblado de Guapán
Fuente de "Opar-chaquimaillanayacu" o simplemente "Opar"	Parroquia Bayas, al noroeste de la ciudad de Azogues
Fuentes de la Provincia del Carchi	
Fuente en el puente de Rumichaca	Cercana al puente de Rumichaca, en el límite entre Ecuador y Colombia. Longitud W.G. 77.43, Latitud 0.49
El Baño	situada en la Hacienda "El Salado", cantón Montúfar, próxima al río Cuasmal, longitud 77.50, latitud 0.36
Gruta de Rumichaca de la paz	situada en la jurisdicción de la parroquia La Paz, perteneciente al cantón Montúfar.
Chabayán	situada en las proximidades de la población de El Angel, perteneciente al cantón Espejo.
Fuentes de la Provincia del Cotopaxi	
Fuente "Erin"	En la Hacienda Erin, Parroquia Tanicuchí, Cantón Latacunga. Distante 23 Km. de Latacunga
Fuente "Libertad"	En la Hacienda Erin, Parroquia Tanicuchí, Cantón Latacunga. Distante 23 Km. de Latacunga
Fuente "Bolívar"	A poca distancia de la Fuente "Libertad" en la Hacienda Erin, Parroquia Tanicuchí, Cantón Latacunga. Distante 23 Km. de Latacunga
Fuente de "El Inca"	Situada a poca distancia de la ciudad de Latacunga
Fuente de "Santa Josefa"	Dentro de la zona urbana del Cantón Latacunga, en terrenos de la Hacienda Rumipamba, Parroquia Eloy Alfaro. Situada al pie del puente del ferrocarril del sur, cerca de la confluencia del Río Cutuchi con el Pumacunchi
Fuente "El Carmen"	Terrenos de la Hacienda "La Avelina", Parroquia Lasso
Fuentes de la Provincia del Chimborazo	
Fuente "Los Elenes"	A 3.5 Km. de la población de Guano, a orillas del Río del mismo nombre.
Fuentes de "El Batán"	Siguiendo el curso del Río Guano en dirección del pueblo de Cubijíes, del cual dista 1.5 Km.
Vertientes de Cubijíes	En las riberas del Río Cubijíes, Parroquia Cubujíes, Cantón Guano
Vertiente de Matus	Caserío de Matus, Parroquia Penipe

Vertientes de Pungalá	A medio camino entre Pungalá y Chambo
Vertiente de Cicalpa	Cercano al pueblo de Cicalpa
Vertiente de “Quillu-yacu”	Aproximadamente 3 Km. al norte-noreste del cantón Alausí. Long.: 78°23' W, Lat.: 0°16' S

Fuentes de la Provincia de I Guayas

Baños de “San Vicente”	En el poblado de Baños de San Vicente, Cantón Santa Elena, a aproximadamente el Km. 100 de la vía Guayaquil – Salinas. Coordenadas 533500 E, 9754100 N
Fuente de “Borbollones”	Aproximadamente 545100 E, 9761600 N

Fuentes de la Provincia de Imbabura

Vertiente de Las Lagartijas	Situada a 1.5 Km. De la ciudad de Otavalo, en dirección occidental
Vertiente de Punyaro	Situada a medio camino entre Otavalo y la vertiente de Las Lagartijas
Fuentes de Yanayacu	Situada a 1 Km. del límite urbano de Otavalo y al pie de la loma de Qichincha
Vertiente de Tangalí	Situada a 15 Km. de Otavalo, al pie de la colina Tangalí y a una distancia aproximada de 30 m. del Río Blanco
Fuente del Río Blanco o “Vertiente del Bosque de Pinto”	Situada sobre la playa del Río Blanco, cerca de la subestación de la planta eléctrica y a 3.5 Km. de Otavalo
Fuente de San Juan o “de Chango”	Situada cerca de la ciudad de Otavalo
Termas de Peguche	Situadas a las faldas del monte Imbabura, junto a la parcialidad de Agato
El Neptuno	Situada junto al Río Machángara en la misma ciudad de Otavalo
Fuente de “El Salado”	Situada en algún lugar del trayecto que une las ciudades de Otavalo y Cotacachi
Fuentes de Yana-Yacu o El Tinte	Situadas en la hacienda “Pianita” cerca del pueblo de Cotacachi

Fuentes de la Provincia de Loja

Fuente de “Agua Hedionda”	5 Km. al noreste de la ciudad de Loja. Long.: 79° 17', Lat.: 0° 21' S
Fuente de “Agua de Soda”	Predios de la Hacienda “Tenería”
Vertiente de agua ferruginosa de “Rumi-Corral”	A medio camino entre La Toma y Loja
Agua sulfurosa de Cariamanga	Aproximadamente a un Km. de la ciudad de Cariamanga
Vertiente de la Hacienda “Buenos Aires”	A orillas del Río Zamora en los terrenos de la Hacienda “Buenos Aires”, 7 Km. al noreste de la ciudad de Loja

Fuentes de la Provincia de Manabí

Fuente de Joá	Cantón Jipijapa
Fuentes de Agua Blanca	Cantón Sucre
Fuente de Jome	Población de Jome
Fuente de Portoviejo	Cantón Portoviejo
Fuente “El Zapallo”	Cantón Portoviejo
Vertiente “El Cadi”	Parroquia Colón

Fuente "La Peña"	Entre Rocafuerte y Portoviejo
Fuente "La Pajarita"	Entre Picoazá y la Costa

Fuentes de la Provincia de Pichincha

Fuente de San Antonio	Situada en el pueblo de San Antonio, a orillas del Río Pomasqui. Long.: 78°28', Lat.: 0.1' S
Fuente de La Providencia	Situada en el cañón del Guayllabamba, sobre la margen del río del mismo nombre, dentro de la Hacienda "La Providencia"
Fuente de la quebrada Caparrosa	Situada muy cerca al pueblo de Nono
Fuente del Potrero	Situada muy cerca al pueblo de Nono
Fuentes arsenicales	Situadas en terrenos de la Hacienda de propiedad del Sr. Manuel Bonifaz Panizo, en los alrededores de Nono
Fuentes de la Hacienda del Sr. Francisco Negrete	Situadas en los alrededores de Nono
Fuente de "Cunun-yacu"	Situada en la población de Tumbaco a 15 Km. de Quito, a orillas del Río Tumbaco. Long.: 78.22, Lat.: 0.13 S
Fuentes de "El Tingo"	Parroquia de San Pedro del Tingo, perteneciente al Cantón Rumiñahui y en situación este-sur-este con respecto a Quito. Long.: 78°28', Lat.: 0°21'
Fuente "La Merced"	Límites de la Parroquia de Alangasí. Long.: 78.23, Lat.: 0.16 S
Fuentes de Chillogallo	A 8 Km. del pueblo de Chillogallo, en la Hacienda Santa Rita
Vertiente de "La Tablera"	Cercanías del pueblo de Lloa, a orillas del Río Cinto, en el potrero denominado "La Playa" de la Hacienda "La Tablera" Long.: 78°38', Lat.: 0°16' S
Fuente "Mercedes"	La Hacienda Sillunchi, en la cual se halla la fuente, situada en la Provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia Machachi. Long.: 78°32', Lat.: 0°31' S
Fuentes de Tesalia y Gütig	Parroquia de Machachi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, al pie de los Nevados Pasocha y Rumiñahui, distante 3 Km. de Machachi. Long.: 78°32', Lat.: 0°28'
Fuente de "La Marquesa"	En la Hacienda "La Calera", distante 26 Km. de Quito
Fuente de "El Quitasol"	En los terrenos de la Hacienda "Hualilahua", perteneciente a la Parroquia de Aloag del Cantón Mejía, cerca del Río Quitasol, a unos 38 Km. aproximadamente de Quito y 7 Km. del pueblo de Aloag

Fuentes de la provincia del Tungurahua

Fuente de la Virgen de Agua Santa	Cantón Baños. Long.: 78°23' W, Lat.: 1°24' S
Fuentes de Badcung	Valle de Badcung, cercano al pueblo de Baños
Fuente "Cumandá"	Cantón Baños. Long.: 78°23' W, Lat.: 1°24' S
Fuente "Santa Clara"	En el mismo perímetro del Cantón Baños

En 1978, el antiguo Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), comenzó las actividades de exploración de este recurso con miras a

diversificar la oferta de recursos naturales aptos para la generación eléctrica y reducir el uso de combustibles derivados del petróleo. Estas actividades concitaron un apreciable interés y el consiguiente nivel de respaldo, lo que favoreció el desarrollo de los siguientes estudios:

1. Reconocimiento a escala nacional, con la cooperación técnica de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE);
2. Prefactibilidad (Fase I) de las áreas de Tufiño-Chiles-Cerro Negro (Provincia del Carchi);
3. Prefactibilidad (Fase I) del área de Chalupas (Provincia del Napo / Cotopaxi).

En 1984, el Gobierno de Italia y la OLADE formalizaron un acuerdo mediante el cual se concretó la asignación de un crédito no reembolsable para financiar el Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Binacional “Tufiño-Chiles-Cerro Negro”. El estudio concluyó en 1987, sin que se hayan realizado las perforaciones exploratorias indispensables para confirmar el modelo geotérmico. Más tarde, la crisis económica trajo como consecuencia una sensible disminución del interés por los nuevos proyectos de generación eléctrica, razón por la que se condicionó el desarrollo de las futuras investigaciones geotérmicas a la posibilidad, bastante remota, de que puedan ser financiadas únicamente con recursos no reembolsables de la cooperación internacional. No obstante, con sus propios recursos humanos y económicos, el INECEL continuó desarrollando algunas otras investigaciones de superficie en las áreas de Chalupas y Chachimbiro.

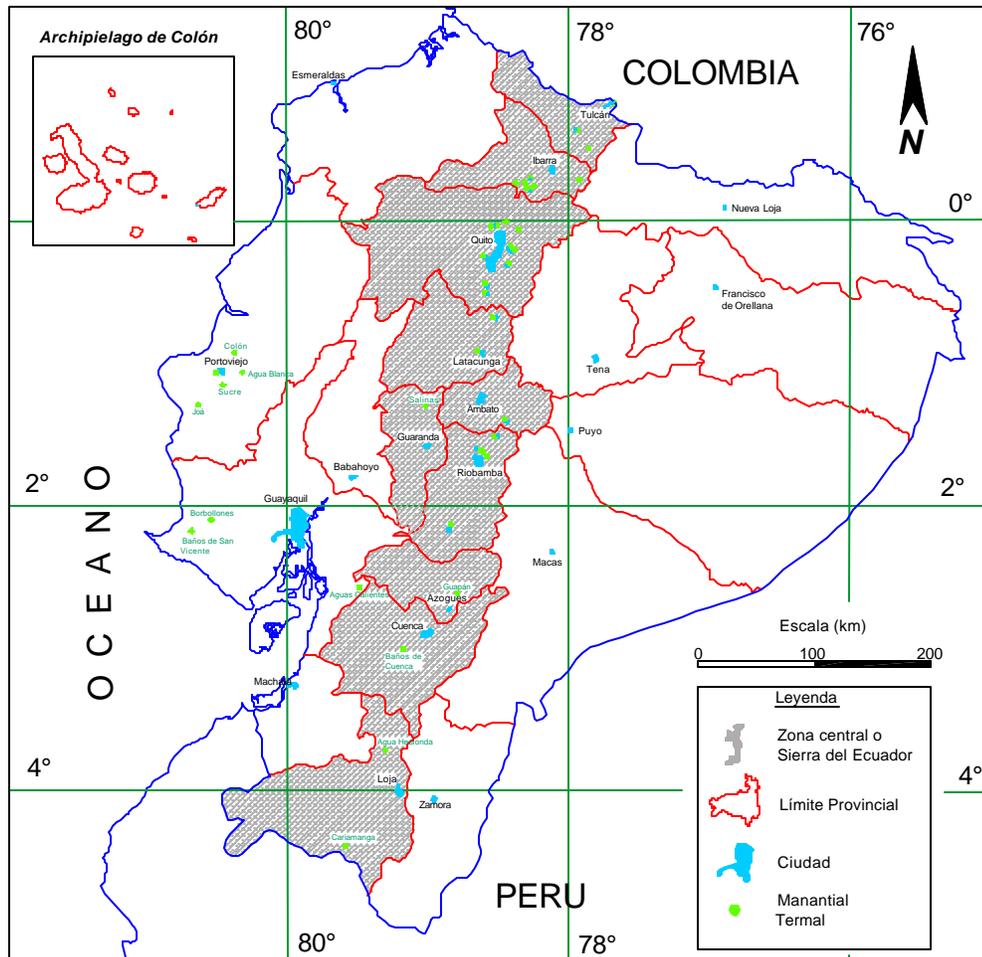


Fig. 1.5 Ubicación de las fuentes termales conocidas en el Ecuador (Basado en información de Muñoz, 1949)

En los años noventa, un estudio desarrollado por el INECEL identificó unas 17 áreas geotermales con interesante potencial de aplicación directa, cuyas características se indican en la tabla 1.4.

Basándose en el inventario nacional de los documentos generados por los diferentes estudios realizados, se han identificado tres áreas de interés prioritario:

- Tufiño-Chiles-Cerro Negro (Provincia del Carchi)
- Chachimbiro (Provincia de Imbabura)
- Chalupas (Provincias del Napo y Cotopaxi)

Tabla 1.4 Áreas con potencial geotérmico en el Ecuador. (Covielo, 1995)

Área	Características
Tufiño (Provincia del Carchi)	Alta y baja temperatura
Chalpetán (Provincia del Carchi)	Alta y/o baja temperatura
Iguen (Provincia del Carchi)	Alta y/o baja temperatura
Chachimbiro (Provincia de Imbabura)	Alta y baja temperatura
Cuicocha (Provincia de Imbabura)	Alta y baja temperatura
Imbabura (Provincia de Imbabura)	Alta y/o baja temperatura
Cayambe (Provincia de Pichincha)	Alta y/o baja temperatura
Mojanda (Provincia de Pichincha)	Alta y baja temperatura
Pululahua (Provincia de Pichincha)	Alta y baja temperatura
Valle de los Chillos (Provincia de Pichincha)	Media y/o baja temperatura
Papallacta (Provincia del Napo)	Alta y baja temperatura
Chalupas (Provincia del Napo/Cotopaxi)	Alta y baja temperatura
Tungurahua (Provincia del Tungurahua)	Baja temperatura
Chimborazo (Provincia del Chimborazo)	Media y/o baja temperatura
Salinas (Provincia de Bolívar)	Baja temperatura
San Vicente (Provincia del Guayas)	Baja temperatura
Cuenca (Provincia del Azuay)	Media y/o baja temperatura

Los referidos documentos han sido organizados y se encuentran actualmente en poder de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE).

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Antecedentes e Historia de los Baños de San Vicente

En el área de Baños de San Vicente, Provincia del Guayas, se conoce desde épocas remotas la existencia de fuentes termales, las que se creían consecuencia de espíritus malignos y, según se dice, los antiguos pobladores tenían temor de acercarse a ellas. Los españoles que desembarcaron en la Península de Santa Elena en su trayecto hacia el interior pernoctaron alrededor de estos manantiales, logrando restablecer su deteriorada salud debido al beneficio del lodo y las aguas de estas fuentes.

Don Vicente Rocafuerte, al promover para cantón a Santa Elena, menciona los méritos de las aguas termales de San Vicente. En 1871, Teodoro Wolf, entre los varios estudios geológicos y geográficos que hizo a lo largo del país, realizó lo que puede considerarse el primer análisis técnico – científico de estas aguas, señalando sus bondades terapéuticas. Durante el Gobierno del General Eloy Alfaro, ya en la época republicana, se le dio mucha importancia a este recurso, junto con el petróleo. Propiciando la construcción del ferrocarril que unía el Puerto de La Libertad con Baños de San Vicente, con Guayaquil y por ende con el resto del país.

En 1922, Telésforo Villacrés Laínez construye las primeras viviendas que dan facilidades de alojamiento a los enfermos y turistas para que puedan beneficiarse de esta agua, creando también las primeras fuentes de trabajo con la explotación de maderas finas. Entre 1924 y 1925, la British Oilfield Ltda. realizó perforaciones a varios metros del llamado “volcán de lodo” llegando a algo más de 400 pies (122 m) de profundidad encontrando solo agua de una composición similar a la de la fuente limpia (piscina caliente, localizada en el mismo lugar). Se dedujo con esto que ambos manantiales podrían tener una misma fuente de origen.

En 1942, el español Rafael Morey construye en el lugar un hotel sanatorio y en 1945 el Municipio de Santa Elena, basándose en los estudios del médico

municipal de ese entonces Dr. Claudio Arteaga Martinetti, edifica un hotel sobre la misma fuente termal. Para 1951, este mismo Municipio encomendó a una compañía franco – suiza, a petición del presidente de la Asociación Hotelera del Ecuador, el estudio de la zona de Baños de San Vicente, el cual incluía análisis de aguas, lodos y perforaciones. Lamentablemente el informe entregado por esta compañía no pudo ser encontrado.

En 1977, el Consejo de Santa Elena, presidido por el Ing. Ramón Muñoz, decide la contratación de la firma CONSUR Cía. Ltda. para que realice la evaluación física de los recursos hidrológicos, estudio de mercado y diseño completo de todas las instalaciones para un complejo termal.

En 1978, la Asociación de Jubilados del Guayas, presidido por el Dr. Publio Falconí, realiza las gestiones para la construcción de un centro de recuperación y descanso para jubilados. En 1979, en el Gobierno del Dr. Jaime Roldós Aguilera, a través de la Dirección Nacional de Turismo, determina se contrate la primera fase del Complejo. Etapa en la que se construyeron los elementos más importantes para el aprovechamiento de los recursos de hidro y fangoterapia, que es lo que actualmente existe y es llamado COMPLEJO TERMAL TURISTICO “TELESFORO VILLACRES” en nombre del fundador de la población.

Hoy en día se busca darle mayor impulso económico y social a la Península de Santa Elena; ello implica desarrollar y diversificar las características que esta zona posee. Las características de sus suelos están siendo recientemente aprovechadas en forma masiva para la agricultura gracias a los embalses construidos. Otra actividad de gran importancia constituye el turismo, el cual se ha desarrollado preferentemente a actividades de playa.

Baños de San Vicente es una parroquia que vive casi exclusivamente de los manantiales termales, a los que se les ha conferido cualidades terapéuticas reconocidas incluso en el exterior. Razón por la que la afluencia de turistas,

nacionales y extranjeros, es significativa, a pesar de que es un poblado pequeño y sin mucha difusión por parte de la Oficina Nacional de Turismo.

La ESPOL, dentro de su "Plan de Desarrollo a la Península de Santa Elena", esta interesada en desarrollar socialmente este sector, planeándose mostrar las bondades de estos manantiales termales a compañías, nacionales y extranjeras, especializadas en turismo. Pero, para que estas compañías se interesen seriamente en el proyecto, es necesario hacer una evaluación detallada de la zona, que determine químicamente la clase de agua que emana de estos manantiales; su fuente de origen y como llegaron hasta la zona de afloramiento; tipo de suelo; estudio de contaminación bacteriana; interés del público, facilidades de acceso. Este tipo de información atraería la inversión y aportaría en el desarrollo peninsular.

2.2 Justificación del Estudio

La tierra, además de proveer la energía almacenada en los materiales fósiles que alberga en su corteza, también genera energía en forma activa. En la extracción, tratamiento y utilización del petróleo, gas natural y carbón está implícita la recuperación de la energía acumulada en esos materiales a lo largo de los tiempos geológicos. La energía activa, en cambio, requiere de un rápido sistema de aprovechamiento al momento de su manifestación, dada su rápida disipación. Las erupciones volcánicas, las fumarolas y los movimientos sísmicos son las formas más espectaculares en las que se libera energía activa y que alcanza generalmente magnitudes incontrolables y por ello de riesgosa e inimaginable captación.

Una de las formas de producción de energía activa, cuyo aprovechamiento es técnicamente posible, es la que se origina en las profundidades del planeta y se transmite por conducción térmica a través de las distintas capas rocosas. Así, energía geotérmica es simplemente energía térmica obtenida de la tierra. Esta actividad geotérmica tiene manifestaciones superficiales

tales como fumarolas, geysers, fracturas de vapor, erupciones hidrotermales, manantiales calientes, etc.

Estas características superficiales de la actividad geotérmica han sido conocidas y usadas por siglos. Algunos registros muestran que los Chinos, Romanos, Turcos, Japoneses, Islandeses, Europeos Orientales y nativos Neozelandeses han usado estos recursos para calentamiento de hogares, baños y cocina. Estos usos continúan hoy en día en lugares como Japón donde más de 1500 manantiales calientes se utilizan en diversas aplicaciones.

Ecuador esconde en su subsuelo innumerables capas de aguas termales que brotan a la superficie tanto en la cordillera de los Andes como en zonas costeras del litoral. La mayoría de estas fuentes se cree son de origen volcánico. Los antiguos pobladores del país creían ver en ellas la cura efectiva a distintos tipos de enfermedades desde manchas en la piel hasta dolores en las articulaciones óseas, inclusive se decía que eran fuentes de la salud eterna.

Algunas de estas termas son explotadas comercialmente como fuente de agua mineral que es envasada y distribuida para su ingestión. La mayoría de ellas están inexploradas y por lo tanto sub-explotadas, muy pocas pueden ser consideradas balnearios o sitios de recuperación. El Estado, a través de los organismos encargados de hacerlo, muy poco ha hecho para un buen aprovechamiento de esta riqueza natural.

En muchos países de América, Europa y especialmente de Oceanía las fuentes termales son consideradas verdaderos privilegios de la naturaleza y son organismos especializados los que administran su explotación. Con un poco de inversión y los criterios científicos adecuados se han creado verdaderos centros de recuperación en donde se determina un uso racionalizado de las aguas, de los baños de barro y vapor, con pabellones

balneológicos y terapéuticos que brindan confort y tranquilidad para quienes buscan descanso físico y mental.

Incluso, estas manifestaciones termales superficiales podrían indicar la presencia en el subsuelo de algún reservorio geotérmico cuya energía puede ser usada para la generación de electricidad. La mayoría de los países ubicados sobre los bordes de márgenes tectónicas activas han iniciado y desarrollado planes para la exploración y explotación de este recurso como una fuente alterna y limpia de energía. El Ecuador no puede quedar ajeno a esta corriente mundial iniciada hace varias décadas, siendo esta una de las razones para presentar este proyecto, el cual pretende aumentar el conocimiento de los recursos geotérmicos nacionales.

Este proyecto se justifica en varios hechos: (1) permitió valorar la efectividad del sondeo eléctrico vertical como método indirecto para determinar planos de falla y zonas de alteración hidrotermal, sobre terrenos sedimentarios de la Península de Santa Elena; (2) permitió dar una clasificación geoquímica al tipo de agua presente en las poblaciones de Baños de San Vicente, Saya y Borbollones; (3) permitió identificar algunas estructuras en el subsuelo de esta área; (4) permitió observar los meses de mayor frecuencia de turistas y de donde estos provienen; (5) permitió comprobar la no existencia de bacterias en las aguas de los manantiales termales de Baños de San Vicente, y la presencia de E. coli en el pozo de captación de agua en el poblado de Saya.

CAPITULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

3.1 Marco Estratigráfico de La Península de Santa Elena

La Península de Santa Elena es un accidente geográfico ubicado en la parte central de la costa ecuatoriana, limitada al norte por la cordillera de Chongón – Colonche, al sur por el Golfo de Guayaquil, al este por el Estero Salado y la desembocadura del Río Guayas y al oeste por el Océano Pacífico.

De acuerdo a Goossens & Rose, 1973; Juteau et al., 1977 y Lebrat et al., 1987, se considera, a los terrenos que componen este accidente, como de origen alóctono.

Se cree que estos materiales fueron acrecionados a la margen occidental de los Andes durante la transición Cretáceo Tardío - Terciario Temprano (Feininger & Bristow, 1980; Shepherd & Moberly, 1981; Lebrat et al., 1987) y llevados a su actual ubicación gracias al movimiento de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana, deslizándose a través del sistema continental de fallas Guayaquil – Dolores – Romeral. Este sistema de fallas entra al continente sudamericano por el Golfo de Guayaquil, atraviesa Ecuador y Colombia llegando hasta el Mar Caribe.

De acuerdo a estudios gravimétricos y paleo magnéticos (Feininger & Segui, 1983) llevados a cabo sobre el noroeste de la costa peruana y suroeste de la costa ecuatoriana se ha encontrado que los materiales de la Península de Santa Elena tienen una rotación de 70° en sentido horario, ocurrida desde el Cretáceo Medio (Roperch et al, 1987), que confirman la naturaleza alóctona de la costa ecuatoriana.

La Península de Santa Elena es una plataforma compleja de estratos que yace hacia el sur y oeste de Guayaquil. La orilla noroeste de esta área forma un semicírculo que termina en una punta, llamada La Punta de Santa Elena (Fig. 3.1), donde está localizada la ciudad de Salinas. Los ríos en esta zona,

tales como el río Olón, el río Valdivia, río Salado, río Hondo y río Grande, desembocan hacia el oeste en el Océano Pacífico.

La orilla suroeste es bastante recta y los ríos más grandes, de los cuales el principal es el río Verde, desembocan en el Golfo de Guayaquil.

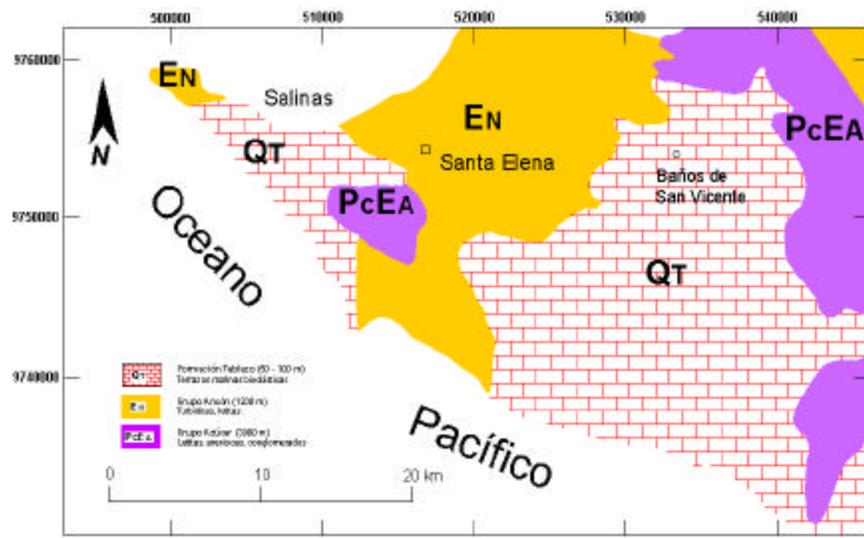


Fig. 3.1 Mapa geológico de la parte más occidental de la Península de Santa Elena (Tomado del Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1000000)

Los ríos de la parte este de la Península desembocan en el Estero Salado e incluyen el río Morro, río de Mate, Estero Bajén y el río Chongón.

Dentro de la Península de Santa Elena se encuentra la Cuenca Progreso, que tiene un eje con orientación noroeste – sureste y se sumerge hacia el delta del río Guayas.

Las estructuras de las fallas, en su mayoría transversales, también tienen un curso noroeste – sureste. Se ha determinado la presencia, en esta zona, de los siguientes grupos y formaciones estratigráficas que, en orden cronológico ascendente, son: Formación Piñón, Formación Santa Elena, Grupo Azúcar, Grupo Ancón, Formación Tablazo y los depósitos coluviales y aluviales recientes.

Los depósitos más significantes para el aprovechamiento del agua subterránea en la Península de Santa Elena corresponden a los esquistos y areniscas de grano fino, areniscas marinas de aguas profundas y conglomerados, pertenecientes a los Grupos Ancón y Azúcar; los depósitos de la Formación Tablazo; la Cuenca Progreso, que yace sobre los Grupos Ancón y Azúcar y los depósitos del Pleistoceno y recientes no diferenciados.

Los depósitos terciarios que yacen sobre las Formaciones Piñón y Santa Elena incluyen areniscas marinas y arcillas ínter estratificadas con tobas, horsteno (chert) y materiales silíceos. Se estima que estos sedimentos se derivan de la Cordillera de Chongón-Colonche.

La gran actividad tectónica de esta área ha producido fallas en los sedimentos terciarios y los ha plegado en pequeños bloques de tierra, algunos de los cuales contienen petróleo. Depósitos tardíos del Terciario y depósitos Cuaternarios están representados por conglomerados que yacen relativamente planos y areniscas que contienen numerosos fósiles. En la tabla 3.1 se muestra el marco estratigráfico del Bloque Santa Elena, donde se encuentra asentada la población de Baños de San Vicente.

3.1.1 El Cretáceo

3.1.1.1 Formación Piñón

Se denomina así al substrato volcánico sobre el cual yacen los sedimentos marinos a lo largo de toda la región costera del Ecuador, consiste principalmente de flujos de basaltos y diabasas con brechas y aglomerados, mayoritariamente de origen submarino y que tienen una edad Pre - Cayo. Los afloramientos más importantes ocurren a lo largo de los flancos norteños de la Cordillera transversal de Chongón – Colonche (con rumbo WNW-ESE)

y en las montañas de Jama que se dirigen hacia el noreste, los que representan bloques levantados limitados por fallas.

Tabla 3.1 Bloque Santa Elena - Marco Estratigráfico (Malone et al, 1999)

Período	Epoca	Edad	Unidades	Espesor (m)	Litología	Ambiente deposicional					
Cuaternario	Pleistoceno		Fm. Tablazo	30	Areniscas calcáreas	Marino somero					
Terciario	Neogeno	Plioceno									
		Mioceno									
		Oligoceno									
	Paleogeno	Tardío	Priaboniano								
			Medio				Bartoniano	Grupo Ancón	Punta Ancón / Fm. Zapotal	150	Areniscas gruesas
		Fm. Seca					500	Lutitas, limolitas y margas	Plataforma intermedia a marino somero		
		Fm. Socorro					460	Turbiditas finas y arcillas	Facies de talud a plataforma externa		
		Fm. Clay Pebble Bed					0 – 650	Arcillas conglomeráticas	Depósitos de remoción en masa en ambiente de talud (Stump)		
		Lutetiano	Fm. Passage Beds					Turbiditas finas	Abanicos turbidíticos – relleno de cuencas de talud		
		Ypresiano	Temprano				Paleoceno	Grupo Azúcar	1500 – 2000	Areniscas turbidíticas gruesas, conglomerados y lutitas oscuras	Complejo de abanicos turbidíticos depositados en ambiente marino profundo (Basin Floor Fans), turbiditas de alta densidad con participación minoritaria de flujos de baja densidad
	Thanetiano										
	Daniano	Temprano									
	Cretácico	Senoniano	Tardío				Maastrichtiano	Fm. Santa Elena	500	Arcillas pelágicas silicificadas, turbiditas, cherts intrusivos doleríticos	Sedimentación pelágica costanera con vulcanismo activo, turbiditas de baja densidad
							Campaniano	Fm. Cayo	2000	Tobas, lutitas oscuras, turbiditas con aportes piroclásticos	Secuencia granocreciente de turbiditas de alta a baja densidad con intercalaciones de lutitas pelágicas y hemipelágicas
Santoniano											
Temprano Medio		Coniaciano	Fm. Piñón	?	Basaltos, doleritas e intrusivos ultramáficos	Fondo oceánico					
		Turoniano									
		Cenomaniano									
		Albiano									

Esta Formación se caracteriza por fuertes anomalías gravimétricas positivas que representan la corteza oceánica (Feinger y Bristow, 1980) o está directamente subyacida por material del piso oceánico. Incluye intrusivos ultrabásicos que pueden representar la capa inferior de la corteza oceánica. La base de la Piñón es desconocida. En la Península solo se conocen pocos

afloramientos aislados en Santa Elena – Salinas, al sur de Azúcar, etc, que atestiguan la naturaleza oceánica del substrato en dichas zonas (Jaillard et al, 1993).

Esta Fm. Esta cubierta por una espesa serie sedimentaria de edad Crétaceo superior – Paleoceno, anteriormente conocida como la Formación Cayo, ahora dividida en tres formaciones (Benites, 1990-91, Marksteiner y Alemán, 1991). Las determinaciones de edades dan 104 – 84 – 72 millones de años; es decir, Cenomaniano – Senoniano, pero como la base de Cayo tiene edad Turoniano, la Formación Piñón no puede ser más reciente.

3.1.1.2 Formación Santa Elena (Cretáceo superior)

Sinclair y Berkey (1923) designaron como “Chert Series of Santa Elena Península” (ahora en desuso) una serie de sedimentos muy silicificados que constituyen el “esqueleto” de la Península de Santa Elena, al norte de una línea Punta Carnero – San Vicente y que forman en particular la totalidad del Cerro de la Puntilla. Sheppard (1927d, 1928d, 1937, 1946) interpretó esta Formación como resultado de una silicificación de sedimentos eocénicos, debido a un agente hidrotermal, en relación con episodios volcánicos post – Seca. La edad cretácea fue determinada primeramente por Coryel (en Sinclair y Berkey) por la presencia de varios foraminíferos.

De acuerdo a Jaillard et al, la Formación Santa Elena consiste de lutitas síliceas blancas, grises o verdosas, con delgados interbancos de lutitas verdes, conteniendo a menudo grandes cherts negros o marrones. Ocurren nódulos de calizas oscuras a veces mineralizadas (Fe, Mg), y/o decalcificadas. Benitez (1983) nota la presencia de turbiditas finas distales. En el Cerro San Juan, que soporta la represa Chongón, se presenta bajo la forma de secuencias pluri-decimétricas integrando de la base al tope: lutitas claras síliceas – margas – calizas con cherts negros. En el Cerro González (sureste de Zapotal), es una serie monótona bien estratificada, enteramente

silicificada, de sedimentos grises finos, a veces laminados, con pirita (anteriormente calizas ?). Por el carácter fino y monótono de la sedimentación, el alto contenido de radiolarios y la presencia de foraminíferos bentónicos de ambiente profundo, el medio de depositación parece ser pelágico y profundo, probablemente confinado a disaeróbico, con muy poca energía. Sin embargo, en muchos casos, el aspecto inicial de la roca está borrada por la intensa deformación tectónica (Jaillard et al, 1993).

Thalmann (1945, p. 23; 1947, p. 337 y 347) basándose en caracteres micropaleontológicos consideró a Santa Elena como equivalente de la Formación Guayaquil (Maestrichtiano). Jaillard et al (1993) confirma la edad maastrichtiana de la Formación Santa Elena y demuestra, por análisis bioestratigráficos recientes, que ésta alcanza al Paleoceno. Por lo tanto, esta unidad es estratigráficamente equivalente a la Formación Guayaquil.

Los análisis bioestratigráficos llevados a cabo por Jaillard et al comprenden muestras tomadas en:

Tope del Cerro González, en la que se determinaron los foraminíferos bentónicos *Bathysiphon* sp., *B. Gerochy* y *Haplophragmoides* sp., del Crétaceo superior – Paleoceno.

Lutitas verdes procedentes de la cantera ubicada al sur del Pozo Japonesa, varios kilómetros al sur de Santa Elena, contiene radiolarios *Amphipyndax tylotus*, *Archaeodictyomitra lamellicostata* y *Cenosphaera* sp. Del Campaniano superior – Maestrichtiano.

San Vicente, contiene los radiolarios: *Cenosphaera* sp., *Phormocyrtis striata* exquisita y *Stylosphaera* sp. que indican el intervalo Paleoceno – Eoceno inferior.

Noreste de San Vicente, se encontraron dientes de peces y de espículas tetraxónicas de esponjarios, los radiolarios *Bathropyramis* sp., *Buryella* aff. *tetradica*, *Cenosphaera* sp., *Dictyomitra* aff. *andersoni*, *Lychnocanoma* sp., *Phormocyrtis striata exquisita*, *Protoxiphotractus* sp. y *Thanarba* sp. (?) indican una edad Paleocena.

En la Cantera del Cerro de La Plata (Noreste del Morrillo), los cherts de la Formación Santa Elena contienen los radiolarios: *Cenosphaera* sp., *Dictyomitra* cf. *multicostata* y *Stichomytra* sp. de rango amplio (Cretáceo superior – Paleoceno).

En los Cherts del lado oeste del Cerro Chuculunduy (carretera Progreso – Salinas), se comprobó la presencia del foraminífero *Heterohelix* cf. *globulosa*, de los radiolarios *Amphypyndax tylotus*, *Archaeodictyomitra lamellicostata*, *Diacanthocapsa granti* y *Stylospongia* sp. que datan al afloramiento del Campaniano superior – Maastrichtiano.

La Formación Santa Elena esta caracterizada por una importante deformación tectónica, cuya intensidad incrementa de manera notoria hacia el Oeste. Presentando en las zonas de Santa Elena, San Vicente y Colonche pliegues apretados y echados, con esquistosidad de plano axial bien desarrollada, y planos de cizalla con buzamiento suave. La dirección de los ejes de los pliegues varía entre N 45 y N 140, con máximos de dirección N 70 y N 110. El echamiento general de dichas estructuras hacia el Norte indica que nacieron por cizalla hacia el NNE a NNO. Criterios de Cizalla, como estructuras en peces, planos de Riedel y planos “C” indican un sentido de movimiento hacia el norte o el nor-noroeste siendo coherentes con una deformación de cizalla hacia el norte $\pm 30^\circ$. La presencia de defrmaciones y posibles rotaciones posteriores (Ropert et al, 1987) lleva a considerar las geometrías medidas como aproximadas (Jaillard et al, 1993).

3.1.2.1 Grupo Azúcar (Paleoceno)

Lugar de definición Cerros de Azúcar. La formación del Grupo ha tenido un orden estratigráfico diferente según algunos autores, como se indica en el Léxico Estratigráfico (Bristow y Hoffstetter, 1977), en orden cronológico decreciente:

- a) Engabao / Chanduy / Estancia. (International Ecuadorian Petroleum Company: IEPC)
- b) Engabao / Estancia / Chanduy. (Garner, 1956. California Ecuador Petroleum Co, CALEC)
- c) Chanduy / Estancia / Engabao / Saya. (Marchant, 1961)

Siendo esta la clasificación superficial de este Grupo. Azad (1968) y Colman (1970) establecieron que, en la Península, la mayoría de las rocas más antiguas que el Eoceno superior están mezcladas dentro de un Complejo olistostrómico gigante de edad eocena superior, explicando así la dificultad de establecer una correlación estratigráfica regional. Por estudios realizados por geólogos del campo petrolero de Ancón, en pozos de petróleo, se ha determinado que, en el subsuelo, el Grupo Azúcar está dividido en las Formaciones Santo Tomás, Areniscas Atlanta y San José, que serían equivalentes a las Formaciones Estancia, Chanduy y Engabao en superficie. Passage Bed, inicialmente considerada como la Formación más reciente del Grupo Azúcar, finalmente es ubicada como la base del Grupo Ancón (Malone et al, 1999).

Jaillard et al (1993), realizó estudios bioestratigráficos recientes para tratar de eliminar las ambigüedades sobre las correlaciones de este Grupo. Estos análisis comprenden muestras tomadas en:

La parte superior del Cerro González, en la Carretera de Chongón a Julio Moreno, y en los Cerritos cerca de Azúcar. Estas contienen los foraminíferos bentónicos *Bathysiphon* sp., *Haplophragmoides* sp. y *Trochammina* sp.

En el desaguadero de la presa de Azúcar, que contiene los foraminíferos bentónicos *Bathysiphon* sp., *B. Gerochi*, *Haplophragmoides* sp., *Hyperammina* sp., *H. aff. elongata* y *Rzehakina* sp. del Crétaceo superior – Paleoceno.

Las playas al noroeste de Playas (colectadas por S. Benítez). Contienen diatomeas centradas no identificables y los foraminíferos bentónicos *Haplophragmoides* sp., *Nonionella* cf. *Cretacea*, *pseudobolivina* sp., *Rhabdammina* sp. (?), *Saccammina* sp., *Spiroplectoides clotha* (?) o *Spiroplectammina grzybowskii* (?) y *Trochammina globigeniformis*, que indican el intervalo Paleoceno – Eoceno inferior.

Se considera entonces, de acuerdo con Sigal (1968) y Faucher (1971) al grupo Azúcar como de edad Paleoceno Terminal (Thanetiano medio y/o superior), alcanzando posiblemente el Eoceno basal.

La **Formación Santo Tomás**, consiste de areniscas conglomeráticas que se intercalan entre las capas similares del Grupo Azúcar y la base del Grupo Ancón del Eoceno medio. Localmente se ha pensado reconocer la sucesión (desde abajo hacia arriba) Atlanta – Passage Bed – Santo Tomás (Bristow y Hoffstetter, 1977). En este caso Santo Tomás parece constituir el conglomerado de base del Grupo Ancón.

La **Formación Atlanta**, comprende una unidad inferior arenosa (Areniscas Atlanta), generalmente considerada como equivalente al Grupo Azúcar y una superior que consiste de alternancias lutitas – areniscas (Lutitas Atlanta). Según Marchant (1956) esta Formación está compuesta por capas desorganizadas, brechificadas y deslizadas similares a la Clay Pebble Beds, areniscas mas o menos estratificadas, a veces calcáreas o lutáceas, areniscas bien estratificadas en capas finas, blandas, claras y arcillosas

hasta duras, gruesas, oscuras y calcáreas, intercalaciones de lutitas negras con restos de plantas y “lentes de vitrinita” y areniscas masivas y gruesas.

La **Formación San José**, se encontraría debajo de la Arenisca Atlanta, y comprende una unidad inferior (> 1000m) de areniscas micáceas oscuras, y una unidad superior (120m) de lutitas y limos oscuros fosilíferos. Small (1962) indica que la Formación San José está en contacto con la Formación Guayaquil (probablemente Santa Elena).

Esas unidades son conocidas solo por registros y muestras de pozo, por lo que la información en cuanto a los medios de depositación de dichas unidades es pobre.

Grupo Ancón (Eoceno Medio a Superior)

Definido por los afloramientos de las quebradas Socorro y Seca del distrito petrolífero de Ancón. Algunos autores dividen al grupo en dos Formaciones (Socorro y Seca), otros en tres (Clay Pebbles Bed, Socorro y Seca), posteriormente Garner (1956), Marchant (1956, 1957) y Canfield (1966) incluyeron la Formación Punta Ancón. En la base, unidades locales conocidas solo por pozos (Atlanta, Santo Tomás, Passage Beds) han sido incluidas en el grupo Ancón (Small, 1962, Canfield, 1966), aunque se acepta que la Arenisca Atlanta sea el equivalente en subsuelo del Grupo Azúcar (Jaillard et al, 1995). Por lo tanto, según los resultados recientes de los geólogos del campo petrolero de Ancón, el Grupo Ancón esta constituido (de abajo hacia arriba) por: Fm. Passage Beds, Fm. Clay Pebble Bed, Fm. Socorro, Fm. Seca y Miembro Punta Ancón (Malone et al, 1999).

La **Formación Passage Beds** (Eoceno inferior probable), consiste de limos, arcillas y delgados bancos de areniscas, considerados como equivalentes a las Lutitas Atlanta (Bristow y Hoffstetter, 1977), aunque recientemente se la considera como la base del Grupo Ancón (Malone et al, 1999).

La **Formación Clay Pebble Bed** (Eoceno Medio), aflora a lo largo de los acantilados de la Bahía de Ancón y en la Quebrada Socorro. La litología tipo muestra arcillas verdes grises afectadas por espejos de fricción, guijarros de arcilla, cuarzo, cuarcita, conglomerados, chert, rocas ígneas, calizas (tipo San Eduardo) y olistolitos de areniscas turbidíticas. Localmente se observa una serie estratificada, pero más frecuentemente se presenta un conjunto caótico de bloques y clastos aislados en una matriz lutácea, con facies intermedios, tal como bancos parcialmente fragmentados o bancos plegados (slumps), a veces rotos. (Jaillard et al, 1993). Este miembro puede ser definido como una brecha sedimentaria compuesta de fragmentos de todas las Formaciones preexistentes, lo que sugiere que se trata de un depósito originado por movimientos tectónicos que acontecieron en la Cuenca Ancón. Su espesor varía de 0 a 750 m (Bristow y Hoffstetter, 1977).

Jaillard et al, llevaron a cabo análisis bioestratigráficos recientes (1993) sobre la Formación Clay Pebble Bed encontrando, en muestras colectadas en la Playa de Ancón, lo siguiente:

Foraminíferos bentónicos: Bathysiphon eocenica, Bulimina aff. microcostata, Cassidulina sp., Cibicides sp., Lenticulina cf. deformis, Nodosaria pyrula, Uvigerina sp. y Valvulineria subbadensis;

Foraminíferos planctónicos: Globorotaloides carcoselleensis y Globigerinatheka sp.;

Radiolarios: Cenosphaera sp., Lithapium plegmacantha, Lithocyclus ocellus, Lithocyrtis vespertilio, Phormocyrtis striata striata, Podocyrtis aff. diamesa, Spongatractus pachystylus, stylosphaera minor brevihastata, Theocyrtis sp., thyrsoyrtis triacantha, T. rhizodon;

Palinómorfos: Cyclosphaera euribei, Deltoidospora sp., Retriticolpites sp. y Verrucatosporites usmensis, así como esporas de hongos;

Nanofósiles calcáreos: *Chasmolithus medius*, *Discoluthus punctosus*, *Helicosphaera lophota*, *H. seminulum*, *Reticulofenestra dictyoda*, *Rhapdosphaera* sp. y *Toweius callosus*;

Vertebrados: abundantes dientes de peces.

Esta microfauna indica las partes temprana y mediana del Eoceno medio (Lutetiano), siendo excluida la base. La datación se apoya principalmente sobre la presencia de *G. carcosellensis*, *L. plegmacantha*, *L. vesperilio*, *P. aff. diamesa* y *P. striata striata*. Por lo tanto, la edad de la formación Clay Pebble Bed esta comprendida entre el Ypresiano terminal y el Lutetiano inferior no basal.

Las Formaciones Socorro y Seca fueron definidas por Murray (1923) del A.E.O. Ltda. y estudiadas con mucho detalle por Marchant (1956, 1957), Manley (1957), Small (1962), Montenegro y Loor (1988), Jiménez y Mostajo (1988). Son generalmente consideradas como depósitos de aguas profundas, desde plataforma externa hasta abanico submarino (Small, 1962; Sigal, 1968; Bristow y Hoffstetter, 1977; Montenegro y Loor, 1988; Marksteiner y Alemán, 1991, Benítez, 1991).

Esas dos Formaciones han sido diferenciadas sobre la base de registros de pozos que indican una unidad inferior rica en areniscas (Socorro) y una superior mayormente lutácea y calcárea (Seca) (Marchant, 1956, 1957). En el campo esta distinción es difícil, siendo la transición gradacional entre ambas facies.

La **Formación Socorro**, tiene un espesor aproximado de 700 metros. Su localidad tipo es la Quebrada Socorro en la Cuenca Ancón y tiene una edad limitando el Eoceno Medio y el Eoceno Superior. Los estratos de la serie Socorro yacen discordantemente sobre la superficie erosionada de la Clay Pebble Bed. Litológicamente esta compuesta por láminas de arcillas y areniscas, con lutitas arcillosas en forma predominante, éstas varían en

dureza y color desde el gris claro a oscuro. Debido a fases de meteorización son frecuentemente teñidas de color café rojizo y azul.

Las capas de arcillas grises son frecuentes, con superficies ocasionalmente llenas de yeso. Las areniscas también varían en dureza, el material cementado en algunos estratos es sílice y en otros es calcita, su color varía de blanco a café rojizo, sin embargo también es gris. Al examinar la composición mineralógica de estos materiales se observa que derivan de rocas ígneas y metamórficas de carácter ácido; con cuarzo, feldespato y micas, entre sus principales minerales. Las arcillas varían en su contenido de yeso, comúnmente cerca del tope de la Formación (Nuñez del Arco et al, 1986).

En los pozos del Campo Ancón, Marchant (1957) notó la existencia de una intercalación lutácea dentro de la Formación Socorro, a la cual denominó Seca Falsa, y que consideró como una línea de tiempo, que divide oblicuamente la Formación Socorro. A pesar de que falten argumentos sedimentológicos de campo, es probable que la Seca Falsa represente un cuerpo transgresivo (intervalo transgresivo y máximo de inundación) que separa dos cuerpos progradantes estrato y granodecrecientes (Socorro inferior y superior), escalonados hacia el oeste. En esta interpretación, el cuerpo arenoso del Campo de Santo Tomás representaría un depósito de plataforma somera, y la Formación Seca representaría una nueva secuencia de depósito, empezando por un nuevo intervalo transgresivo (Jaillard et al, 1993).

La **Formación Seca**, lleva el nombre de la Quebrada Seca, situada al sureste del campo petrolero de Ancón. Yace discordantemente sobre la Serie Socorro y tiene un espesor promedio de 100 metros. El mejor afloramiento se ve en las Quebradas seca y Engabao y en los arrecifes de la línea de costa. Esta constituida por arcillas, lutitas arcillo – arenosas, con pequeñas capas de arenisca. Las arcillas varían en color de gris a violeta, y

de café a rosado, éstas siempre se rompen en fractura concoidal. Existen además margas blancas friables que contienen un alto porcentaje de yeso. Las lutitas arcillosas varían en color de gris claro a oscuro, y de blanco a negro. La superficie de meteorización es de color blanca y usualmente acompañada por manchas de hierro (Nuñez del Arco et al, 1986).

En la Formación Seca disminuye el número de turbiditas, aumenta la fracción calcárea, se observan escasas tempestitas típicas, aparecen moluscos y foraminíferos de agua somera y las secuencias se vuelven grano y estratocrecientes. Esos rasgos son interpretados como el resultado de una somerización del ambiente deposicional, siendo sensible la progradación de la parte distal de un sistema probablemente costero (cordones litorales o barras de playa). La presencia de tempestitas indica que el depósito ocurrió en la zona de influencia de las olas, es decir muy probablemente a menos de 100 m de profundidad (Jaillard et al, 1993).

La **Formación Punta Ancón**, ha sido definida por Brown (1922), Murray (1925) y Sheppard (1928), considerada como de edad Oligoceno y correlacionada con la Formación Zapotal por Olsson (1931). Ha sido datada del Eoceno medio a superior (Manley, 1957) e incluida dentro del Grupo Ancón por Marchant (1956, 1957), Canfield (1966), terminología ahora adoptada.

Yace discordantemente sobre la Formación Seca y tiene un espesor aproximado de 100 metros. Litológicamente esta constituido por grauvacas de color amarillo – naranja con algunas capas arcillosas, conglomerados ligníticos y lutitas interestratificadas. Se incluye una arenisca blanca localmente brechosa de ceniza volcánica que aflora en la zona de Punta Ancón. La presencia de vetillas de sílice y calcita son muy comunes en los estratos de areniscas. Además, la presencia de material tobáceo parece indicar que hubo una actividad volcánica durante este periodo (Nuñez del Arco et al, 1986).

Jaillard et al realizó estudios bioestratigráficos recientes (1993) sobre la Formación Punta Ancón. En muestras colectadas en Punta Ancón (Anconcito), en Punta Pita y Punta Paz (Sureste de Ancón) se determinó:

Foraminíferos bentónicos: Amphistegins sp., Bolivina sp., B. maculata, B. jacksonensis, B. alazanensis, Bulimina sp., B. lineata, Cassidulina sp., C. crassa, Cassidulinoidea sp., Cibicides hodgei, Eponides cf. minimus, E. cocoaensis, Fursenkoinasp., Gyroidina aff. chirana, Nodosaria consobrina, N. pyrula, Nummulites sp. (?), Rhabdammina eocenica, Stichocassidulina sp., Stilostomella sp., S. cocoaensis, S. advena, Uvigerina yazooensis, Valvulineria sp., V. samanica, V. cf. texana, V. cf. subbadensis;

Foraminíferos planctónicos: Globigerina cf. eocanica, Gg. eocaena, Gg. aff. officinalis, Globorotalia sp. y Turborotalia sp.;

Radiolarios: Cenodiscus sp., Cenosphaera sp., Colocyclella semipolita, Lithaphium sp., Lithocyclia ocellus, Lythocyrtes vespertilio, Lychnocanoma bellum, Periphaena decora, P. delta, Phacodiscus sp., Podocyrtes sp., P. cf. ampla, P. fasciolata, P. papalis, P. aff. seminona, P. trachodes, Sethocyrtis babylonis, Spongatractus pachystylus, Spongodiscus sp., Spongurus bilobatus, Spyrida sp., Stylosphaera minor brevihastata, Theocyrtis sp., Thyrsocyrtis rhizodon y T. triacantha;

Palinómorfos: Bombacacidites sp., Deltoidospora sp., Inaperturopollenites sp., Microthalites sp., Retibrevitricolpites increatus, Retitricolpites sp., R. simplex, Retitricolporites medius, Spinizonocolpites sp., S. echinatus, Spirosycolpites spiralis, Spirosunocolpites spiralis, Verrucatosporites usmensis, así como esporas de hongos y dinoflagelados indeterminados;

Nanofósiles calcáreos: Chiasmolithus grandis, Coccolithites gammation, discolithus punctosus, Helicosphaera lophota, H. seminulum, Micrantholithus baskensis, M. enfastir, Phontosphaera sp., Reticulofenestra dictyoda y Toweius callosus;

Otros: Caparazones de ostrácodos y espículas de esponjarios.

Dicha microfauna, caracterizada por los foraminíferos *G. eocaena* y *G. aff. officianilis*, y los radiolarios *L. ocellus*, *P. trachodes*, *P. aff. ampla*, *S. pachystylus* y *T. triacantha* indican la parte superior del Bartoniano. Dicha datación confirma la dada por Bristow y Hoffstetter (1977), pero no confirma la posibilidad de la existencia del Eoceno superior al tope de la Formación en Punta Ancón (Manley, 1957).

Según Jaillard et al (1993) la Formación Punta Ancón se interpreta como secuencias de progradación de playa, que comprenden desde abajo hacia arriba:

1. Alternancias de areniscas y lutitas, que representan depósitos de ante-playa de energía baja a moderada (off-shore).
2. Areniscas de cara de playa de alta energía, con la cara de playa inferior (lower shore-face) formada de areniscas masivas de color verde oscuro, laminaciones horizontales y abundantes restos vegetales que corresponden a la zona de influencia de las olas de buen tiempo. Y la cara de playa superior (upper shore-face) constituida de areniscas masivas potentes de color verde oscuro, laminaciones oblicuas grandes y restos de plantas que corresponden a la zona de resaca, comprendida entre la zona de rompiente de las olas (breaker) y la zona de vaivén (swash),
3. Areniscas con grandes laminaciones oblicuas suaves, que representan depósitos de la playa misma (foreshore), correspondiendo a la zona de vaivén de las olas, y
4. Lutitas o calizas de lagoon o de tras-playa de baja energía (back-shore)

3.1.3 El Cuaternario

3.1.3.1 Formación Tablazo (Pleistoceno)

El nombre es tomado de las terrazas marinas del Perú. Con la excepción de los depósitos aluviales de la planicie Colonche, todos estos depósitos cuaternarios alcanzan la playa, formando cuatro niveles de Tablazos. En los lugares que aflora esta Formación se observa un ligero buzamiento; de acuerdo a este buzamiento se puede afirmar que se trata de un solo nivel de Tablazo, el cual se encuentra moldeando las estructuras antiguas a alturas variables, por encontrarse afectado por la tectónica de fallas cuaternarias. Su litología hace lentes de lumaquelas, areniscas calcáreas, arenas conglomeráticas arcillosas con conchas y nódulos, y arenas finas con un espesor aproximado de 40 metros.

3.1.3.2 Depósitos Coluviales Y Aluviales Recientes (Pleistoceno y Holoceno)

Los depósitos coluviales pueden ser encontrados en la Península de Santa Elena como acumulaciones mal clasificadas de sedimentos constituidos por arenas, arcillas y gravas que representan sedimentos de pie de monte. Los depósitos aluviales están constituidos por materiales muy variables de acuerdo a la zona de aportes: arenas y rodados grandes provenientes del Grupo Azúcar; arenas sueltas y arcillas removidas ligadas al Grupo Ancón, Formaciones Zapotal y Dos Bocas.

3.2 Marco Tectónico de La Península de Santa Elena

3.2.1 Principales Estructuras Regionales

La Península de Santa Elena está constituida por los siguientes rasgos estructurales:

1. *Cordillera de Chongón – Colonche*. Horst dispuesto en sentido E-W e integrado por un substrato volcánico (Formación Piñón), y su primera cubierta sedimentaria: Formación Cayo.
2. *Depresión Chongón – Colonche*. Franja paralela a la Cordillera Chongón – Colonche asentada al sur de ésta, se encuentra rellena principalmente de sedimentos correspondientes al Grupo Azúcar.
3. *Horst Chongón*. Emplazado al sur de la depresión Chongón – Colonche y dispuesta paralela a ésta, posiblemente se extiende hacia el oeste, lo constituye el grupo Ancón.
4. *Horst Azúcar – Playas*. Se presenta en sentido NW-SE y delimita la región sur de la Cuenca Progreso y flanco norte de la Cuenca Ancón. El Grupo Azúcar integra esta estructura.
5. *Cuenca Progreso*. Limitada por el Horst Chongón y la Cordillera de Chongón – Colonche al norte, y por el Horst Azúcar – Playas al oeste. Esta rellena por sedimentos de las Formaciones Tosagua y Progreso depositadas con algunas diferencias litológicas en la depresión Bellavista y las dos subcuencas Julio Moreno y Gómez Rendón.
6. *Cuenca Ancón*. Limitada al este por el Horst Azúcar – Playas. Uniéndose al norte con la depresión Colonche. Presenta afloramientos, principalmente del Grupo Ancón, ocultos por sedimentos cuaternarios (Formación Tablazo).

CAPITULO IV

GEOLOGÍA DEL AREA

4.1 Geología Local

La zona considerada en este trabajo esta delimitada por los siguientes puntos, expresados en coordenadas UTM sobre la Hoja Topográfica de Zapotal escala 1:50000, comprendiendo un área aproximada de 70 km²:

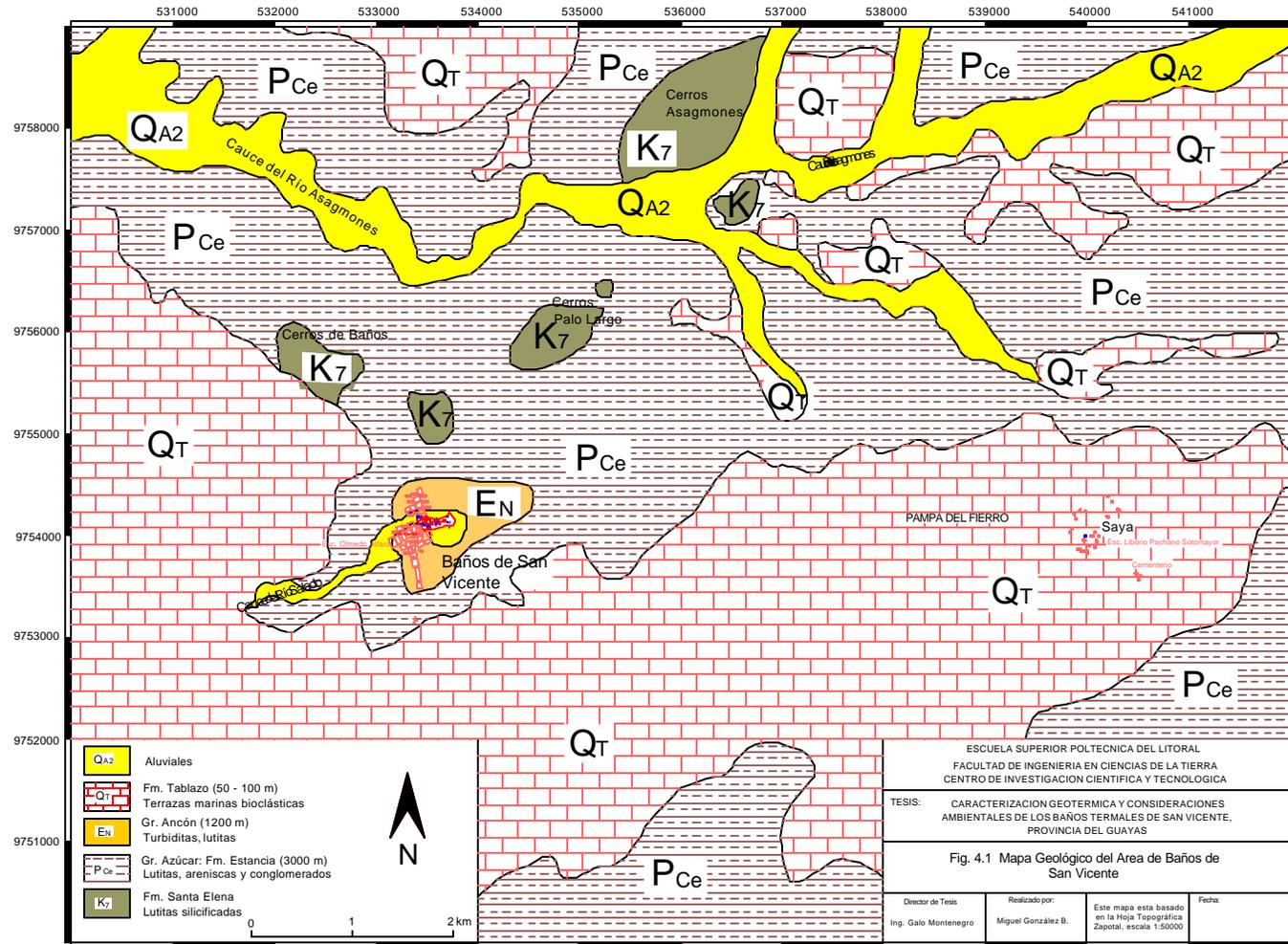
	X	Y
P1	530000	9759000
P2	542000	9759000
P3	542000	9750000
P4	530000	9750000

El área de Baños de San Vicente está constituida principalmente por areniscas, areniscas arcillosas y lutitas del Grupo Azúcar, que se manifiestan sobre las zonas centro, norte y este del área considerada (Fig. 4.1). Estos materiales se presentan, en la mayoría de los casos, poco consolidados debido a intemperismo, con coloraciones que van desde café oscuro, café claro, gris a amarillo pálido en las áreas con presencia de rocas argiláceas. Debido a la poca accesibilidad de la zona y la falta de quebradas donde afloren las capas fue muy difícil obtener datos sobre el rumbo y buzamiento de los estratos. Donde fue posible medirlos se observó que no hay un rumbo e inclinación definidos, y que a lo largo de esta Formación existen pliegues de tamaños variables cuya génesis, localmente, obedece mas a deslizamiento de las capas por gravedad, que por esfuerzos.

En la parte sur y oeste hay predominancia de los materiales arenosos, de mayor porosidad, pertenecientes a la Formación Tablazo. Estos depósitos de edad cuaternaria se presentan en forma de arenas menos consolidadas sobre amplias extensiones del terreno.

Cortando al Grupo Azúcar, en la parte norte, aparecen los materiales aluviales recientes del Río Asagmones, que se caracterizan por ser niveles bien clasificados de arenas y rodados de tamaño variable provenientes del Grupo Azúcar, Formación Santa Elena o Formación Tablazo. Dentro del

Fig. 4.1 Mapa Geológico del Area de Baños de San Vicente



Grupo Azúcar, a la altura de los Cerros Asagmones, Palo Largo y de Baños, afloran areniscas de grano medio a grueso bien consolidadas de color café oscuro e incrustaciones de cuarzo. Junto con este material hay lutitas de color gris oscuro muy fracturada y rellenas con calcita. En el flanco sur del Cerro de Baños es posible encontrar lutita alterada, posiblemente por acción hidrotermal, y silicificada. Se considera que estos materiales pertenecen al Grupo Ancón.

Se elaboró una columna geológica de esta área (Fig. 4.2) a lo largo de la quebrada del Río Salado, aproximadamente 150m al este del Complejo Termal. Los primeros 16m corresponden a las areniscas bioclásticas de la Formación Tablazo que yacen horizontalmente. Existe una falla en el nivel inferior que no corta a esta formación, por lo que no puede ser más joven que el cuaternario. Por la abundancia de material conchífero, estas capas se formaron en un ambiente marino superficial de aguas tranquilas y abundancia de especies marinas, ubicándose en un ambiente arrecifal. Se considera que las capas infrayacentes a la Formación Tablazo corresponden a la Formación Seca del Grupo Azúcar.

La siguiente secuencia, desde los 16 hasta los 56 metros, comprende una sucesión de areniscas no muy consolidadas, húmedas y de color café rojizo, areniscas masivas bien consolidadas de color café oscuro y zonas de falla. Las primeras muestran los siguientes rumbos y buzamientos $346^{\circ}\text{Az}/67^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\text{Az}/57^{\circ}\text{E}$, no presentan laminación de ningún tipo en la base, por lo que se asume que es un solo bloque. Conforme se avanza en la quebrada aparece una zona de falla de aproximadamente 5m de espesor ($10^{\circ}\text{Az}/66^{\circ}\text{E}$) rellena de material triturado. Siguiendo a las fallas se encuentran las areniscas masivas bien consolidadas con las direcciones e inclinaciones ya mencionadas. Estos niveles muestran pliegues de gravedad (slumps) ligeramente consolidados con nódulos de areniscas finas bien consolidadas en su interior. Estas características de los estratos indican que se depositaron en un ambiente de deslizamiento lento y continuo debido a

4.2 Principales Estructuras

De acuerdo a los pocos datos sobre rumbos y buzamientos disponibles se elaboró un mapa de isoformas para averiguar la disposición de las estructuras formadas, este mapa se muestra en la Fig. 4.3. La mayoría de estos datos se concentran en varias zonas: al norte del poblado de Baños de San Vicente, en la cuenca alta del Río de las Chiriguas y en la cuenca alta del Río Piedra Colorada, al norte y sur de Saya respectivamente.

Las curvas estructurales muestran la presencia de dos pliegues. El primero muestra un anticlinal y un sinclinal, ambos con un eje NE – SO que corre desde Baños de San Vicente hasta los Cerros Asagmones. El segundo, ubicado en la parte este del área de estudio, presenta solo un anticlinal y tiene dirección dominante NO – SE. Los manantiales termales se encuentran ubicados sobre el eje del primer anticlinal.

Tal como se observa en el diagrama de rosas de la Fig. 4.4 existen tres direcciones principales de fracturamiento: 0°, 80° y 140° azimuth. Este hecho es especialmente notorio en la parte central del Grupo Azúcar, al norte de los manantiales termales, y que coincide con la ubicación de los Cerros Palo Largo y de Baños. Los cuerpos rocosos que forman estos cerros, junto con aquellos de los Cerros de Asagmones constituyen materiales competentes sobre los que se pueden apreciar mejor las fracturas. Estos cerros están limitados por fracturas y muestran una disposición de paralelismo con las direcciones principales de los sistemas de fracturas; es decir, NO – SE y NE – SO, siendo el reflejo del comportamiento estructural de toda la región cuyas fallas y fracturas siguen las mismas direcciones principales.

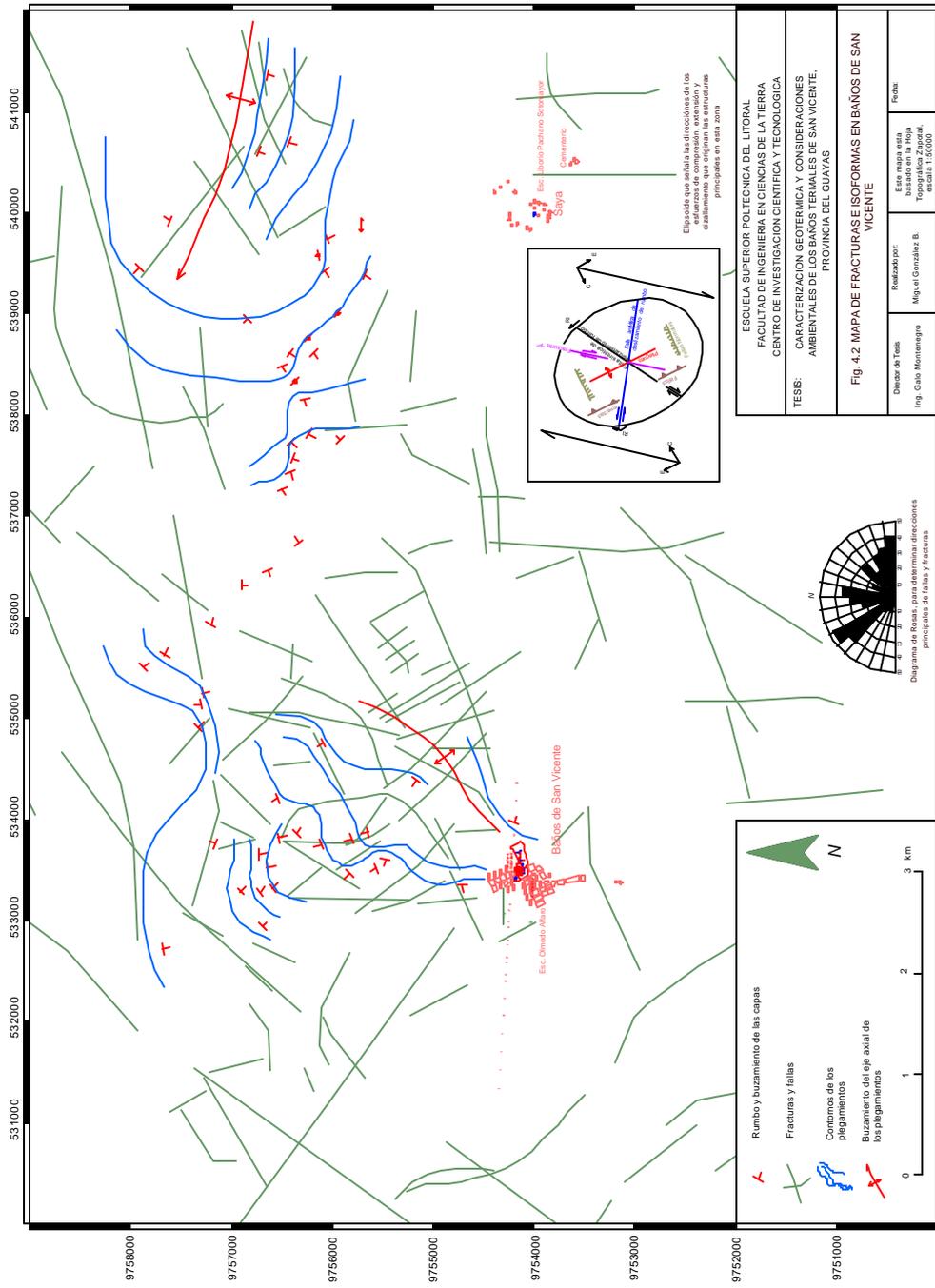


Fig. 4.3 Mapa de Fracturas y curvas estructurales de Baños de San Vicente

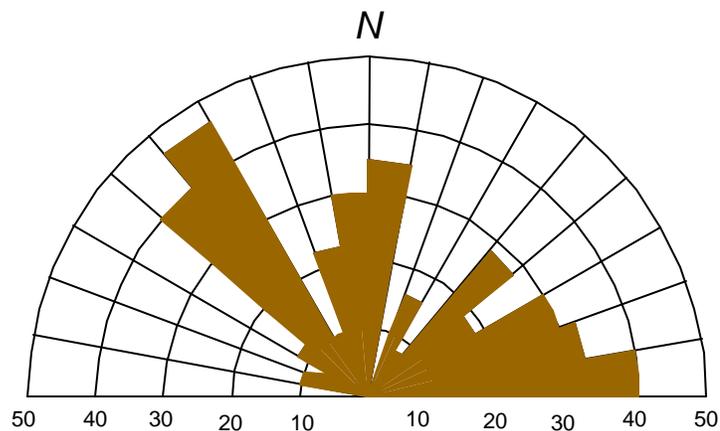


Fig. 4.4 Diagrama de Rosas que muestra las direcciones de fracturamiento predominantes en Baños de San Vicente. Los números indican la cantidad de fracturas en una dirección dada.

4.3 Hidrogeología Local

La red hidrográfica está constituida por ríos que permanecen secos por lo menos 8 de los 12 meses del año. El drenaje es sub – angular indicando un aparente control por fallas y fracturas. En la Fig. 4.5 es evidente la ocurrencia, en este sector, de tres sub – cuencas que controlan la dirección de las aguas y diferencian los terrenos sobre los cuales aparecen.

La primera de estas sub – cuencas tiene al Río Asagmones como su arteria principal y esta ubicada en la parte norte del mapa mostrado en la Fig. 4.5. Es la mayor y más densa de las tres, forma un gran cauce cuya dirección esta controlada por las grandes fallas que cortan este sector. Está asentada sobre los materiales areno arcillosos del Grupo Azúcar, razón por la cual tiene una densidad de drenaje media. Su dirección de drene es hacia el oeste, desembocando paulatinamente al Océano Pacífico sobre la costa occidental de la Península de Santa Elena.

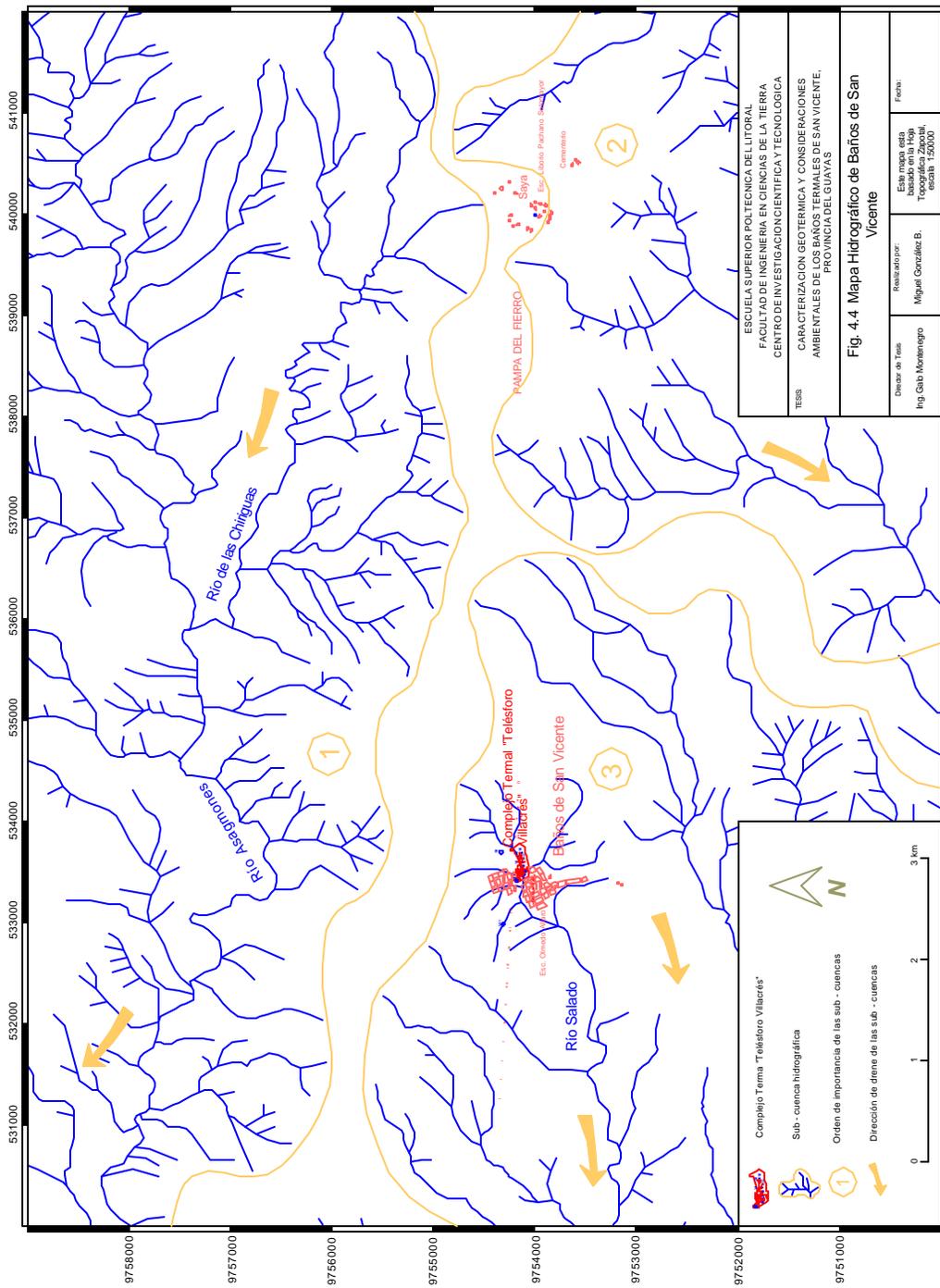


Fig. 4.5 Mapa Hidrográfico de Baños de San Vicente

ESCUOLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA
TEMA: CARACTERIZACIÓN GEOTÉRMICA Y CONSIDERACIONES AMBIENTALES DE LOS BAÑOS TERMALES DE SAN VICENTE, PROVINCIA DEL GUAYAS
Fig. 4.4 Mapa Hidrográfico de Baños de San Vicente
Diseñador de Tesis: Ing. Gab. Montenegro Realizado por: Miguel González B. Fecha:
Este mapa está basado en la Hoja Topográfica 1:20000, UTM 18S, 2000.

La segunda sub – cuenca tiene a los Ríos Verde y Pepita Colorada como sus principales drenes. Estos Ríos nacen de la Pampa del Fierro y las zonas altas al oeste y este de Saya respectivamente. El primero de ellos, por estar originalmente sobre terrenos arenosos de la Formación Tablazo, no presenta un drenaje muy pronunciado; no así, el segundo, cuyo drenaje es un poco mas acentuado por encontrarse sobre los materiales areno – arcillosos del Grupo Azúcar. Su dirección de drene es hacia el sur, desembocando en el Océano Pacífico sobre la costa sur de la Península de Santa Elena.

La tercera sub – cuenca está formada por los Ríos Salado y Tambo como los principales receptores de agua. Este drenaje se formó casi exclusivamente sobre las arenas de la Formación Tablazo razón que explica su baja densidad. Esta ubicado en la parte suroeste de la zona estudiada. El Río Salado nace precisamente sobre los manantiales termales en el poblado de Baños de San Vicente. Aparentemente el fracturamiento tiene poca incidencia sobre esta sub – cuenca. Su dirección de drene es hacia el suroeste, desembocando en la Laguna Velasco Ibarra al sur de la ciudad de Santa Elena.

CAPITULO V

**CARACTERISTICAS TERMALES
SUPERFICIALES**

5.1 Características Termales Superficiales

Se consideran como características termales superficiales a aquellas manifestaciones en superficie que presenten valores de temperatura, producidas de forma natural, superiores en al menos 4° centígrados a la temperatura media anual de la zona a considerar, y como resultado de esa variación de temperatura, muestren rasgos o evidencia de alteración física y/o química en la zona.

No hay manifestaciones termales asociadas a sistemas estancados (no convectivos). Usualmente no hay, o son muy pocas, las manifestaciones termales asociadas a sistemas de acuíferos en el basamento y sistemas de salmueras.

Existen características termales superficiales que se manifiestan dependiendo del tipo de sistema hidrotermal presente. En sistemas líquido dominante, sobre terrenos de topografía relativamente plana, es usual hallar las siguientes características termales en superficie (Hochstein, 2000):

- 1 Manantiales en ebullición con pH neutral a alcalino, descargando agua tipo NaCl;
- 2 Manantiales calientes y de aguas claras con significantes depósitos de sílice amorfa (SiO_2 coloidal da al agua caliente una coloración ligeramente azulada);
- 3 Ocurrencia rara de geysers (descarga de fluido en dos fases).

Hay otras clases de manifestaciones termales superficiales, pero éstas se expresan bajo otro tipo de sistemas y terrenos. En la mayoría de los sistemas hidrotermales la ubicación y tipo de estas manifestaciones esta controlado por:

1. La entrada total de calor al fondo del reservorio;

2. Parámetros del reservorio: permeabilidad vertical, longitud de la ruta de los fluidos, etc;
3. Parámetros de los fluidos: densidad, viscosidad, temperatura, naturaleza de los fluidos, etc.;
4. Factores que afecten el influjo de fluidos mas fríos a varios niveles dentro del sistema, e incluso en superficie;
5. Factores que afecten el flujo de salida de los fluidos calientes a niveles más profundos.

Sin embargo, la ubicación y tipo de estas descargas, incluso para sistemas de la misma clase, pueden variar entre dos sistemas geotérmicos.

A continuación se da una clasificación simple de estas manifestaciones, basándose en el modo de la descarga (Hochstein, 2000):

- (a) Descargas difusas (Fig. 5.1): suelos alterados por vapor, suelos calientes, evaporación al aire libre;



Fig. 5.1 Las aguas en ascenso, a altas temperaturas, emiten vapores calientes que alteran la roca por la que circulan. Siendo este fenómeno más evidente en los materiales superficiales, produciendo los denominados suelos alterados por vapor (steaming ground). En esta figura se aprecia este tipo de alteración ocurrida en el Parque Geotérmico de Orakeikorako, Nueva Zelanda

- (b) Descargas directas (Fig. 5.2): manantiales templados y calientes, fumarolas, grietas de vapor, etc.;



Fig. 5.2 Las descargas directas varían en sus dimensiones. Pueden ser manantiales con unos pocos centímetros (como algunos en Baños de San Vicente) hasta varias decenas de metros en su diámetro, como el que se aprecia en la figura. Este manantial se denomina "Champagne Pool" y está localizado en el Parque Geotérmico de Way-O-Tapu, Nueva Zelanda. Es de notar la gran cantidad de vapor que emite este manantial y, como resultado de esto, la alteración del suelo en los alrededores. A pesar de ello la vegetación es exuberante. Existe la presencia de microorganismos termales en los bordes de esta laguna, lo cual es evidente por la coloración café– anaranjada en esa zona.

- (c) Descargas intermitentes (Fig. 5.3): geysers;



Fig. 5.3 La salida violenta de fluidos en dos fases es común en campos geotérmicos presurizados con gran dominio volcánico. El de la figura es el "Diamond Geyser" del Parque Geotérmico de Orakeikorako, Nueva Zelanda. En Baños de San Vicente no existe tal tipo de manifestación, indicando que la zona no es geopresurizada.

(d) Descargas catastróficas (Fig. 5.4): erupciones hidrotermales;



Fig. 5.4 En algunos casos, a pesar de haber flujo de fluidos, la energía en el interior de un sistema se acumula, ya sea por el amontonamiento de materiales a la salida del manantial o por la obstrucción, en niveles más profundos, de la ruta de ascenso de los fluidos. Cuando la resistencia de las capas que rodean al fluido acumulado es sobrepasada entonces se produce una salida violenta del líquido termal junto con rocas y sedimentos, denominándose este fenómeno como erupción hidrotermal. En la figura se aprecia una erupción hidrotermal ocurrida en "Kuirau Park" de Rotorua, Nueva Zelanda. Obsérvense los materiales depositados sin ningún orden en los alrededores y la intensa evaporación de uno de los manantiales. No se ha encontrado un fenómeno de este tipo en Baños de San Vicente.

(e) Descargas cubiertas: flujos cubiertos de salida, seepage

5.2 Características Termale en Baños de San Vicente

En Baños de San Vicente se han observado solamente descargas del tipo directas, en las figuras de los manantiales termale. No se han apreciado las descargas difusas, intermitentes ni catastróficas y quizás si halla manifestación de las descargas cubiertas. En esta zona se tiene una topografía relativamente plana, sin mucho relieve, y de los valores de temperatura medidos en los manantiales es de suponer que el sistema presente en esta área es predominantemente líquido dominante de baja presión y temperatura.

En la Fig. 5.5 se observa la ubicación de casi todos los manantiales dentro y en los alrededores del Complejo Termal "Telésforo Villacrés". No se aprecian los manantiales M6 y B1 ubicados en Saya y Alicante respectivamente. Para la ubicación de estos puntos hay que referirse a las hojas de descripción de cada manantial. Se observa que los manantiales presentan dos direcciones dominantes: 45° azimuth, formados por los puntos M11, M3, M1; y 330° azimuth, formado por los puntos M8, M5, M4, M10, M2. Estos son casi los mismos rumbos dominantes en las fracturas y fallas, tanto locales como regionales. Esto sugiere que la ocurrencia de los manantiales obedece a un control estructural, siendo la zona del manantial M1 el punto de encuentro de estos dos sistemas de fallas regionales. Esta idea se basa en el hecho del caudal notoriamente grande que tiene este manantial en comparación con los otros; a más de que también es el de mayor temperatura. La descripción de cada uno de estos manantiales se da a continuación

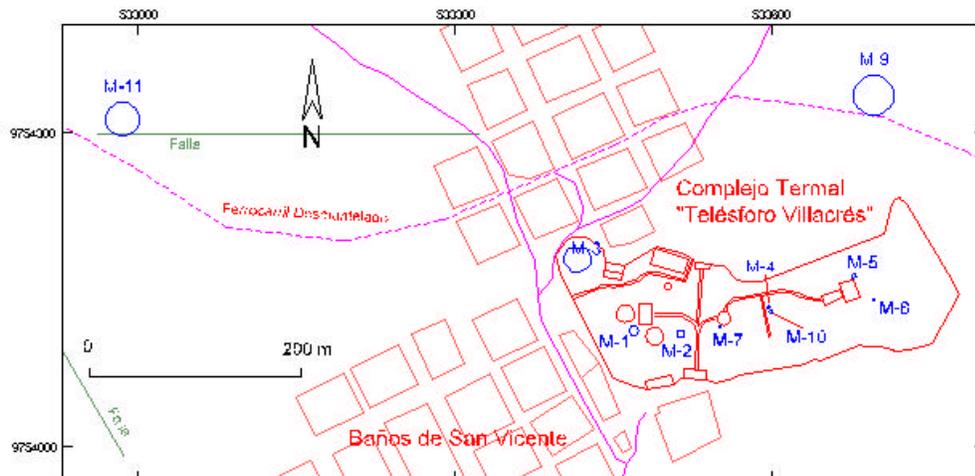


Fig. 5.5 Este gráfico muestra la ubicación de casi todos los manantiales y albaradas de los que se tomaron muestras para este trabajo. M-6 y B-1 no aparecen por estar ubicados en zonas muy alejadas, el primero en la población de Saya 7 km. al este de Baños de San Vicente, y el segundo en Alicante ~8 km. al noreste de Baños

Muestra # 1

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533469 9754110 cota: 80 msnl
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura: Piscina caliente
Medido por: Miguel González
Fecha: 19 de julio de 2002

Descripción:

Manantial con agua cristalina de coloración verde azulada, a simple vista no hay evidencia de hidrocarburos. Hay emanación continua de burbujas, no emite mal olor, el material alrededor es arenoso. Por observaciones hechas en el manantial M-2 se cree que las rocas que afloran en esta figura son lutitas claras muy fracturadas. No se notan depósitos de sílice alrededor. La vegetación fue retirada debido a la construcción del Complejo, pero es de suponer que no existió o fue muy poca, ya que este manantial está ubicado sobre el cauce seco del Río Salado. Se encontraron huesos de animales en su fondo, posiblemente pertenecientes a algún tipo de Mastodonte o Paquidermo. El pH = 6.5.



Fig. 5.6 Esta piscina caliente es el lugar más frecuentado por turistas en el Complejo Termal. Su temperatura y contenido de sólidos disueltos le confiere, según estas personas, cualidades curativas y de relajamiento.

Temperatura y lugar de medida: 37°C en el centro de la piscina

Caudal (l / s): ~ 2

Marca en la botella de muestreo: M-1

Muestra # 2

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533513 9754106 cota: 80
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura: Manantial junto al cuarto de bombas
Medido por: Miguel González
Fecha: 19 de julio de 2002

Descripción: Manantial de agua color verde claro. Este manantial fue originalmente usado como piscina de recreo, pero eventualmente terminó siendo solo usado como suministro de agua para baños y servicios higiénicos, además también provee de agua a la alberca de lodo (M-3). Hay emanaciones fuertes y constantes de burbujas de gas, posiblemente inflamable. No hay vegetación alrededor. Se nota la presencia de una lutita muy fracturada aflorando dentro del manantial. Dentro del perímetro de esta figura hay otra emanación de agua que, debido a la gran cercanía uno de otro, se cree es la misma fuente. El material que rodea esta característica termal es arenoso de grano fino y puede no ser representativo de los verdaderos sedimentos que cercaban al manantial, ya que se rellenó las zonas alrededor con cascajo por la construcción del Complejo. No se percibió evidencia de mal olor, pH = 6.7. Hay presencia, aunque en muy poca cantidad, de petróleo.



Fig. 5.7 Vista del manantial M-2. Se aprecia la diferencia en coloración entre las dos fuentes separadas solamente por un muro de cemento. Se cree que, a pesar de ello, son un solo manantial.

Temperatura y lugar de medida: 32°C, medidos en zona de mayor burbujeo **Caudal (l / s):** ~ 1.5

Marca en la botella de muestreo: M-2

Muestra # 3

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533413 9754167 cota: 81 msnm
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura: Volcán de Lodo
Medido por: Miguel González
Fecha: 20 de julio de 2002

Descripción:

Esta alberca de lodo es en realidad un punto de fractura en el suelo por el que fluyen sedimentos (mud pool) desde profundidades no determinadas. El material que sale tiene poca cantidad de agua que, junto con los sedimentos, forman una masa pastosa originalmente rica en minerales. Ya que el agua sale con sedimentos ésta es oscura, con muchos sólidos en suspensión, y presenta manchas de aceite con olor similar al petróleo que se explota en el Campo Petrolero de Ancón, al sudoeste en la Costa Ecuatoriana. Debido a que fluye poca líquido de esta fractura los Administradores del Complejo periódicamente llenan esta figura con agua del manantial M-2 (se aprecia la manguera de alimentación en el extremo inferior izquierdo de la fig. 3) hasta que se evapore completamente, ya que esta alberca no tiene desfogue. Hay burbujas con gas posiblemente de origen hidrocarbúfero.



Fig. 5.8 En esta figura se puede apreciar al manantial de sedimentos. Obsérvese en la parte inferior izquierda la manguera que alimenta este manantial con agua del manantial 2

Temperatura y lugar de medida: 24°C en la zona de burbujeo

Caudal (l / s): Despreciable

Marca en la botella de muestreo: M-3

Muestra # 4

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533601 9754138 cota: 81 msnm
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura: Sin nombre
Medido por: Miguel González
Fecha: 18 de julio de 2002
Descripción:

Este ojo de agua esta ubicado en el centro del Complejo Termal. No tiene mucha fuerza y, a más de su alta temperatura comparada con el medio, no presenta ninguna otra característica térmica en forma evidente. No hay deposición de sílice alrededor. El agua es clara e incolora con pH = 6.4



Fig. 5.9 Pequeño manantial en el centro del Complejo Termal. Su caudal es casi despreciable, sin embargo es uno de los de mayor temperatura y actividad burbujeante.

Temperatura y lugar de medida: 34°C, centro de la figura

Caudal (l / s): Despreciable

Marca en la botella de muestreo: M-4

Muestra # 5

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533681 9754164 cota: 82 msnm
Zona: Baños de San Vicente

Nombre de la figura:

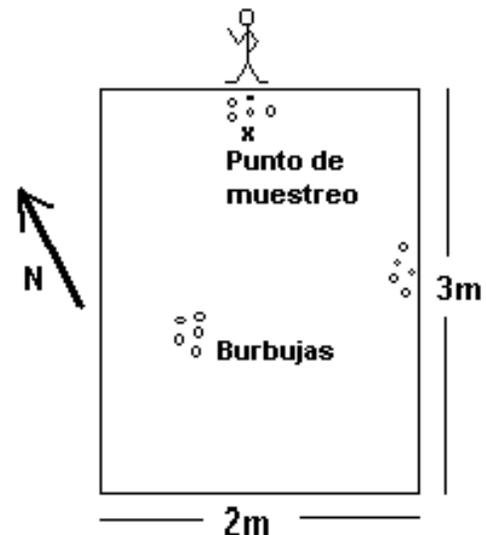
Medido por: Miguel González

Fecha: 18 de julio de 2002

Descripción: Agua de coloración verde clara, debido a la presencia de algas. No hay vegetación. Por este sector aflora una roca arenisca de color gris oscuro. Hay presencia de burbujas, en forma casi constante, en tres puntos del manantial. No hay evidencia visual de deposición de materiales de alteración termal, pH=6.4. Temperatura ambiental 24°C. Este manantial suministraba agua a otra piscina más grande que era utilizada para recreación. Estas dos fuentes fueron arrasadas por el fenómeno del Niño de 1982 y abandonadas. Se tomaron muestras para análisis químicos, isotópicos y bacteriológicos.



(a)



(b)

Fig. 5.10 Este manantial se encuentra actualmente en estado de abandono. En el literal (b) se muestran las dimensiones

Temperatura y lugar de medida: 29°C, borde norte del manantial

Caudal (l / s): Despreciable

Marca en la botella de muestreo: M-5

Muestra # 6

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 539977 9753989 cota: 114 msnm
Zona: Saya
Nombre de la figura: Pozo de captación de agua subterránea
Medido por: Miguel González
Fecha: 15 de agosto de 2002

Descripción: Agua subterránea de origen netamente superficial que abastece de agua al Pueblo de Saya. El pH es 7.6. Tiene una profundidad entre 10 y 20 metros, con dimensiones de 2m por lado. Esta agua presenta coloración amarillenta y, según los análisis bacteriológicos, tiene contaminación por E. Coli, posiblemente por infiltración de aguas servidas desde algún pozo séptico cercano, o por contaminación directa de la albarda del sector cuyo nivel de agua sube por encima de la cota del pozo.



Fig. 5.11 Vista de la boca del pozo de captación de agua subterránea en Saya. Obsérvese lo amarillento de esta agua indicando algún tipo de contaminación

Temperatura y lugar de medida: 26°C

Caudal (l / s):

Marca en la botella de muestreo: M6

Muestra # 8

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533696 9754140 cota: 82 msnm
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura: Manantial cubierto por domo de cemento
Medido por: Miguel González
Fecha: 19 de julio de 2002

Descripción:

Agua clara sin coloración aparente. Hay burbujeo constante de gas natural inflamable. No hay vegetación alrededor. No hay evidencia visual de depositación de sílice amorfa. Este manantial está ubicado sobre materiales aluviales del Río Salado y más profundamente debe haber areniscas y lutitas fracturadas y alteradas hidrotermalmente. Su pH=6.6. Por su constante emanación de gas moradores del sector construyeron un domo sobre el manantial para acumular el gas y, por medio de tuberías, dirigirlo a las cocinas de las casas para su utilización en la cocción de los alimentos. Pero, tal parece que la presión no es lo suficientemente fuerte como para aprovecharlo en forma continua. Por lo que fue abandonado.



Fig. 5.12 Este manantial tiene una salida continua de gas inflamable que los pobladores locales, en algún momento, quisieron usar para labores domésticas

Temperatura y lugar de medida: 25°C en el centro del manantial
Caudal (l / s): Despreciable
Marca en la botella de muestreo: MB

Muestra # 9

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 533696 9754335 cota: 95 msnm
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura: Reservorio natural
Medido por: Miguel González
Fecha: 20 de julio de 2002
Descripción:

Las aguas de este reservorio son cristalinas, el ganado bebe de ella. No emite mal olor. En el fondo crece un tipo de alga no identificada que le da una coloración verdosa a esta agua. No tiene características termales. El terreno sobre el que yace es arcilloso de color café claro. En el punto de muestreo aparece una lutita de color habano a verde claro, muy fracturada que puede corresponder al Grupo Ancón. Su pH=6.8.



Fig. 5.13 Este reservorio es utilizado como abrevadero para el ganado

Temperatura y lugar de medida: 26°C en el borde noroeste del reservorio

Caudal (l / s):

Marca en la botella de muestreo: M9

Muestra # 11

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 532985 9754312
Zona: Baños de San Vicente
Nombre de la figura:
Medido por: Miguel González
Fecha: 20 de julio de 2002

Descripción:

Agua semitransparente de coloración verdosa, debido a las algas que yacen en el fondo. La vegetación alrededor es rala. Este reservorio de agua no presenta características termales. El nivel del agua sube y baja de acuerdo al nivel freático local. Se tomaron muestras para análisis químicos. pH = 8.1



Fig. 5.14 Este manantial, al igual que M9, es utilizado como abrevadero para el ganado

Temperatura y lugar de medida: 24°C, flanco sur de la albarrada

Caudal (l / s):

Marca en la botella de muestreo: M11

Muestra # B-1

Hoja Topográfica: Zapotal escala 1:50000
Coordenadas (UTM): 544725 9761327 cota: 102 msnm
Zona: Alicante
Nombre de la figura: Borbollón de agua
Medido por: Miguel González
Fecha: 19 de julio de 2002

Descripción:

Agua cristalina de color azulado. No hay evidencia de deposición de sílice. No hay vegetación alrededor. El material arcilloso sobre el que aflora este manantial pertenece al Grupo Azúcar. El caudal es constante. Hay puntos de burbujeo por todo el manantial. No hay evidencia de mal olor. El fondo esta formado de cieno, pero en la zona de flujo de salida de agua hay material arenoso. Su pH=8. A aproximadamente 1 km al suroeste hay otro manantial de menor fuerza y compuesto principalmente de sedimentos, por tal motivo se lo denomina “Borbollón de lodo”



Fig. 5.15 Este manantial es utilizado por la población local como alberca de esparcimiento

Temperatura y lugar de medida: 30°C en el centro del manantial
Caudal (l / s): 2
Marca en la botella de muestreo: B1

CAPITULO VI

BASES TEORICAS

6.1 BASES TEÓRICAS

6.1.1 Geofísica

La Geofísica es la aplicación de los principios de la Física al estudio de la Tierra. La finalidad de la Geofísica es deducir las propiedades físicas de la Tierra y la constitución interna de ésta, a partir de los fenómenos físicos ligados a ella, por ejemplo, el campo geomagnético, el flujo calorífico, la propagación de ondas sísmicas, la fuerza de la gravedad, etc. Los métodos geofísicos utilizados para investigar los rasgos superficiales de la corteza terrestre dependen de las propiedades físicas de las rocas que componen dichos rasgos, pero, en términos generales, pertenecen a alguna de cuatro clases:

Métodos Estáticos, en los cuales las distorsiones de algún campo físico estático se detectan y miden con el objeto de delimitar los accidentes que las producen. El campo estático puede ser natural, como el geomagnético, el gravitatorio o el campo del gradiente térmico, o puede ser creado artificialmente, como un gradiente de potencial eléctrico.

Métodos Dinámicos en los cuales se envían señales al subsuelo, detectándose las señales de retorno, cuyas intensidades y tiempos de llegada son medidas en ciertos puntos. En los métodos dinámicos siempre interviene el tiempo en las correspondientes ecuaciones de campo, bien directamente como tiempo de llegada de la onda como en el método sísmico, bien indirectamente como frecuencia o diferencia de fase como en el método electromagnético.

Métodos de Relajación, su característica principal es que el tiempo aparece en ellos como el lapso necesario para que un medio perturbado retorne a su estado normal. Esta clase incluye los métodos de sobretensión o polarización inducida; por último, los **Métodos de Efecto Integrado**, en el

cual las señales detectadas son promedios estadísticos correspondientes a un área o volumen determinados. Los métodos que emplean radiactividad son de este grupo.

6.1.1.1 Métodos de Resistividad Eléctrica

El principal propósito de los métodos de resistividad eléctrica en la exploración geotérmica es localizar y delinear las estructuras cubiertas y relacionarlas con la hidrogeología y las estructuras termales asociadas con reservorios geotérmicos. En general hay dos grupos de métodos de resistividad eléctrica:

- (a) Métodos de corriente directa (CD)
- (b) Métodos electromagnéticos (EM)

En los métodos CD, una corriente directa (frecuencia < 1 Hz) de magnitud constante (I) y generada por un transmisor (una batería o un generador eléctrico pequeño) es inyectada en el terreno y se mide la respuesta de éste en forma de diferencia de potencial (ΔV) o campo eléctrico usando un voltímetro (receptor). Estos métodos han sido usados en la exploración geotérmica desde 1950.

El método que se discutirá en este trabajo es el de los sondeos eléctricos verticales, el cual es un método estático de corriente directa (CD) de mucho éxito no solamente en la exploración geotérmica sino también en la prospección eléctrica para gas, petróleo y obras civiles.

6.1.1.1.1 El Concepto de Resistividad Aparente

Un electrodo que inyecta una corriente I (Fig. 6.1) (unidad en amperes, o A) sobre la superficie de un terreno homogéneo (resistividad ρ) causa una

densidad de corriente \mathbf{j}_o (unidad es A/m^2) a una distancia r (unidad es m) cuya magnitud está dada por:

$$|\mathbf{j}_o| = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (6.1)$$

Donde $r = |\mathbf{r}|$

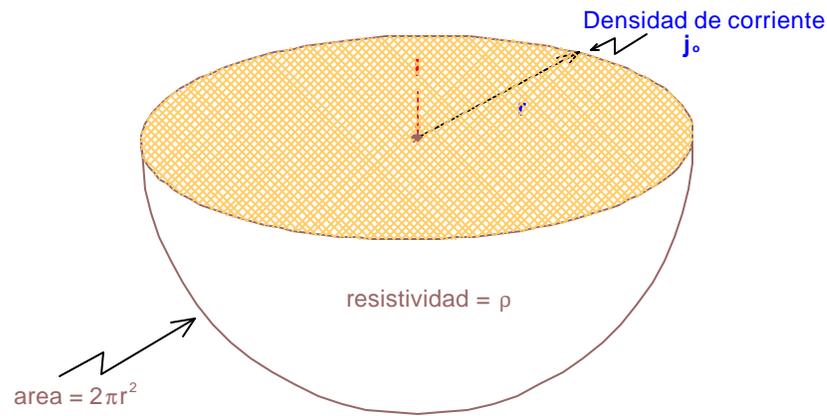


Fig. 6.1 Fuente puntual de corriente sobre terreno homogéneo.

En la práctica, se necesitan dos electrodos de corriente para inyectar una corriente eléctrica al suelo. Sin embargo, una situación similar a la ilustrada en la Fig. 6.1 puede ser obtenida colocando un segundo electrodo (de polaridad negativa) a una distancia grande. Físicamente no es posible medir la densidad de corriente, pero si podemos medir la cantidad de corriente inyectada I y el campo eléctrico asociado \mathbf{E} ($\mathbf{E} = -dV/dr$, unidades dadas en V/m). La relación entre \mathbf{j}_o , \mathbf{E} y ρ en la Fig. 6.1 esta dada por la Ley de Ohm (en la forma tridimensional):

$$\mathbf{E} = \rho \mathbf{j}_o \quad (6.2)$$

Así, para un terreno homogéneo, de los valores conocidos de $|\mathbf{j}_o|$ (que puede ser calculado de los valores de r e I y $|\mathbf{E}|$ (midiendo la diferencia de

potencial) de un dipolo con una longitud = Δr (m) orientada en la dirección de \mathbf{r} ; ($|\mathbf{E}| \approx \Delta V / \Delta r$) se puede calcular la resistividad del terreno ρ :

$$\rho = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{j}_o} \quad \text{o} \quad \rho = \frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{j}_o|} \quad (6.3)$$

Donde \mathbf{E} es paralelo a \mathbf{j}_o y ρ , por lo tanto, es un parámetro escalar. En caso de terrenos no homogéneos la ecuación (6.3) no es válida; ya que, la densidad de corriente verdadera \mathbf{j} no es la misma que \mathbf{j}_o . Sin embargo, por conveniencia, una versión modificada de la ecuación (6.3) es todavía comúnmente usada para procesar resultados de algunas medidas de resistividad CD sobre terrenos no homogéneos, definiendo el término de resistividad aparente (ρ_a):

$$\rho_a = \frac{|\mathbf{E}|^*}{|\mathbf{j}_o|^{**}} \quad (6.3a)$$

* medido

** calculado, asumiendo un terreno homogéneo

La ecuación (6.3a) no da una relación correcta entre los vectores \mathbf{E} y \mathbf{j}_o , los cuales no son paralelos. La resistividad aparente “escalar” calculada de la ecuación (6.3a) es solamente válida para medidas de resistividad CD usando ciertas configuraciones de electrodos (dispositivos) que pueden proveer la situación donde el ángulo entre \mathbf{E} y \mathbf{j}_o es muy pequeño incluso para terrenos no homogéneos. Un ejemplo de tales configuraciones es el dispositivo Schlumberger. Para otras configuraciones (tales como el dispositivo multipolo-cuadripolo) donde el ángulo entre \mathbf{E} y \mathbf{j}_o probablemente es grande, el parámetro de resistividad aparente debe ser tratado como un tensor. El análisis de tensores de resistividad aparente es muy complejo y esta fuera del alcance de este trabajo.

6.1.1.1.2 Factor Geométrico

La ecuación (6.3) puede usarse para obtener una expresión para $V(r)$, el potencial eléctrico a una distancia r de una fuente de corriente I sobre la superficie de un terreno homogéneo. Combinando las ecuaciones (6.3) y (6.1) se obtiene:

$$|E| = \frac{I r}{2 \pi r^2} \quad (6.4)$$

Y usando $E = -dV/dr$, se obtiene de (6.4):

$$dV = - \frac{I r}{2 \pi r^2} dr \quad (6.5)$$

Integrando la ecuación (6.5) con respecto a r se obtiene:

$$V(r) = \frac{I r}{2 \pi} \frac{1}{r} \quad (6.6)$$

($V(r) = 0$ cuando r tiende al infinito)

En el caso de una configuración de 4 electrodos comúnmente usada en trabajos de resistividad con corriente directa, consistente en un bipolo de corriente (A y B) y un dipolo de potencial (M y N) (ver Fig. 6.9), se demuestra que los valores de potencial eléctrico causado por una corriente $+ I$ en A y una corriente $- I$ en B son:

$$\text{En M: } V_M = \frac{I r}{2 \pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (6.7)$$

$$\text{En N: } V_N = \frac{I \rho}{2\pi} C \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right] \quad (6.8)$$

Donde AM es la distancia entre los electrodos A y M, etc. Por lo tanto, La diferencia de potencial entre los electrodos M y N es:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I \rho}{2\pi} C \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right] \quad (6.9)$$

Entonces:

$$\rho = \frac{2\pi}{C \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (6.10a)$$

O

$$\rho = 2\pi \frac{1}{G} C \frac{\Delta V}{I} \quad (6.10b)$$

Donde el valor:

$$G = C \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right] \quad (6.11)$$

Es conocido como el “factor geométrico” y representa la geometría de la configuración de los electrodos sobre la superficie del terreno. Si el terreno es no homogéneo ρ en la ecuación (6.10) es reemplazado por ρ_a ; es decir, el “escalar” de resistividad aparente.

6.1.1.1.3 Principio del Sondeo Eléctrico Vertical

El principio del sondeo eléctrico vertical se expresa en la fig. 6.2, el cual muestra que el flujo de corriente alcanza mayor profundidad cuando se

expande la distancia entre los electrodos de corriente con respecto al centro ($AB/2$). El ejemplo de un caso de tres capas se muestra en la Fig. 6.3. La primera medición se hizo usando un espaciamiento pequeño de $AB/2$ (1 m). Tal espaciamiento usualmente es menor al espesor h_1 de la capa superior, y la resistividad aparente ρ_a es igual a la resistividad de la primera capa ρ_1 . Se incrementa entonces el espacio $AB/2$ en forma logarítmica y los valores de ρ_a son calculados para cada etapa. Cuando el valor de $AB/2$ excede el de h_1 la densidad de corriente en la capa siguiente aumenta en el caso de la Fig. 6.2. Para espaciamientos de $AB/2$ mayores la densidad de corriente disminuye bastante, aumentando la resistividad de las capas más inferiores (este es el caso en la Fig. 6.3 cuando $AB/2 > 60$ m).

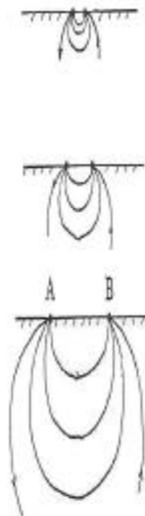


Fig. 6.2 Los flujos de corriente como una función de la separación de los electrodos de corriente

Para mostrar los resultados de un sondeo, los valores de ρ_a son graficados sobre un papel log – log (ver ejemplo de la fig. 6.3) contra los valores de $AB/2$. La razón para usar tales diagramas es que las formas de las curvas de ρ_a versus $AB/2$ dependen de las razones ρ_{i+1}/ρ_i y h_{i+1}/h_i , en lugar de los valores de resistividad verdaderos y espesores de las diferentes capas. De esta manera se vuelve mucho más sencillo comparar las curvas de SEV tomadas en sitios diferentes si las estructuras resistivas son similares.

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a ($\Omega\cdot m$)
1.00	0.20	5.4
1.47	0.20	5.8
2.15	0.20	4.1
3.16	0.50	5.4
4.64	0.50	6.2
6.81	0.50	6.5
10.00	0.50	7.1
14.70	2.00	8.3
21.50	0.50	10.5
31.60	2.00	12.3
46.40	5.00	18.5
68.10	2.00	25.5
100.00	10.00	37.6
147.00	10.00	47.0

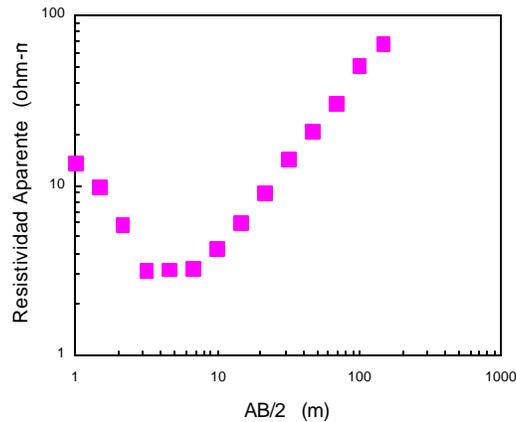


Fig. 6.3 Ejemplo de una curva de sondeo realizada sobre un sector al noroccidente de Guayaquil. En ella se aprecia una estructura de tres capas, donde: $\rho_1 = 14.1 \Omega\cdot m$, $\rho_2 = 1.3 \Omega\cdot m$, $\rho_3 = 179.5 \Omega\cdot m$, $h_1 = 1 \text{ m}$, $h_2 = 2.5 \text{ m}$, $h_3 = \infty$. (Proaño G., González M., 2001)

La profundidad de penetración de un dispositivo CD está relacionado a la distancia entre los electrodos de corriente y los electrodos de potencial. Para un arreglo Schlumberger la profundidad de penetración nominal es:

$$p = AB/2 \quad (6.12)$$

La penetración efectiva (ρ_{ef}) depende de la estructura resistiva y el contraste con respecto a las capas adyacentes. En el caso de más de dos capas en una estructura cubierta irregular la penetración efectiva esta usualmente dada por:

$$\rho_{ef} \leq (0.25 \text{ a } 0.5) p \quad (6.13)$$

6.1.1.1.4 Cortes Geoeléctricos: Notación y Nomenclatura

Un corte geoeléctrico representa el medio estratificado justo por debajo del punto sobre el que se realizó la medida. Para caracterizar cada nivel bastará dar el espesor E_i y la resistividad ρ_i , de cada medio parcial isótropo de índice i , numerándolos de arriba abajo, esto es, comenzando por el medio contiguo

al semiespacio que representa la atmósfera y que tiene resistividad nula. Cada uno de estos medios será denominado “capa geoelectrica”. Las distancias de la superficie tierra – aire a cada una de las demás, o sea las profundidades de los contactos respectivos se representa por z_1, z_2, z_3 , etc.

Un corte geoelectrico compuesto por n capas requiere para su especificación el conocimiento de n resistividades y $n-1$ espesores o $n-1$ profundidades (puesto que la última capa, denominada sustrato, tiene siempre espesor infinito) o sea en total $2n-1$ parámetros.

Los cortes geoelectricos pueden clasificarse de acuerdo atendiendo al número de capas que los componen. Los cortes del mismo número de capas pueden subdividirse según el orden en que aparezcan, en los sucesivos contactos, resistividades mayores o menores que en la capa suprayacente. Para este trabajo se usó la clasificación de capas dada por los autores soviéticos e introducida en occidente por Orellana, 1965; Orellana y Mooney, 1966; Keller y Frischknecht, 1966; Bhattacharya y Patra, 1968; y otros. Los símbolos de esta notación son los siguientes:

- a) Los cortes de dos capas de los cuales existen dos tipos ($\rho_1 < \rho_2$ y $\rho_1 > \rho_2$) no llevan símbolo especial.
- b) Las letras latinas H, K, Q, A, representan respectivamente los cuatro tipos posibles para cortes geoelectricos de tres capas que son:
 1. Tipo H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
 2. Tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
 3. Tipo Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$
 4. Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$
- c) Los cortes de cuatro capas se distribuyen en 8 grupos, que se designan como combinaciones de los anteriores; para ello se consideran las tres primeras capas y se les asigna la letra correspondiente de la lista anterior; luego se hace lo propio con las tres últimas capas. Así, el tipo AA corresponde a la combinación de

resistividades $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ y el HK a $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$. Sólo son posibles los siguientes tipos:

HK, HA, KH, KQ

QQ, QH, AK, AA

Los tipos KK, HH, HQ, etc., carecen de sentido, pues implican condiciones contradictorias.

- d) Los cortes de cinco o más capas se simbolizan siguiendo el mismo método. Se toman en primer lugar las tres primeras capas y se les asigna la letra correspondiente indicada en el párrafo b); luego se hace lo mismo con la capa segunda, tercera y cuarta, después con tercera, cuarta y quinta, etc.

En la Fig. 6.4, se dan algunos ejemplos de distribuciones de resistividad con indicación al tipo de corte a que pertenece, según la notación expuesta. Las profundidades se representan en abscisas, y las resistividades en ordenadas.

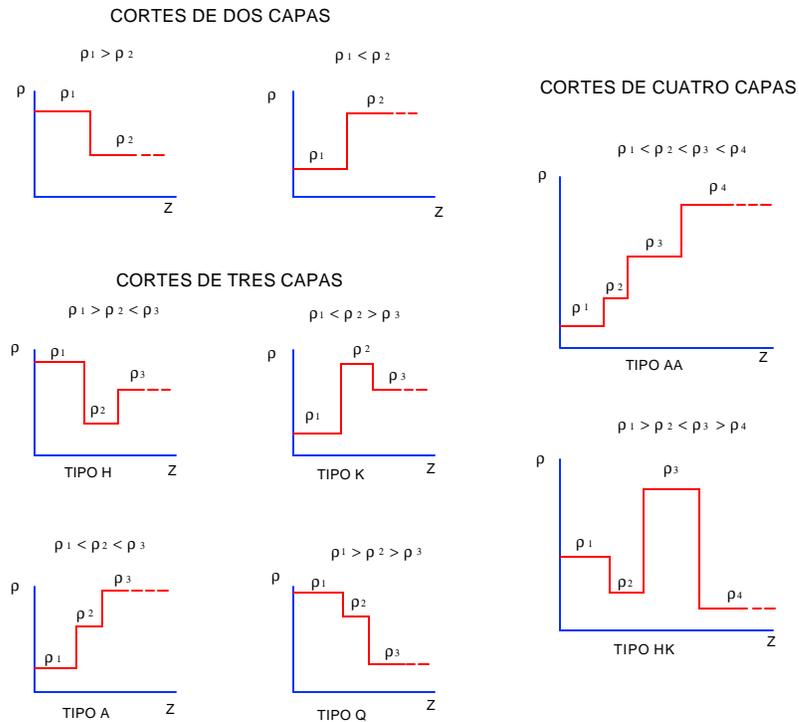


Fig. 6.4 Curvas de resistividad verdadera para diversos cortes geoelectricos. Nomenclatura de los tipos de cortes. (Orellana, 1982)

6.1.1.1.5 Determinación de los límites de resistividad

La elaboración de mapas usando el dispositivo Schlumberger con diferentes distancias $AB/2$ ha sido esencial en la exploración geotérmica de los países que han desarrollado este recurso. El método es exitoso delineando prospectos geotérmicos debido a que éste ha sido capaz de detectar áreas donde la resistividad eléctrica de las rocas fue disminuida por productos de alteración hidrotermal altamente conductivos (arcillas) y aguas termales mineralizadas, un ejemplo de esto se da en la Fig. 6.5. Este dispositivo también se ha usado en la exploración de áreas geotérmicas en lugares tales como Indonesia, Filipinas y algunos países latinoamericanos donde su éxito ha sido relativo, particularmente sobre aquellos prospectos donde los terrenos volcánicos son muy abruptos y pronunciados, o donde arcillas de origen no geotérmico están presentes.

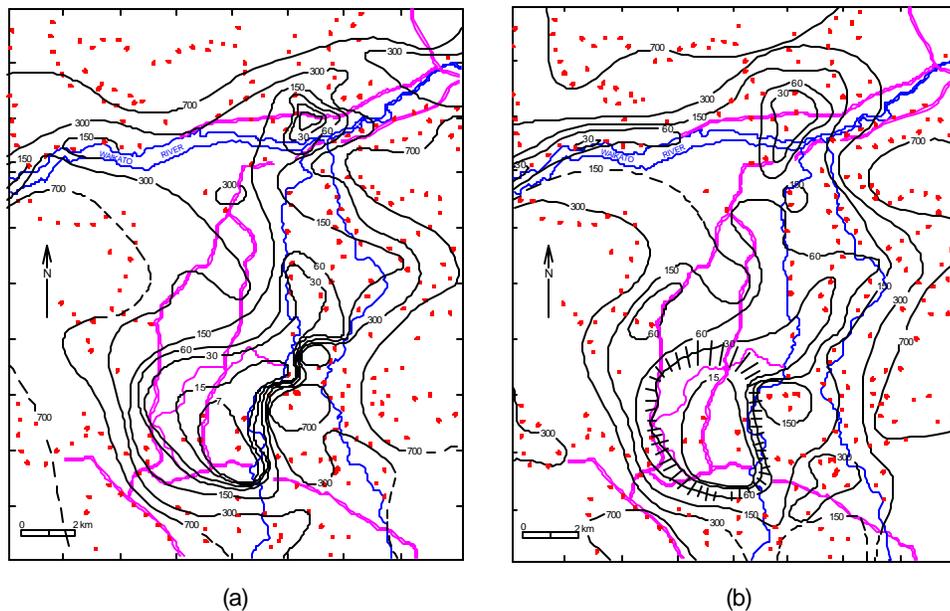


Fig. 6.5 Contornos de resistividad aparente medidos con un dispositivo Schlumberger, con espaciamento medio ($AB/2$) de (a) 600 m, y (b) 1200 m. La posición del límite de resistividad del campo geotérmico de Mokai, Nueva Zelanda, es mostrada por la región rayada. Lugares de medida son indicados por puntos (Bibby et al, 1981).

El límite de un campo geotérmico es a menudo indicado por un abrupto incremento en la resistividad eléctrica asociada con el límite de la alteración termal y el fluido geotérmico a profundidad. Tal frontera es denominada "límite de resistividad" y se lo obtiene de la superposición de las curvas de iso-resistividad a diferentes valores de $AB/2$, tal como se muestra en la Fig. 6.5.

6.1.2 Geoquímica de las aguas presentes en los sistemas geotérmicos

Los fluidos geotermales tienen una composición química muy diversa que refleja fielmente el marco geológico del cual provienen. Algunas de estas diferencias químicas dependen de la(s) fuente(s) de recarga de aguas y de la contribución de elementos volátiles desde fuentes magmáticas o metamórficas, que podrían afectar el grado de mezcla o ebullición, cambiando la composición de los fluidos. Factores hidrológicos a gran escala (por ejemplo: permeabilidad, flujo externo de fluidos, etc.) determinan si un sistema obtiene energía por convección o simplemente almacena calor dentro de un reservorio confinado.

6.1.2.1 Tipos de Solutos, Aguas y sus Orígenes

Los diferentes tipos de aguas geotermales tienden a contener constituyentes disueltos similares en concentraciones variables, los más comunes son mostrados en la tabla 6.2. Las diferencias en concentración son principalmente debidas a las diferencias en temperatura, contenido de gas, fuente de recarga, entradas magmáticas, tipo de roca, condiciones y duración de la interacción agua-roca, mezcla y ebullición.

Tabla 6.1 Constituyentes disueltos más comunes en las aguas termales (Ellis & Mahon, 1964)

Aniones	Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , I^- , Br^-
Cationes	Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Rb^+ , Cs^+ , Li^+ , Mn^{+2} , Fe^{+2} , Al^{+3} , NH_4^+ , iones de As no especificados
Especies neutras	SiO_2 , B, CO_2 , H_2S , NH_3

Los solutos, en aguas geotermales, pertenecen a dos categorías generales:

- a) **Constituyentes comunes que forman parte de la roca.**- Sus solubilidades están limitadas a equilibrios específicos en la relación mineral – agua, los cuales favorecen la retención del elemento en la fase mineral (las concentraciones de éstos son más bajas en el agua). Ejemplos son la mayoría de los cationes (Na, K, Ca, Mg, Cs, Rb, Li, Mn, Fe, Al)
- b) **Elementos solubles.**- Estos son mucho más abundantes en la fase líquida que en la fase mineral, y una vez en solución no participan en las reacciones. Estos elementos están referidos como conservativos; es decir, se conservan en la fase líquida casi sin alteración. Los dos mas comúnmente analizados son cloruro y boro, pero otros componentes como litio y bromo pueden caer dentro de esta categoría.

Estudios experimentales han demostrado que la mayoría de los componentes presentes en estas aguas pueden haberse originado simplemente por interacción agua-roca, envolviendo una gran variedad de rocas ígneas y sedimentarias (Ellis and Mahon, 1964; 1967; Seyfried, 1987).

Un esquema simplificado de las posibles fuentes para las aguas de recarga se da en la tabla 6.3:

Tabla 6.2 Fuentes probables de las aguas de recarga en sistemas geotérmicos (Ellis & Mahon, 1964)

meteórica	es la más común
agua de mar	es importante para unos pocos sistemas geotérmicos costeros
connata	es común en cuencas sedimentarias
magmática	contribuye a una cantidad considerable de sistemas geotérmicos de alta temperatura

La mejor evidencia para distinguir los orígenes de esta agua está basada en la composición de isótopos estables para el hidrogeno y el oxigeno (Fig. 6.7). La clasificación de fluidos geotérmicos más utilizada en la actualidad está basada en su composición química, usando los aniones (especies negativamente cargadas: Cl^- , SO_4^- , HCO_3^-) como guías:

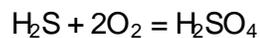
Aguas cloruradas (chloride waters). Son el tipo de fluido predominante en muchos sistemas geotérmicos. Como es típico en aguas profundas, estas son muy claras (sin partículas en suspensión) y tienen un color azul en manantiales naturales. Característicamente las aguas cloruradas tienen un pH cercano al neutro, pudiendo ser, por lo tanto, ligeramente ácidas (pH menor que el neutro) o alcalinas (pH mayor que el neutro) dependiendo de la cantidad de CO_2 disuelto. La ocurrencia de depósitos de "silica sinter" es característica en manantiales clorurados en ebullición.

En términos de su composición ellas contienen cloruro como el principal anión, el cual constituye entre 0.1 y 1.0 % en peso del fluido (por comparación el agua de mar contiene 1.9% en peso de Cl). Otros solutos importantes incluyen sodio, potasio, calcio y magnesio que ocurren como especies acuosas cargadas positivamente llamadas cationes. En adición, estas aguas contienen altas concentraciones de sílice (SiO_2), significativo contenido de bicarbonatos (HCO_3^-) y concentraciones detectables de flúor, amonio (NH_3), boro, arsénico, litio, rubidio y cesio.

Sulfuros acuosos ocurren en cantidades variables, principalmente como sulfuro de hidrógeno (H_2S o HS^-) con menor concentración de sulfatos, dependiendo del grado de oxidación atmosférica. Los sulfatos pueden alcanzar concentraciones por encima de unos pocos cientos de ppm en manantiales, aunque en el reservorio este es generalmente muy bajo (<30 ppm) reflejando un ambiente reductor. Así, las relaciones Cl/SO_4 son típicamente altas. A pesar de que el hierro y el aluminio son componentes

mayores en la roca huésped, ellos están presentes solamente en cantidades traza en las aguas cloruradas.

Aguas Sulfatadas (acid sulfate waters). Son bajas en contenido de cloruros y ocurren en áreas geotérmicas volcánicas donde el vapor se condensa en las aguas superficiales. El contenido de sulfato es altamente variable y en las zonas geotérmicas éste proviene de la oxidación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la zona vadosa (región del subsuelo por encima del nivel freático). La oxidación de H_2S crea ácido sulfúrico (H_2SO_4),



lo cual causa que estas aguas sean ácidas. Las Aguas geotermales sulfatadas se forman en las partes más superficiales del sistema, por encima del nivel freático regional, por lo tanto, ellas dan pocas indicaciones sobre la naturaleza de las partes más profundas del sistema. La composición de estas aguas refleja la disolución de la roca madre debida a su naturaleza ácida. Así, éstas típicamente contienen altas concentraciones de materiales suspendidos, tales como lodo. Otras ocurrencias de aguas sulfatadas incluyen suelos alterados por vapores calientes (steaming ground) y cráteres de colapso. Es de notar que cantidades mensurables de Al y Fe disueltos existe en esta agua, lo cual es una mayor indicación de la disolución de la roca.

Aguas sulfatadas también existen sobre los flancos y en la cumbre de volcanes activos con concentraciones apreciables de cloruros (>1000 ppm Cl). De hecho, la presencia de este cloruro es el principal medio para distinguir las aguas sulfatadas de origen volcánico de las aguas sulfatadas de origen por calentamiento de vapor. El origen del cloruro, como del sulfato, es debido a la absorción de HCl-SO₂ llevando gas volcánico en las aguas meteóricas que llenan las depresiones.

Aguas bicarbonatadas (bicarbonate waters). Aguas ricas en CO_2 , contienen poco cloruro, cantidades variables de sulfatos y tienen al bicarbonato como el mayor anión presente. En sistemas dominados por rocas volcánicas, las aguas bicarbonatadas típicamente se forman en las regiones del subsuelo poco profundas donde el gas CO_2 es absorbido y el vapor se condensa en las aguas subterráneas más frías.

Sodio es el principal catión, ya que el carbonato de calcio (ej. Calcita) no es muy soluble y el potasio y el magnesio están fijados en las arcillas. En contraste con las aguas sulfatadas, las aguas bicarbonatadas se forman por debajo del nivel freático donde estas son ligeramente ácidas, pero la pérdida de CO_2 disuelto durante el ascenso a la superficie incrementa el pH de la descarga natural a un valor neutral o ligeramente alcalino.

En algunos sistemas geotérmicos (ej. Yellowstone y Los Valles, USA), la formación de aguas bicarbonatadas está influenciada por la presencia de unidades de roca caliza en el subsuelo, y los manantiales descargan en superficie depósitos de travertino (CaCO_3).

Salmueras (brines). Son aguas con altas concentraciones de solutos; el agua de mar es un ejemplo común. El cloruro es el principal componente, con concentraciones desde 10000 hasta >100000 ppm, con concentraciones altas de Na, K y Ca. El pH es ligeramente ácido debido a la concentración de solutos fuertes.

Las salmueras en sistemas geotérmicos se forman de diferentes maneras; por ejemplo, agua salada connata atrapada en cuencas sedimentarias, disolución de secuencias evaporíticas por aguas meteóricas. En algunos casos, la densidad de estos concentrados de agua salada es tan grande que no afloran (ej. Salton Sea, California).

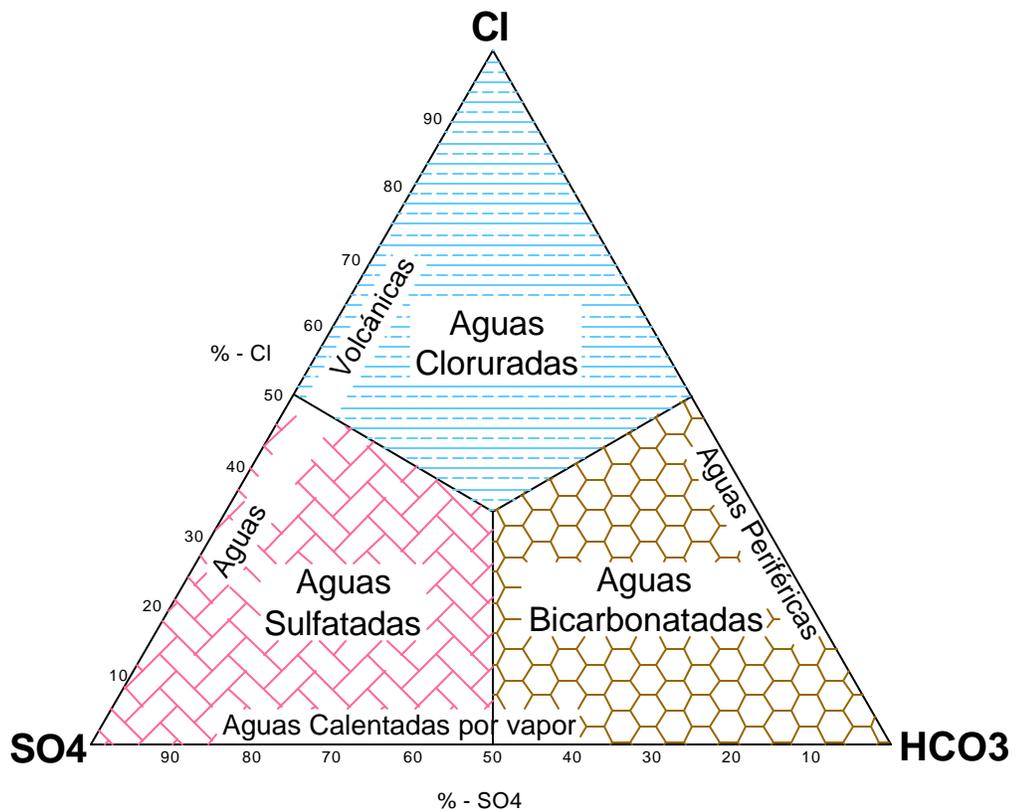


Fig. 6.6 Diagrama ternario utilizado para representar las concentraciones relativas de los aniones y cationes mayores. Cl, SO_4 y HCO_3 en este caso

Tomando en cuenta el esquema de clasificación arriba expuesto, un diagrama ternario es el medio gráfico más útil para representar las diferentes composiciones de las aguas (Fig. 6.6). Todos los tipos de agua, excepto las salmueras, están representadas sobre este diagrama. Un resumen de las diferentes clases de agua que pueden ser encontradas en sistemas geotérmicos se expone en la tabla 6.4.

Tabla 6.3 Resumen de los tipos de agua en sistemas geotérmicos (Ellis & Mahon, 1977)

	Rango de pH aproximado	Principales aniones
Agua subterránea	6 a 7.5	Trazas de HCO_3^-
Agua clorurada	4 a 9	Cl, muy poco HCO_3^-
Agua clorurada-bicarbonatada	7 a 8.5	Cl, HCO_3^-
Agua bicarbonatada	5 a 7	HCO_3^-
Agua sulfatada	1 a 3	SO_4^{2-} , trazas de Cl
Agua sulfatada-clorurada	1 a 5	SO_4^{2-} , Cl

6.1.2.2 Presentación de los datos – solutos

Existen dos clases de usuarios de datos analíticos: los químicos y los no-químicos. Los químicos están interesados en la evaluación termodinámica y generalmente prefieren unidades basadas en cantidades molares, mientras que los no-químicos encuentran las unidades de peso más útiles. Como el kilogramo es la unidad de masa básica, la unidad de concentración adoptada y usada en este trabajo para las especies en solución es mg/kg de solución. Esta tiene la ventaja de proveer valores numéricos convenientes para componentes en la solución tanto mayores como menores y ser constantes con cambios de temperatura y presión. La conversión de concentraciones en mg/kg de solución (c_i), a concentraciones en moles/kg de agua (m_i), requiere la expresión:

$$m_i = \frac{1000 c_i}{MW_i (1000000 - \sum c_i)} \quad (6.14)$$

Donde MW_i es el peso molecular de las especies (i) y $\sum c_i$ es el contenido total de solutos. Para la mayoría de las soluciones geotermales diluidas la expresión de arriba puede simplificarse a:

$$m_i = \frac{c_i}{1000 MW_i} \quad (6.15)$$

Los análisis químicos son usualmente realizados basándose en métodos volumétricos y las concentraciones obtenidas están realmente en mg/l o mg/dm^3 (c_i^*) relacionadas con mg/kg a través de

$$c_i \text{ (mg/kg)} = \frac{c_i^* \text{ (mg/dm}^3\text{)}}{\rho_s} \quad (6.16)$$

Donde ρ_s es la densidad de la solución (en kg/dm^3); note que $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$. En este caso una conversión rigurosa a unidades molales se da usando la expresión:

$$m_i = \frac{1000 c_i^*}{MW_i (1000000 \rho_s - \sum c_i^*)} \quad (6.17)$$

6.1.2.3 Parámetros Geoquímicos

Para proveer una base común de comparación y clasificación de fluidos geotérmicos, un grupo internacional de geoquímicos, especializados en geotermia, alcanzó el siguiente consenso respecto a los análisis químicos (Giggenbach, 1983). La mínima cantidad de parámetros geoquímicos reportados para una muestra debe incluir: pH, Na, K, Mg, Ca, SiO_2 , Cl, SO_4 , HCO_3 , $\delta \text{ D}$ y $\delta^{18}\text{O}$. De menor prioridad se incluyen: Li, Rb, Ce, B, ^3H (tritio) y $\delta^{18}\text{O}$ en sulfatos. Muestras de gas deben incluir: CO_2 , H_2S , He, H_2 , Ar, O_2 , N_2 , CH_4 , $\delta^{13}\text{C}$ en CO_2 y $\delta^{34}\text{S}$ en H_2S . Problemas específicos pueden requerir datos para hidrocarburos tales como $\delta^{13}\text{C}$ en CH_4 , $\delta \text{ D}$ en CH_4 y H_2 , $^3\text{He}/^4\text{He}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, etc.

6.1.3 Parámetros de Isótopos Estables

Los isótopos estables, como otros solutos constituyentes de las aguas naturales, son útiles para la identificación de procesos relacionados con ebullición y mezcla, equilibrio fluido – mineral e interacción agua – roca, así como las fuentes de los fluidos geotérmicos (Fig. 6.7). Antes de describir su aplicación en geotermia se debe considerar primero la naturaleza de la estabilidad de los isótopos y su notación.

Un átomo se identifica por medio de dos números: el número atómico y el número de masa. El número atómico, Z , es el número de unidades de carga positiva en el núcleo. Debido a que el protón tiene una carga de 1^+ , el

número atómico es igual al número de protones en el núcleo del átomo. Un átomo es eléctricamente neutro. El número atómico, por lo tanto, también indica el número de electrones extranucleares en el átomo. El número de masa, A, de un átomo, es el número total de protones y neutrones (llamados nucleones en conjunto) en el núcleo del átomo. El número de neutrones puede calcularse sustrayendo el número el número atómico (el número de protones) del número de masa (el número de neutrones y protones juntos)

$$\text{número de neutrones} = A - Z$$

El número de masa es el número total de nucleones en un núcleo y no la masa del núcleo. Un átomo de un elemento se designa por el símbolo químico del elemento con el número atómico colocado en la parte inferior izquierda y el número de masa en la parte superior izquierda.



El símbolo $^{16}_8\text{O}$ designa un átomo de oxígeno que tiene 8 protones (Z) y 8 neutrones (A – Z) en el núcleo y 8 electrones extranucleares . Ya que todos los átomos de un elemento químico deben tener las mismas propiedades químicas, entonces todos los átomos de un elemento dado deben tener el mismo número atómico. Sin embargo, algunos elementos consisten en varios tipos de átomos que difieren el uno del otro en el número de masa. Los átomos que tienen el mismo número atómico pero diferentes números de masa se llaman isótopos.

En la naturaleza se dan tres tipos de átomos de oxígeno: $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$ y $^{18}_8\text{O}$. Las composiciones de estos isótopos son:

$^{16}_8\text{O}$	8 protones	8 neutrones	8 electrones
$^{17}_8\text{O}$	8 protones	9 neutrones	8 electrones
$^{18}_8\text{O}$	8 protones	10 neutrones	8 electrones

Todos estos átomos tienen 8 protones y 8 electrones, pero varían en sus cantidades de neutrones. Los isótopos, por lo tanto, difieren en el número de neutrones en el núcleo, lo cual significa que tienen masas atómicas distintas.

6.1.3.1 Fraccionamiento de Isótopos

La fuerza de los enlaces covalentes en las moléculas o los iones depende de la masa en cada átomo; por lo tanto, ciertas variedades isotópicas de una molécula en particular, o especie acuosa, son más estables que otras debido a que sus enlaces son más fuertes que en otras variedades isotópicas de la misma molécula. Algunos elementos (por ejemplo O, H, C, S) de número atómico bajo están compuestos de dos o más isótopos estables. Los más importantes, desde una perspectiva geotérmica, son los isótopos estables de hidrógeno y oxígeno.

Los isótopos estables son usados en el estudio de las aguas geotérmicas debido a que están muy relacionados a los efectos del fraccionamiento de isótopos. Este fenómeno afecta la composición de las aguas que sufren evaporación, ebullición y reacciones de intercambio con los minerales. Ya que el fraccionamiento de isótopos varía de un ambiente a otro, las composiciones isotópicas de las aguas están relacionadas a regiones específicas, por lo que es posible distinguir, por ejemplo, entre aguas provenientes de la precipitación de las lluvias (meteóricas), agua de mar y agua magmática.

El fraccionamiento de isótopos es causado por las reacciones de intercambio de isótopos y las diferencias de masas en las razones de ciertas reacciones químicas y procesos físicos. Cuando el isótopo pesado de un elemento reemplaza a un isótopo ligero, la energía de la molécula decrece, debido al incremento en la masa de la molécula disminuye su frecuencia vibracional. Consecuentemente, el isótopo pesado forma un enlace más fuerte que el

isótopo ligero y aquellas moléculas que contengan éstos isótopos son más estables que aquellas que contienen isótopos más ligeros.

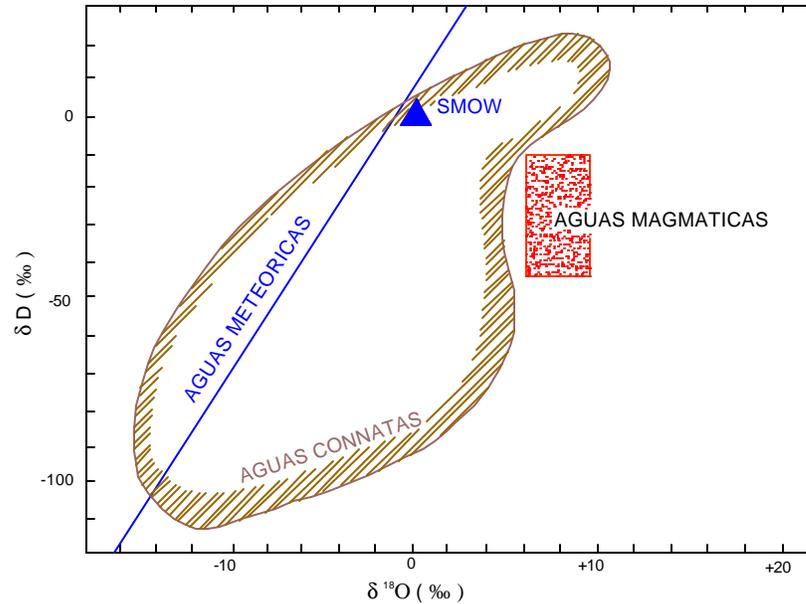


Fig. 6.7 Diagrama de la composición de isótopos estables de D/H versus $\delta^{18}O/16O$ para aguas meteóricas, oceánicas (SMOW), connatas y magmáticas (Ellis & Mahon, 1977)

Como regla general, el isótopo pesado va preferencialmente dentro del componente químico en el cual el elemento es enlazado más fuertemente. Estas diferencias en los pesos moleculares de los componentes afectan la evolución de ciertos procesos físicos y químicos como la difusión, evaporación y disociación.

6.1.3.2 Relaciones Matemáticas y Notación

La constante de equilibrio de una reacción de intercambio de iones que envuelve el reemplazamiento de solamente un átomo, en una molécula, por dos isótopos diferentes de un elemento es igual al factor de fraccionamiento de isótopos, el cual es definido por:

$$\alpha = \frac{R_a}{R_b}$$

Donde R_a es la razón del isótopo pesado con respecto al más ligero en una fase “a”, R_b es la razón del isótopo pesado con respecto al más ligero en una fase distinta “b”, estando la reacción en equilibrio a una temperatura específica. Por ejemplo, cuando el agua está en equilibrio con el vapor a 25°C, la fracción del isótopo de oxígeno en las moléculas del agua está expresada por:

$$\alpha = \frac{R_l}{R_v} = 1.0092$$

Donde $R_l = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ en la fase líquida y $R_v = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ en la fase de vapor.

El océano, que contiene más del 97% del agua en la corteza terrestre, presenta un contenido en isótopos estables bastante uniforme. Por esta razón, y también porque el océano representa el punto de partida y llegada en el ciclo hidrológico, la composición isotópica media del océano ha sido tomada como referencia para expresar las concentraciones en oxígeno-18 y deuterio en los compuestos naturales. Aquellas se expresan como diferencias en partes por mil (‰) de la relación ${}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ y D/H respecto a las mismas relaciones en el estándar VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water); patrón distribuido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con el propósito del intercalibrado entre análisis isotópicos (Gonfiantini, 1978). Esta diferencia se expresa como desviación en la notación (δ).

$$\delta (\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{VSMOW}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

Donde $R = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ o D/H. Las variaciones en oxígeno-18 y deuterio en las aguas naturales pueden determinarse generalmente con una exactitud entorno a 0.1 y 1‰, respectivamente.

La evaporación del agua de los océanos en las regiones ecuatoriales del planeta causa la formación de masas de aire que contienen vapor de agua empobrecido en contenidos de ^{18}O y D comparado con el agua de mar. En el hemisferio norte la mayoría de este vapor de agua es desplazado hacia el nordeste entrando a zonas climáticas más frías. Como resultado de la disminución en temperatura, el aire se satura con vapor de agua, resultando en precipitaciones de agua en la forma de lluvia, nieve o granizo.

Este condensado, al precipitar, está enriquecido en los isótopos pesados de oxígeno e hidrógeno y el vapor de agua que permanece en las nubes se empobrece mucho más en sus contenidos de ^{18}O y D. Al continuar este proceso, este vapor de agua se volverá, progresivamente, más empobrecido en ^{18}O y D. En América del Norte el vapor de agua contenido en esas masas de aire que se mueven hacia el noreste se vuelven paulatinamente más negativas en términos de su composición isotópica, como una función del incremento en la latitud. El efecto de la latitud sobre la composición isotópica del agua es causado por:

1. Progresivo fraccionamiento de isótopos asociado con la condensación del vapor de agua y la remoción de las gotas de agua de estas masas de aire a través de la lluvia.
2. El incremento del factor de fraccionamiento de isótopos causado por una disminución en la temperatura
3. La re-evaporación del agua meteórica, y
4. Evapotranspiración del agua debido a las plantas.

Ya que el H y O ocurren juntos en las moléculas del agua, y que ambos sufren la misma secuencia de eventos durante la migración de las masas de aire. Las variaciones en ^{18}O y D en las aguas dulces son estrictamente paralelas y obedecen a una correlación del tipo:

$$\delta D = (a) \delta^{18}O + b \quad (6.18)$$

Con $a = 8$ y $b = 10\text{‰}$, representando los valores normalmente observados en las aguas naturales, esta línea denominada “Línea de Agua Meteórica Mundial” (World Meteoric Water Line) fue definida por Craig en 1961. La pendiente de esta línea está relacionada al factor de fraccionamiento del hidrogeno y el oxígeno durante la evaporación y condensación del agua.

Tanto la pendiente “a” como la intersección “b” pueden variar localmente dependiendo de las condiciones climáticas locales y regionales. En general, el agua meteórica es progresivamente empobrecida en ^{18}O y D con el incremento de la latitud hacia el punto donde la nieve, en el Polo Sur, tiene los valores de $\delta D = -43\text{‰}$ para $\delta^{18}O = -55\text{‰}$. Hay también otro efecto debido a la topografía, el cual es más evidente donde las masas de aire corren a través de las cadenas montañosas. Bajo estas condiciones la composición isotópica de las precipitaciones es generalmente más pesada que aquellas del lado de sotavento.

6.1.3.3 Isótopos Estables en Aguas de Origen Geotérmico

Las aguas de origen geotérmico típicamente se grafican a la derecha de la línea de las aguas meteóricas, o más específicamente, a la derecha de la composición de las aguas meteóricas locales. La composición de $\delta^{18}O$ de las aguas muestra un enriquecimiento positivo en ^{18}O a un valor constante de δD ; esto se conoce como un “traslado de $\delta^{18}O$ ” ($\delta^{18}O$ -shift) y es característico de las aguas geotérmicas a escala mundial (Craig, 1963). De tal relación se interpreta que el origen de este tipo de agua es principalmente meteórico. Sin embargo, se han dado algunos debates enfocados sobre la posible “verdadera” causa de este traslado de $\delta^{18}O$. Hay tres posibilidades que correlacionan los procesos que afectan las aguas de origen geotérmico: entradas de agua magmática, interacción agua-roca y ebullición (mezcla).

6.1.4 Parámetros de los Sedimentos

Este punto se refiere al análisis de la presencia de los minerales arcillosos producto de alteración hidrotermal. Las arcillas son componentes comunes de las rocas sedimentarias y están formadas por minerales alúmino – silicatos hidratados cuyas estructuras son sensibles a cambios tanto en temperatura como en el ambiente químico de deposición. Dependiendo del ambiente en que se formaron, pueden corresponder a alguno de los siguientes tipos básicos: Montmorillonita, Illita, Clorita o Caolinita. Las arcillas están formadas por partículas de tamaño muy pequeño con diámetros por debajo de 0.0039 mm (Pettijohn, 1976), menores que aquellas de los granos de arena. Debido a esto, las arcillas pueden efectivamente tomar grandes cantidades de agua que no fluirán, pero que sí afectará la respuesta a las medidas de resistividad.

En el estudio de alteraciones hidrotermales algunos minerales arcillosos son usados como geotermómetros minerales, ya que son buenos indicadores de cambios en el ambiente químico dentro del cual se formaron. Durante la fase de exploración la presencia o ausencia de minerales arcillosos específicos puede indicar áreas de alteración superficial, la cual puede estar asociada con la condensación de gases desde las zonas de salida de flujo. La alineación de zonas con alteración hidrotermal puede ser un indicador útil de la presencia de estructuras cubiertas.

El mapeo de la distribución de las diferentes arcillas encontradas en superficie puede ayudar en la definición de un tren estructural que señale la extensión de un sistema hidrotermal sobre una región dada. La presencia de minerales arcillosos de alta temperatura puede indicar la existencia de antiguas alteraciones sobre sistemas actualmente activos. Una correcta interpretación de estos datos se lleva a cabo en asociación con estudios de superficie geológicos, geofísicos y geoquímicos que lleven al desarrollo de

modelos de campo que pueden guiar la exploración; y quizás también, las perforaciones de producción.

Una vez ya en producción el estudio de los minerales arcillosos provenientes de perforaciones exploratorias puede proveer evidencia de las temperaturas en el subsuelo y gradientes geotérmicos, refinando los modelos de explotación. Esto es importante en el momento de revestir el pozo, ya que se pueden identificar las zonas de fluidos ácidos y tomar las precauciones necesarias para evitar la corrosión.

Las estructuras de las arcillas han probado ser geotermómetros minerales muy útiles en el estudio de muchos sistemas geotérmicos alrededor del mundo. Los primeros trabajos realizados se basaron en la transformación de la esmectita dioctahédrica a illita, pero posteriormente esto se extendió a otras transformaciones tales como la de la esmectita trioctahédrica a clorita. La geotermometría de las arcillas inter-estratificadas originalmente fue aplicada, en forma exitosa, en el sistema geotérmico de Wairakei, Nueva Zelanda, por lo que su uso se extendió a otros sistemas. Esta técnica es exitosa en muchos sistemas, pero no lo es en todos. La posible razón para estos éxitos y fracasos casi siempre está directamente asociada con la permeabilidad y la capacidad del sistema para alcanzar el equilibrio entre el fluido y la roca.

La temperatura de transformación de la esmectita dioctahédrica a illita fue propuesta por primera vez por Weaver (1956) y Burst (1958, 1959), como resultado de los primeros estudios de difracción de rayos X realizados sobre minerales arcillosos en sedimentos de la Costa del Golfo de los Estados Unidos. Los primeros estudios publicados sobre esta transformación en sistemas geotérmicos fueron hechos por Steiner (1968) quien realizó estudios petrográficos detallados, y análisis de difracción de rayos X sobre los arreglos de los minerales de alteración presentes en el sistema geotérmico de Wairakei en Nueva Zelanda. Las observaciones de estos

trabajos reconocieron los miembros finales como esmectita de baja temperatura e illita de alta temperatura.

La importancia de las arcillas como geotermómetros minerales ha sido ampliamente reconocida, tanto para el estudio de sistemas hidrotermales activos como en los arreglos de los minerales metamórficos de baja temperatura. Las arcillas típicamente son usadas de tres maneras: (1) la presencia de un mineral arcilloso puede coincidir con un rango de temperatura específico, (2) cambios en la cristalización o grado de organización de las estructuras de algunos minerales arcillosos toman lugar a temperaturas específicas, y (3) la transición entre dos miembros finales arcillosos requiere cambios en la composición química que pueden ser dependientes de la temperatura.

Los sistemas geotérmicos activos son lugares especialmente fructíferos para estudiar la génesis de los minerales arcillosos, ya que son laboratorios naturales donde las interacciones fluido – roca ocurren bajo condiciones relativamente mensurables.

Algunos estudios de alteración hidrotermal apuntan al uso de los minerales calco – silicatos como geotermómetros minerales (Browne, 1978; Bird et al. 1984). La identificación de los feldespatos secundarios que se forman en un reservorio geotérmico es, a menudo, una pista de la cantidad de líquido que ha fluido a través de la roca reservorio (Browne, 1970), esto es, da una pista de la permeabilidad. Por lo tanto los minerales arcillosos se constituyen en una herramienta mineralógica muy útil que los geólogos pueden usar para interpretar la hidrología y paleohidrología de los reservorios geotérmicos.

Se ha reconocido un rango amplio de minerales hidrotermales en campos geotérmicos activos (tabla 6.3), los más comunes son:

Tabla 6.4 Distribución de algunos minerales hidrotermales en campos geotérmicos activos
(Browne, 1984)

	Cerro Prieto, México	Yellowstone, Wyoming	The Geysers, California	Pauzhetsk, Kamchatka	Matsukawa, Japón	Otake, Japón	Campos de las Filipinas	Kawa Kamojang, Java	Zona Volcánica de Nueva Zelanda	El Tatio, Chile	Islandia, temperatura baja	Islandia, temperatura alta	Larderello, Italia	Olkaria, Kenya
Cuarzo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cristobalita		x		x	x	x	x	x	x	x				
Grupo Caolín	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Esmectita	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Ilita / montmorillonita	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
Ilita	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
Biotita	x		x	x			x	x						x
Clorita	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Caledonita		x	x	x						x	x			x
Alunita, Natroalunita			x	x	x	x		x						
Anhidrita				x	x	x	x	x	x			x	x	x
Sulfuro			x	x	x		x		x					
Pirofilita					x	x	x							
Talco							x							
Diasporo					x	x	x					x		
Calcita	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aragonita							x		x		x	x		
Siderita			x	x			x		x	x				
Ankerita	x			x			x							
Dolomita	x						x							
Analcima		x		x							x	x		
Wairakita	x		x	x		x	x	x				x	x	x
Erionita		x												
Laumontita		x		x	x	x		x	x	x	x			x
Filipsita				x							x	x		
Escolecita				x							x	x		
Chabazita				x							x			
Thompsonita				x							x			
Epistilbita								x			x			
Heulandita		x		x		x	x	x			x	x		
Estilbita							x				x	x		
Mordenita		x		x				x			x	x		x
Prehnita	x		x	x			x	x	x			x		x
Amfibolita	x			x			x		x			x		
Granate	x		x	?			x							
Epidota	x		x	x		x	x	x	x			x	x	x
Clinozoisita							x	x	x					
Pumpelita										x				
Esfena	x		x	x			x	x	x	x			x	x
Adularia	x	x	x	x		x	x	x	x				x	x
Albita	x			x		x	x	x	x			x	x	x
Leucoceno			x	x	x		x	x						
Magnetita												x		x
Hematita	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Pirita	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pirrotita			x				x					x	x	
Marcasita							x		x			x		
Sulfuros de base metálica			x				x		x				x	
Fluorita		x					x	x						x
Wollastonita													x	
Hedenbergita													x	

Referencias:

Cerro Prieto: Liders, et al. (1981); Reed, (1976); Yellowstone: Fenner, (1936), Honda y Muffler, (1970), Barger, et al. (1973), Keith and Muffler, (1978), Keith, et al. (1978); The Geysers: Steiner, (1958), McNitt, (1964), Sternfeld, (1981); Pauzhetsk: Naboko, (1970); Matsukawa: Sumi, (1968); Otake: Hayashi, (1973); Filipinas: Reyes and Tolentino, (1981); Kawah Kamojang: Browne, (1978); Zona Volcánica de N.Z.: Browne, (1978), C.P. Wood, (1978); El Tatio: Browne, (1978), K. Youngman, (1978); Islandia: Sigvaldason, (1963), Tomasson and Kristmannsdottir, (1972), Kristmannsdottir and Tomasson, (1974, 1976), Kristmannsdottir, (1981), Palmason, et al. (1979); Larderello: Marinelli, (1969), Cavaretta, et al. (1950)

Carbonatos

Calcita, aragonita, siderita

Sulfatos

Anhidrita, alunita, nautrolita, barita

Sulfuros

Pirita, pirrotina, marcasita, esfalerita, galena, calcopirita

Oxidos

Hematita, magnetita, leucoxeno, diásporo

Fosfatos

Apatito

Halitas

Fluorita

Silicatos

Titanita, granate, epidota, tremolita, actinolita, ilita, biotita, pirofillita, clorita, grupo del caolín, montmorillonita, prehnita, adularia, albita, cuarzo, cristobalita, mordenita, laumontita, wairakita

6.1.5 Parámetros Bacteriológicos

6.1.5.1 Coliformes y grupo de coliformes fecales

Las coliformes son bacilos cortos que se han definido como bacterias aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con formación de gas. Las principales especies de bacterias coliformes son *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*; no obstante, las especies que son posibles que se ajusten a estos criterios, son más de veinte, encontrándose entre las mismas especies de otros géneros de la familia Enterobacteriaceae e incluso especies de *Aeromonas*. El grupo de coliformes fecales incluye a los coliformes capaces de crecer a temperatura elevada (44.5 ó 45°C). Las denominaciones “coliforme fecal” y “coliforme” no tienen validez taxonómica;

estos términos sirven mas bien para designar a grupos de bacterias capaces de crecer en condiciones experimentales específicas.

Se utilizan mucho las técnicas de recuento de *E. coli* en alimentos, habiéndose admitido como recuentos indicadores del grado de contaminación. El uso de microorganismos “indicadores” se inició con la determinación de *E. coli* en el agua, como prueba sustitutoria de la determinación de la *Salmonella typhi*. El concepto de microorganismos indicadores se basa en la afirmación hecha por Sharding en el año 1892 según la cual las bacterias de las especies que hoy denominamos *E. coli* podían ser utilizadas como índice o indicadores de contaminación fecal, ya que podían ser aisladas con mayor facilidad que las especies de *Salmonella*.

Otros grupos de bacterias indicadoras y otras pruebas ideadas o utilizadas incluyen los estreptococos fecales o enterococos, las Enterobacteriaceae, los estafilococos (indicando la posible presencia de la enterotoxina de *S. aureus* o un mal manejo), y la presencia de *Geotrichum candidum*, el moho de las máquinas, como indicador del estado de limpieza de la planta industrial o del grado de contaminación del equipo.

Algunas de las propiedades que determinan que las bacterias coliformes sean importantes en las alteraciones que experimentan los alimentos son:

1. Su capacidad para crecer en sustratos muy distintos y para utilizar como fuente de energía algunos hidratos de carbono y algunos otros compuestos orgánicos y, como fuente de nitrógeno, algunos compuestos nitrogenados bastante sencillos,
2. Su capacidad para sintetizar la mayoría de las vitaminas que necesitan,
3. La capacidad de las bacterias de este grupo para crecer perfectamente dentro de un intervalo de temperaturas bastante

amplio, desde temperaturas inferiores a 10°C hasta una temperatura próxima a los 46°C,

4. Su capacidad para producir importantes cantidades de ácido y gas a partir de azúcares,
5. Su capacidad para producir sabores desagradables, definidos a veces como “a sucio” o “a establo”, y
6. La capacidad de *E. aerogenes* para producir mucosidad o viscosidad.

6.1.5.2 Escherichia coli enteropatógeno

La especie *E. coli* es considerada generalmente como integrante de la flora normal del tracto intestinal del hombre y de los animales. Varias epidemias infantiles a lo largo del siglo pasado implicaron a *E. coli* en la enfermedad diarreaica de los niños. Los serotipos de *E. coli* a los cuales se les ha relacionado con enfermedades diarreaicas del hombre o con brotes de intoxicaciones alimentarias han sido denominados *E. coli* enteropatógeno (EEC). En el hombre, los síndromes de enfermedad como consecuencia de la ingestión de EEC se han dividido en dos grupos principales.

El primer grupo esta integrado por cepas que elaboran una enterotoxina y que producen una enfermedad parecida al cólera o enfermedad enterotoxigénica en las personas (ver tabla 6.6). Estas cepas enterotoxigénicas suelen producir dos enterotoxinas, una toxina termoestable (ST) y otra toxina termolábil (LT), creyéndose que son las causantes de las enfermedades diarreaicas de los niños y de la diarrea del viajero.

Para que se desencadenen las enfermedades enterotoxigénicas, se precisa la ingestión de serotipos de EEC capaces de elaborar las enterotoxinas, seguida de la colonización de los microorganismos en el tramo superior del intestino delgado y de la producción de las enterotoxinas.

Parece ser que las enterotoxinas intervienen en el paso de agua a la luz intestinal. Esta acumulación de líquido tiene lugar sin que se produzca ninguna modificación macroscópica importante en el epitelio intestinal y sin que exista ni penetración ni invasión de las bacterias.

El otro gran grupo está integrado por cepas invasoras que elaboran una citotoxina y originan una enfermedad invasora, colitis, o un síndrome disenteriforme. Estos serotipos no elaboran enterotoxina, se multiplican en el colon, e invaden o penetran en las células epiteliales de su mucosa, produciendo los signos y síntomas que se describen en la tabla 6.5.

Para que se presenten tanto la enfermedad enterotoxigénica como la enfermedad invasora, se necesita una elevada dosis de EEC. Por consiguiente, para que tenga lugar una abundante multiplicación, los alimentos deben estar contaminados masivamente o deben estar incorrectamente conservados o refrigerados. La temperatura óptima de crecimiento del microorganismo es de 37°C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40°C. Su pH óptimo de crecimiento es de 7.0 a 7.5, con un pH mínimo de crecimiento de valor 4.0 y un pH máximo de crecimiento de valor 8.5.

Este microorganismo es relativamente termosensible y puede ser destruido con facilidad a temperaturas de pasteurización y también mediante la apropiada cocción de los alimentos. En la tabla 6.6 se relacionan algunos alimentos implicados en los brotes de enfermedad producidos por EEC y algunos métodos que se emplean en su prevención. Además de las cepas de *E. coli* citadas anteriormente, existe un grupo a las cuales se conoce como cepas hemorrágicas. Estas cepas pueden producir en las personas una enfermedad que se caracteriza por la aparición de diarrea hemorrágica y dolor abdominal intenso.

Tabla 6.5 Caracteres de las enfermedades transmitidas por la Escherichia coli (Frazier, 1993)

Enfermedad	Agente causal	Período de incubación, signos y síntomas	Alimentos implicados	Medidas de control
Infección por Escherichia coli enteropatógeno	E. coli; producen la enfermedad tanto las cepas enterotoxigénicas como las invasoras	De 8 a 24 horas, con una media de 11 h (cepas invasoras); de 8 a 44 horas, con una media de 26 h (cepas enterotoxigénicas; enfermedad invasora; fiebre, escalofríos, cefalalgia, mialgia, retortijones abdominales, abundante diarrea acuosa; parecida a la shigelosis; enfermedad enterotoxigénica; diarrea (deposiciones que parecen agua de arroz) vómitos, deshidratación; parecida al cólera	Sucedáneos del café, salmón (?), queso, agua	Enfriar rápidamente los alimentos en pequeñas cantidades; cocer totalmente los alimentos; practicar la higiene personal; preparar los alimentos de forma higiénica; proteger y tratar el agua; eliminar las aguas residuales de forma higiénica

6.2 Tabajos de Prospección del Area

6.2.1 Metodología

Para la elaboración de este trabajo primeramente se recabó toda la información previa que, sobre Baños de San Vicente, se pudo encontrar. Posteriormente, usando el mapa topográfico y geológico de la zona de Zapotal, a escala 1:50 000, junto con las fotos aéreas de Baños de San Vicente, se elaboraron los mapas de geología local, hidrográfico, estructural, ubicación de sondeos eléctricos verticales y ubicación de puntos de toma de muestras de aguas, todos ellos a escala 1:50 000.

Después, se realizaron salidas de campo para la comprobación geológica de los mapas. Se determinaron si los sitios previamente marcados en el mapa, para la toma de los sondeos eléctricos verticales, eran los mas adecuados, por topografía y accesibilidad, llevándoselos a cabo una vez ubicados los lugares definitivos, el dispositivo utilizado fue el Schlumberger con aberturas AB/2 entre 400 y 500 metros. También se localizaron los manantiales que iban a ser muestreados, y se les tomaron datos tales como dimensiones y valores de temperatura y pH. Ya en oficina, los datos de geofísica fueron procesados usando el software de procesamiento para sondeos eléctricos verticales "Rs1D" desarrollado por el Doctor Suprijadi Soengkono del

Instituto Geotérmico de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda. Procediéndose, también, a la interpretación geoquímica de los resultados obtenidos en los análisis físico – químicos realizados sobre las muestras de agua, dando como resultado las conclusiones y recomendaciones expuestas en el capítulo 9.

6.2.2 Metodología de Campo y Equipos de SEV

Durante Junio y Julio del 2002 se realizó una campaña de sondeos eléctricos verticales en los alrededores de Baños de San Vicente. La ubicación de los diferentes puntos de medida se especifican en la Fig. 7.5. La finalidad de este estudio es determinar, basándose en valores de resistividad eléctrica, los niveles porosos y permeables que permiten el movimiento de los fluidos, sean termales o no, en el subsuelo. También elaborar curvas de iso-resistividad, a diferentes aberturas ($AB/2$), para determinar el límite de resistividad de la probable zona geotérmica.

El equipo utilizado en este trabajo fue el ABEM TERRAMETER SAS SYSTEM, el cual consiste de una unidad básica denominada Terrameter SAS 300 y que, dependiendo del trabajo que se realice, es complementado con el SAS 2000 Booster o el SAS Log 200. Con este equipo se toman automáticamente varias lecturas en forma consecutiva y los resultados son promediados continuamente. El promedio de las lecturas son constantemente actualizadas y presentadas de inmediato en pantalla. Este proceso continúa hasta que el operador se sienta satisfecho con la estabilidad de los resultados.

La unidad SAS 300 puede ser usada para investigaciones de potencial espontáneo y resistividad. El SAS 2000 Booster (opcional) apoya al SAS 300 en situaciones donde el voltaje y/o la corriente debe ser incrementado. El SAS Log 200 (también opcional) permite extender las investigaciones dentro de pozos y perforaciones. Consiste de un cable de 200 m con probeta de

registro, electrodos, medidor de temperatura y células de resistividad, todo en un solo equipo. En este trabajo se utilizó principalmente la unidad SAS 300, y en ocasiones la unidad SAS 2000 Booster. No se usó en ningún momento la unidad SAS Log 200, por lo que no se mencionarán más detalles de esta parte del equipo.



Fig. 6.8 Equipo de Geofísica Terrameter SAS 300 de la ESPOL, utilizado en la toma de los SEV's de este trabajo. Se aprecian el módulo principal, los carretes de emisión y recepción de corriente (de color naranja), carrete que mide la diferencia de potencial (en colores rojo y negro), la fuente de poder (batería de carro) y los electrodos de acero y cobre para los puntos A, B y M,N respectivamente (dispositivo Schlumberger).

El sistema Terrameter SAS 300 puede operar de dos maneras:

- Modo para investigaciones de resistividad, el cual comprende una batería que proporciona la salida suficiente para una separación de los electrodos de corriente de 2000 metros, bajo buenas condiciones de trabajo. $\Delta V/I$ es calculado automáticamente y mostrado en pantalla en kilohms, ohms o miliohms. Su rango efectivo es desde 0.5 miliohms hasta 1999 kilohms.
- Modo para medidas de voltaje, el SAS 300 comprende un instrumento de potencial espontáneo que mide los potenciales de

corriente directa naturales. El resultado se muestra en V o mV. Su rango efectivo se extiende desde 0.01 mV hasta 500 mV

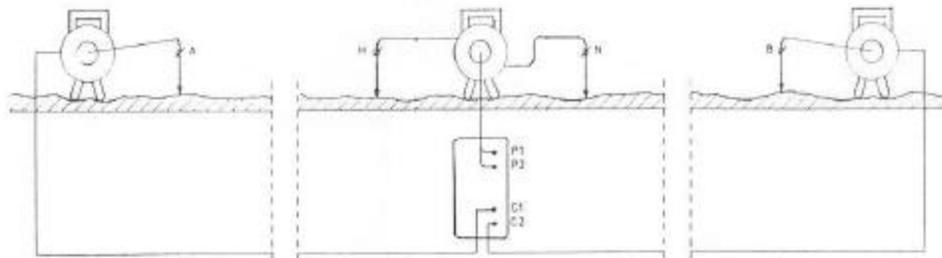


Fig. 6.9 Disposición del equipo en el campo para medidas de resistividad

Para las mediciones en campo se utilizó el dispositivo Schlumberger, dispuesto como se muestra en la fig. 6.9. Los puntos A, B, M y N corresponden a los electrodos de emisión y recepción de corriente (A y B respectivamente), se mide la diferencia de potencial en los electrodos del centro (M y N).



Fig. 6.10 Equipo de trabajo de sondeos eléctricos en operación

Las puntas A y B están hechas de acero inoxidable, mientras que M y N son de material de cobre. Los electrodos exteriores o de corriente se expanden en distancias simétricas con respecto al origen, hasta una abertura máxima (AB) de 800 m, determinándose la resistividad aparente en cada estación. Una muestra de la hoja de campo se observa en el anexo C.

6.2.3 Métodos de Muestreo geoquímico

Las muestras consideradas en este trabajo fueron tomadas durante julio y agosto del 2002. Se utilizaron tres tipos de botellas plásticas para la recolección: botellas plásticas de polietileno con capacidad de 1 litro para los análisis químicos. Botellas plásticas de polietileno con capacidad de 34 mililitros para los análisis de isótopos estables y recipientes esterilizados de plástico con capacidad de 250 mililitros para los análisis bacteriológicos. Las muestras fueron tomadas en los puntos de mayor emanación de fluidos y gases y los valores de temperatura y pH fueron tomados de cada manantial en el momento del muestreo.

Estas muestras deben preservar ciertos constituyentes sensibles; por esto frecuentemente se requiere la aplicación de uno o ambos de los siguientes procedimientos: filtración y acidificación. En este caso no se consideró la segunda opción; debido a que la determinación de metales traza en estas aguas no era uno de los objetivos.

Para la filtración se usaron membranas de 0.45 μm (Millipore) esenciales para aguas de baja temperatura ($<90^\circ\text{C}$), para prevenir el crecimiento de algas que podrían dar resultados confusos en los análisis del espectrofotómetro de absorción atómica. En el caso de un flujo claro de aguas a alta temperatura ($>95^\circ\text{C}$), la filtración es necesaria solamente para la precisión en la determinación de elementos traza tales como Fe, Mn, Ni, Cu, etc., seguido por acidificación. La precisión en la determinación de los contenidos muy bajos de cloruro en descargas de alta temperatura ($>250^\circ\text{C}$) también requiere filtración.

Al momento del muestreo los detalles como nombre y fecha de recolección de la muestra deben ser registrados sobre la botella de muestreo en la cual esta es colectada. Otros detalles a ser registrados incluyen:

Fecha:	año, mes, día, hora
Ubicación:	referencia en un mapa, número del manantial, nombre
Descripción de la fuente:	tamaño, forma, profundidad, claridad, color, tipo de depósitos, grado de ebullición, pH, etc.
Temperatura:	° Celsius
Flujo:	L/s

Para muestras de pozos también deben incluirse:

Presión en la cabeza del pozo:	bar gauge o bar absoluto, siempre especificar
Presión de separación:	bar gauge o bar absoluto, siempre especificar
Tipo de muestra:	agua separada, weirbox, vapor condensado
Entalpia de la descarga:	kJ/kg, si esta disponible

En el caso de manantiales fluentes, la determinación del caudal se la hace usando una presa V-notch. En la ausencia de tales dispositivos, los caudales pueden ser obtenidos midiendo el tiempo, en segundos, tomado para un pedazo de madera, pasto, etc., flotando a lo largo de una distancia dada en el canal de flujo de agua. Midiendo su longitud y estimando la profundidad y anchura en decímetros (1 dm = 10 cm), el caudal es directamente obtenido en l/s de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Caudal (l/s)} = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \frac{\text{profundidad}}{\text{tiempo}} \quad (6.19)$$

El tamaño de las muestras depende de la cantidad de componentes a ser determinados. Para análisis que involucren obtener valores de pH, Li, Na, K,

Rb, Cs, Mg, Ca, Al, B, SiO₂, NH₃, Cl, HCO₃, CO₃ y SO₄ se requieren aproximadamente 500 ml de solución, por lo tanto un volumen de 1000 ml de muestra es suficiente. Alrededor de 30 ml adicionales son necesarios para análisis isotópicos de aguas para deuterio y oxígeno 18, y un litro de muestra adicional es usualmente adecuado para las determinaciones de tritio.

En este trabajo solamente se consideraron muestras de agua y sedimentos, no de gases, determinándose los siguientes parámetros en los fluidos: pH, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, óxido de silicio, nitritos, oxígeno 18, y deuterio para cada una de las 10 muestras tomadas; así como el contenido de bacterias en 5 de ellas. Los recipientes, llenos con las muestras de líquido, usadas en los análisis isotópicos y bacteriológicos son mostrados en la Fig. 6.11.



Fig. 6.11 Recipientes de plástico conteniendo las muestras de agua para análisis bacteriológicos (al fondo) e isotópicos (al frente)

6.2.4 Ubicación de los puntos de muestreo

Para la toma de muestras se eligieron aquellos puntos de agua que por sus características de ubicación, temperatura y actividad termal son de gran importancia para correlaciones y comparaciones una vez obtenidos todos los resultados de los análisis.

Siguiendo esta pauta, a más de los manantiales termales, se tomaron también muestras de aguas que no presentaban características de termalidad; como es el caso de los reservorios de agua (muestras M9 y M11) ubicados sobre el mismo cauce de los manantiales termales y no muy distantes de ellos; y el pozo para captación de agua subterránea en el pueblo de Saya (muestra M6). La ubicación de los manantiales muestreados se presentan en la Fig. 5.5 del capítulo 5.

CAPITULO VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Mapa de Fracturas

De acuerdo a la imagen de radar, escala 1:100000 de la Hoja de Salinas, en la Península de Santa Elena los sistemas de fracturamiento regionales tienen los siguientes rumbos: 62° azimuth, 337° azimuth, 310° azimuth y 90° azimuth. Se elaboró un mapa de fracturas del área de estudio basándose en la interpretación fotogeológica de las fotos pancromáticas en blanco y negro No. 36, 37, 38 y 16, 17, 18 de las líneas aéreas 48 y 49 respectivamente, tomadas sobre la Península de Santa Elena. Este material fue donado por la Compañía Petrolera Tennessee del Ecuador S.A. al Departamento de Fotointerpretación de la ESPOL. Esta compañía administraba parte del campo petrolero de Ancón, en la década de 1960. Actualmente estos campos están bajo la administración de la ESPOL. Resultado de este trabajo es la Fig. 42 (capítulo 4), en la cual se observa el intenso fracturamiento que esta zona en particular, y la Península en general, han sufrido.

Del mapa de la Fig. 4.2 se tomaron los rumbos de cada una de las observaciones y se elaboró un diagrama de Rosas para determinar las direcciones de fracturamiento dominantes, el cual se muestra también en este mapa. Según este diagrama en Baños de San Vicente existen fracturas en, prácticamente, todas las direcciones, siendo las predominantes aquellas con rumbos: 0°, 80° y 140° azimuth, valores que están en concordancia con los rumbos regionales.

7.1.1 Densidad de Fracturas

Un parámetro muy útil para poder determinar, estructuralmente hablando, la migración de los fluidos es el denominado “densidad de fracturas”, el cual se define como la longitud total de lineamientos por unidad de área (unidad: $\text{km} / \text{km}^2 = \text{km}^{-1}$). La densidad de fallas y fracturas se estima sumando el total de lineamientos presentes dentro de una cuadrícula, en una red dada, y dividiendo ese valor para el área de ese cuadrado, el valor así obtenido se lo

ubica en el centro de su respectiva cuadrícula. Una vez calculados los valores de este parámetro para cada cuadrícula, y conocida sus coordenadas, se puede construir un mapa de contornos de densidad de fallas y fracturas.

Para este trabajo se elaboró un mapa de contornos de este tipo calculando la cantidad total de lineamientos dentro de cuadrículas de 1 km^2 de área (1 km por lado), formando una red dentro de las siguientes coordenadas (UTM):

Tabla 7.1 Coordenadas de los puntos que forman el cuadrante que limita al área de estudio en Baños de san Vicente

X	Y
530000	9759000
542000	9759000
530000	9750000
542000	9750000

Tomando en cuenta la escala a la cual se trabajó se consideró que ese tamaño de red fue el más adecuado para poder estudiar, sin temor a error excesivo, la variación en la densidad de fracturas dentro del área de Baños de San Vicente. Los resultados (Fig. 7.1) muestran que los valores más altos de densidad de fracturamiento ($> 5 \text{ km/km}^2$) en esta zona ocurren a aproximadamente 1.5 km de distancia, al noreste de las manifestaciones termales

Bajo los sedimentos del Grupo Azúcar, predominantes en ese sector, existen las capas más antiguas y consistentes de la Formación Santa Elena, las cuales afloran en los cerros más al norte y oeste de Baños de San Vicente. El intenso fracturamiento de estos materiales, por estar ubicados en zonas topográficamente más elevadas, permitirían al flujo de fluidos, por gravedad, deslizarse por los espacios permeables y porosos de las fracturas, hacia el punto de cota más baja en el terreno, que coincide con el área de emanación de los manantiales en la zona de Baños de San Vicente.

Esto podría sugerir un origen meteórico para las aguas que brotan de los manantiales, pero en realidad estos son fluidos superficiales que se mezclan con aquellos que ascienden desde zonas más profundas, constituyéndose todos los cerros al norte del Complejo como las zonas de recarga para los acuíferos superficiales. Basándose en estos contornos se delimitó la zona con fracturamiento mayor de 4 km de lineamiento por km de área, ubicándose este sector en la parte noreste muy cerca de las manifestaciones termales superficiales, tal como se aprecia en la Fig. 7.1.

7.2 Sondeos Eléctricos Verticales

Como resultado de la campaña de sondeos eléctricos verticales llevada a cabo en los alrededores de Baños de San Vicente se obtuvieron las curvas de resistividad eléctrica representativas de esa zona. Los datos y curvas de campo sin procesar pueden ser apreciados en el anexo A.

Para la interpretación de estos datos se usó un programa de modelización de resistividad en 1 dimensión denominado RS1D, desarrollado por el Dr. Suprijadi Soengkono del Instituto Geotérmico de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda.

Tabla 7.2 Datos generales de los sondeos eléctricos verticales realizados en Baños de San Vicente.

Sondeo #	Ubicación (Coordenadas UTM)		Rumbo (Azimuth)	Cota (msnm)
	X	Y		
SEV-02	534535	9752860	90	123
SEV-03	532302	9752559	75	88
SEV-04	533014	9753988	45	73
SEV-05	532857	9754627	90	96
SEV-06	532085	9755196	100	116
SEV-07	532865	9755338	70	135
SEV-08	534011	9755188	50	150
SEV-09	533613	9752254	15	84
SEV-10	534046	9754193	90	102

Este software, basado en DOS, interpreta las curvas SEV en términos de capas horizontalmente estratificadas usando el método de “prueba y error”. Este programa requiere el ingreso de las mediciones realizadas con el dispositivo Schlumberger (una lista de los valores de $AB/2$ y ρ_a) y un modelo inicial (una lista de valores de resistividad y espesores de un cierto número de capas). El programa crea una curva SEV teórica basada en el modelo, la cual es graficada junto con la curva SEV de las medidas de campo para comparación. El modelo puede entonces ser revisado y modificado, ya sea cambiando los números en la tabla de resistividad y espesores del modelo o directamente sobre el gráfico, hasta que se logre un buen ajuste entre las curvas SEV teórica y observada. Los modelos que resultaron de esta interpretación son expuestos en el anexo B. La interpretación de cada uno de estos sondeos se presenta a continuación.

SEV-02:

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	26.9	15.9
2	3.5	24.0
3	13.2	72.5
4	25.1	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo HA
($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$)

Este sondeo fue realizado a lo largo de la vía que conduce al poblado de Saya, ubicado 6 km al este de Baños de San Vicente. El sitio esta localizado sobre materiales arenosos de la Formación Tablazo. La primera capa corresponde a materiales arenosos de grano fino del Pleistoceno, con interestratificaciones de arenas arcillosas con un espesor de 16 m

La segunda capa, de 24 m de espesor, corresponde a arcillas de muy baja resistividad, indicando una capa muy conductiva que posiblemente sea un nivel por el que circulen fluidos con alta concentración de minerales disueltos. La tercera capa, con 73 m de espesor, corresponde a arcillas con una cantidad importante de arenas en su seno y que permitirían también el

flujo de fluidos de la capa superior. Por último, existe una capa de arenisca que es similar en sus valores de resistividad a la primera capa.

SEV-03

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	18.3	16.5
2	80.4	15.0
3	11.9	47.9
4	4.0	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo KQ
($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$)

Este sondeo se realizó paralelo a la vía de acceso al poblado de Baños de San Vicente. Hay una primera capa con 16 m de espesor compuesta por rocas arenáceas de grano fino del Pleistoceno, similares a aquellas de la primera capa del SEV-02. Los valores de resistividad en la segunda capa indican una roca caliza (posiblemente lutita) que trabajaría como material impermeable y semi aislante que separa las capas más conductivas, tanto superior como inferior.

La tercera capa, con espesor de 48 m, es una arcilla arenosa a través de la cual pueden estar fluyendo los fluidos mineralizados. La cuarta capa tiene una resistividad muy baja, está formada por arcillas que han sufrido algún tipo de alteración hidrotermal, y que al mismo tiempo estén impregnadas de fluidos mineralizados que muy probablemente sean termales.

SEV-04

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	101.3	10.0
2	1.2	31.1
3	16.3	60.5
4	2.3	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo HK
($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$)

Este sondeo fue ubicado sobre el cauce del Río Salado, el mismo por el que brotan los manantiales termales. La primera capa esta compuesta, casi en

su totalidad, de materiales aluviales provenientes del Grupo Azúcar, la Formación Santa Elena y la Formación Tablazo.

La segunda capa, de 31 metros de espesor, tiene una resistividad muy baja en comparación a la anterior, a 10 m de profundidad los materiales se vuelven repentinamente muy conductivos (como se puede ver en las figuras A.4 y B.4 de los anexos A y B respectivamente), pasando de los aluviales a arcillas impregnadas con fluidos mineralizados y quizás alteradas hidrotermalmente. Esto puede deberse a que, a esa profundidad, se encuentra el contacto entre la Formación Tablazo y el Grupo Azúcar, siendo éste una discordancia o una falla.

La tercera capa, con 61 m de espesor, corresponde a una arcilla arenosa; y la última capa, con resistividad de 2.3 Ω -m, tiene características resistivas muy similares a la segunda capa de este mismo sondeo, no siendo raro que fueran el mismo material.

SEV-05

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)	
1	20.0	13.0	SEV de tres capas con una curva de resistividad verdadera tipo H ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$)
2	1.6	66.6	
3	29.9		

Este sondeo se realizó sobre el camino de verano que, partiendo desde Baños de San Vicente y con dirección noroeste, pasa por Morrillo hasta llegar a la población de San Pablo en la costa norte de la Península. El punto de medida se ubicó cercano a una cantera de materiales de construcción (cascajo), en la que se observó la presencia de lutitas amarillas y blancas con nódulos de chert. Las características y coloración de estas lutitas indicarían un tipo de alteración hidrotermal ocurrida sobre ellas.

La primera capa, de 13 m de espesor, corresponde a las arenas, con un cierto porcentaje de arcillas, del Grupo Azúcar. La segunda capa, bastante potente (67 metros), presenta una resistividad muy baja en comparación a las capas adyacentes; los materiales, al igual que en el SEV-04, se vuelven repentinamente conductivos pasando de las arenas a arcillas impregnadas con fluidos mineralizados y quizás alteradas hidrotermalmente. Por su valor de resistividad, y similar profundidad, no es de extrañar que sea la misma capa 2 observada en el SEV-04.

La tercera capa muestra una arenisca, que si bien permite el flujo de fluidos en su seno, no lo hace con la misma facilidad que la capa inmediata superior.

SEV-06

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)	
1	7.0	12.6	SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo KH ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$)
2	56.8	7.3	
3	4.6	19.9	
4	18.9		

El SEV-06 se ubicó ~1 Km al noroeste sobre el mismo camino de verano del SEV-05, en el flanco sur del Cerro de Baños y aproximadamente sobre el contacto entre las areniscas calcáreas cuaternarias de la Formación Tablazo con las argilitas silicificadas y areniscas finas cretáceas de la Formación Santa Elena. Debido a que este contacto, según la interpretación fotogeológica, es una falla, los puntos de esta curva presentan un comportamiento interesante.

De la curva de la fig. A.6 (anexo A) se observan tres patrones de puntos bien diferenciados. Cada patrón comienza con un valor de resistividad de ~10 Ω -m y termina con otro de alrededor de 20 Ω -m siempre en forma ascendente y con cambios abruptos en los puntos de abscisas $AB/2 = 20$ m, 75 m y 300 m. Ya que las curvas mantienen una regularidad dentro de cada patrón se

puede afirmar que dentro de cada intervalo de caída abrupta de la resistividad se tienen planos de fallas que, de acuerdo a la expresión 6.13, estarían a profundidades de aproximadamente 10 m, 38 m y 150 m respectivamente.

Del modelo teórico obtenido para estos datos se desprende que la primera capa, con 13 m de espesor, corresponde mayoritariamente a arcillas arenosas y dentro de la cual estaría el primer plano de falla. La segunda capa (de 7.3 m de espesor) es bastante resistiva en comparación a las adyacentes, indicando una capa semi permeable de areniscas que separa los niveles poco resistivos superior e inferior.

La tercera capa, con 20 m de espesor, es muy conductiva señalando la presencia de arcillas con algún tipo de alteración hidrotermal, dentro de este nivel se encuentra el segundo plano de falla y puede corresponderse con los niveles 2 del SEV-05 y 2 y 4 del SEV-04. La última capa corresponde a areniscas fracturadas ya que el tercer plano de falla atraviesa este nivel.

SEV-07

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	4.5	5.2
2	174.7	5.3
3	3.3	29.4
4	39.6	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo KH
($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$)

Este sondeo se ubicó en un desvío del camino de verano del SEV-05 que se orienta hacia el nordeste, al Río Asagmones. De acuerdo a la curva de campo (fig. A.7, del anexo A) el comportamiento de este sondeo es similar al del SEV-06. Se aprecian cuatro patrones de curvas separados por cambios bruscos en la resistividad; los dos primeros grupos de puntos mantienen valores de resistividad casi constantes, de aproximadamente 10 y 20 Ω -m respectivamente.

En el tercer grupo de puntos la resistividad, en cambio, muestra un patrón ascendente, y vertiginoso en los últimos puntos, entre 11 y 40 Ω -m; el último patrón es también ascendente con valores entre 13 y 25 Ω -m. Así, los cambios bruscos, o desniveles, en los valores de resistividad están en las abscisas $AB/2 = 30$ m, 75 m y 300 m que, al igual que en el SEV-06, indicarían la presencia de planos de falla, a profundidades de aproximadamente 15 m, 38 m y 150 m respectivamente (según la expresión 6.13).

Del modelo se observa que la primera capa, con 5 m de espesor, esta constituida por arcillas muy conductivas. La segunda capa corresponde a calizas impermeables que separan los niveles conductivos superior e inferior. La tercera capa esta asociada a arcillas conductivas que guardan cierta relación con el nivel 3 del SEV-06; en esta capa se encuentran los dos primeros planos de falla mencionados anteriormente. La última capa está compuesta por materiales areno arcillosos, el último plano de falla se encuentra en este nivel.

SEV-08

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	139.7	6.3
2	18.9	6.8
3	8.0	71.2
4	15.1	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo QH
($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$)

Este sondeo se realizó sobre una pica a 1 km al nordeste de Baños de San Vicente. El modelo teórico de esta curva muestra una primera capa con 6.3 m de espesor y resistividad muy grande, ésta corresponde a las areniscas masivas y conglomeráticas de la Formación Chanduy del Grupo Azúcar, presente en el Cerro Palos Largos al norte del punto de sondeo.

La segunda capa, con 7 m de espesor, esta formada por arenas arcillosas. La tercera capa es muy potente (71 m de espesor) y esta formada por

materiales arcillo arenosos impregnados de fluidos mineralizados. La última capa corresponde a arenas arcillosas y es similar, resistivamente hablando, a la capa 2 de este sondeo, pudiendo ser los sellos semi permeables del nivel 3.

SEV-09

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	4.8	10.0
2	60.1	9.9
3	20.1	13.2
4	5.6	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo KQ
($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$)

Este sondeo se ubicó sobre el camino de verano que une los pueblos de Juan Montalvo y Baños de San Vicente. La primera capa de este modelo, con 10 m de espesor, esta formada por arcillas arenosas muy poco resistivas, que contrastan con los materiales arenosos de la Formación Tablazo en superficie. La segunda capa, de igual espesor, súbitamente incrementa su resistividad, encontrando materiales aluviales provenientes del Grupo Azúcar, la Formación Santa Elena y la Formación Tablazo.

La tercera capa, con 13 m de espesor, corresponde a areniscas finas y conglomerático – arcillosas con conchas y nódulos, la cual es una litología característica de la Formación Tablazo. La cuarta capa puede estar formada por areniscas de grano muy fino, probablemente fracturadas o alteradas hidrotermalmente, por las cuales fluidos mineralizados están fluyendo.

SEV-10

Capa	ρ (Ω -m)	Espesor (m)
1	28.0	10.0
2	7.9	10.7
3	4.4	58.8
4	39.9	

SEV de cuatro capas con una curva de resistividad verdadera tipo QH
($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$)

Este sondeo se realizó medio kilómetro al este del poblado de Baños de San Vicente, casi sobre la ruta del antiguo ferrocarril. Este sondeo fue ubicado sobre una zona de fallas, razón por la que algunos puntos de la curva de campo presentan lo que, a simple vista, parecería dispersión, pero al analizar detenidamente el comportamiento de todos los puntos y correlacionar esto con la geología de la zona se llega a la conclusión de que estas variaciones bruscas de resistividad corresponden a planos de falla, tal y como ocurre con los SEV's 06 y 07.

Observando la fig. B.10a (del anexo B) se puede apreciar que los 8 primeros puntos siguen el comportamiento típico de una curva tipo Q de tres capas; a excepción del segundo punto que bruscamente desciende de $30 \Omega\text{-m}$ a $4 \Omega\text{-m}$ y, súbitamente, crece a $12 \Omega\text{-m}$ continuando con su comportamiento normal. Después, en los puntos 11, 12 y 13 ocurren cambios bruscos similares, pasando de $8 \Omega\text{-m}$ a $22 \Omega\text{-m}$, bajando vertiginosamente a valores menores de $2 \Omega\text{-m}$ para posteriormente recuperar la forma en el último punto. Estos desniveles en la resistividad para intervalos específicos de las abscisas ($AB/2 = 20 \text{ m}$, 200 m y 400 m) son idénticos a los encontrados en los sondeos 06 y 07, indicando dos posibles planos de falla a 10 m y 200 m de profundidad (según la expresión 6.13).

Del análisis del modelo teórico se observa que la primera capa, con 10 m de espesor, corresponde a areniscas finas y fracturadas con niveles silicificados (chert) cretáceos de la Formación Santa Elena. La segunda capa, con 11 m de espesor, está compuesta de areniscas y arcillas arenosas probablemente muy fracturadas, ya que el primer plano de falla aparece en este nivel. En la tercera capa (de 59 m de espesor) es evidente la presencia de las arcillas alteradas observadas en los sondeos 04 y 05. En la última capa nuevamente se encuentran areniscas de grano medio y fino que posiblemente pertenezcan a la Formación Chanduy, del mismo Grupo Azúcar.

7.2.1 Perfil Geoeléctrico

Con todos los datos que se obtuvieron de la campaña geofísica realizada en los alrededores de Baños de San Vicente se elaboró un perfil geoeléctrico (Fig. 7.2) para valorar, las disposiciones y resistividades, tanto en profundidad como en su ubicación con respecto al nivel del mar, de las diferentes capas geoeléctricas.

De este perfil se aprecia que el SEV-07 es el de mayor cota, mientras que el SEV-04 es el de cota más baja. La ubicación de este último es sobre el lecho del río dentro del cual afloran los manantiales, indicando que el nivel freático se encuentra a aproximadamente la cota 70 en ese punto, que coincide con la aparición de los materiales arcillosos de muy baja resistividad registrados en el nivel 2 de este sondeo.

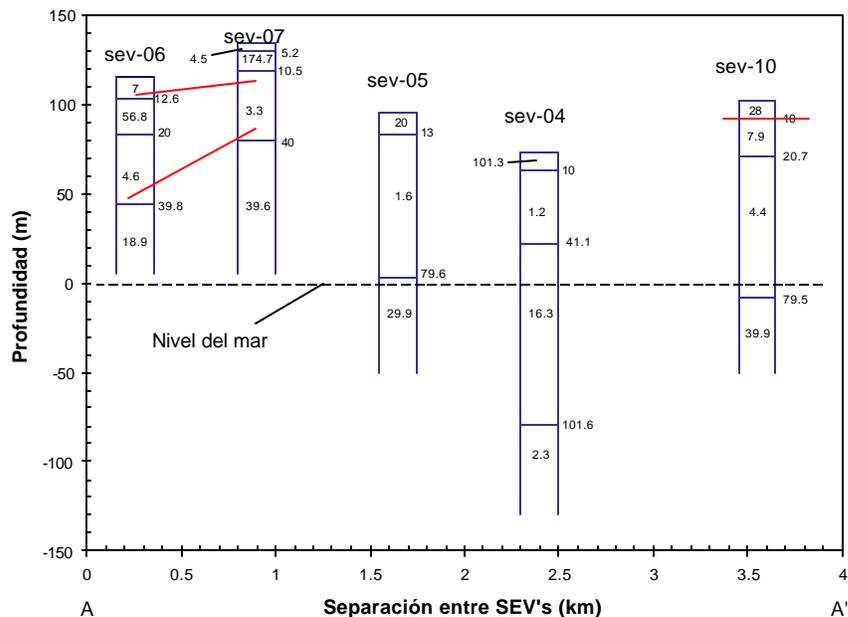


Fig. 7.2 Perfil geoeléctrico A-A' formado por los sondeos 06, 07, 05, 04 y 10, con dirección NO-SE. Los números dentro de cada columna representan los valores de resistividad, los números a la derecha de cada columna representan las profundidades de cada capa. Las líneas rojas que unen los sondeos 06 y 07 y en el sondeo 10 representan planos de falla.

Hay dos planos de falla que cortan el nivel 3 del SEV-07 y los niveles 1 y 3 del SEV-06. La falla más superficial indica que posiblemente hubo un deslizamiento de los materiales resistivos hacia arriba, pero eso es difícil de determinar ya que no se aprecian afloramientos de la misma en superficie. En cambio, la falla más profunda pone en contacto, muy probablemente en forma discordante, las rocas argiláceas poco resistivas de la Formación Santa Elena con materiales más arenosos y resistivos del Grupo Azúcar. Situación similar ocurre entre el primer y segundo nivel del SEV-10.

La Fig. 7.3 muestra el contraste de resistividades en los sondeos del perfil A A'. Las curvas de resistividad aparente están graficadas basándose en los datos de campo (anexo A) para $AB/2 = 50, 100, 200$ y 400 m, los valores en las abscisas hacen referencia a la distancia de separación entre cada SEV. De acuerdo a este gráfico, el SEV-06 no muestra mucha variación en sus valores de resistividad, indicando que, geoelectricamente hablando, los materiales por debajo de este punto no varían demasiado. No pasa lo mismo en los sondeos 07 y 10, donde la gran variación en los valores de resistividad dan clara idea de la variedad y diferencia litológicas que existe por debajo de estos puntos.

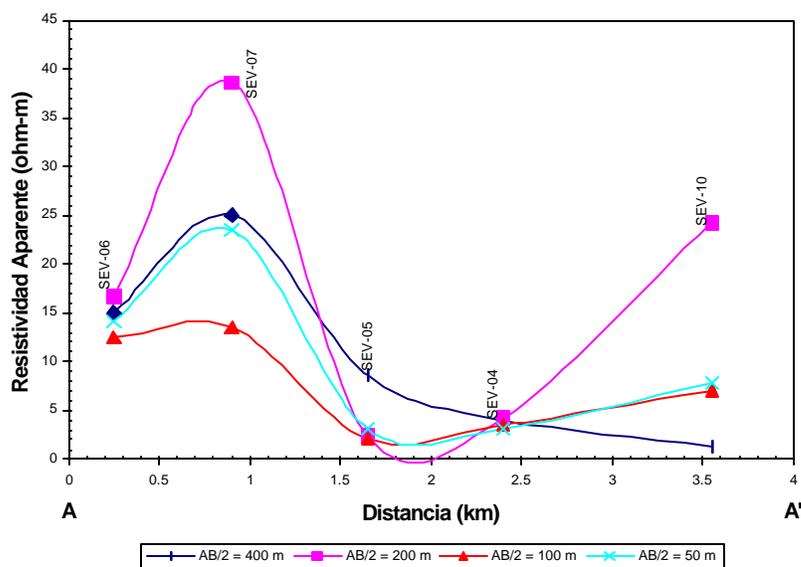


Fig. 7.3 Diagrama que muestra la variación de r_a en la línea A-A' compuesta por los SEV's 06, 07, 05, 04 y 10, con dirección NO-SE. La distancia se refiere a la separación entre cada sondeo

En el SEV-05, a excepción de la curva de $AB/2 = 400$ m, todos los otros valores tienen casi la misma resistividad baja, indicando niveles que pueden ser un poco diferentes entre sí en su litología, pero con la característica común de ser muy conductivos; debido a que estos materiales están impregnados con fluidos mineralizados y termales, que fluyen a través de las fracturas, abundantes en esta zona. El SEV-04 presenta características casi idénticas al SEV-05.

La arcillosidad de una roca afectará en mayor o menor grado su resistividad, dependiendo de:

1. La proporción de arcilla con respecto al volumen de roca
2. Las propiedades físicas de la arcilla
3. La manera como la arcilla se ha distribuido en la formación

Desde que las arcillas contengan agua, son normalmente buenas conductoras eléctricas y su efecto se suma a la conductividad producida por la solución salina contenida en los espacios porosos. Esto implica que, a mayor arcillosidad, mayor será la conductividad de la roca o menor su resistividad.

Los efectos de la arcilla diseminada sobre la resistividad de una roca, son de poca importancia cuando la roca contiene agua de alta salinidad, pero pueden llegar a ser muy importantes cuando la salinidad del agua intersticial es baja. Las arcillas y las lutitas aún cuando impermeables, normalmente presentan una alta porosidad y son por lo general muy uniformes a través de toda la formación. Estas rocas están impregnadas con aguas capilares de alta salinidad, por consiguiente su resistividad es relativamente baja y prácticamente constante a lo largo y ancho del intervalo. Los valores oscilan desde alrededor de $0.2 \Omega\text{-m}$ hasta unos pocos $\Omega\text{-m}$.

Las rocas compactas e impermeables (tales como la anhidrita, sal, formaciones calcáreas densas y ciertas clases de carbón) son altamente resistivas debido al bajo contenido de agua intersticial. Las formaciones porosas y permeables, tales como las arenas, presentan resistividades con variaciones de magnitud muy amplias, dependiendo del fluido que contengan. Las arenas pueden ser muy conductivas si el fluido es agua salada, o muy resistivas si la formación contiene grandes cantidades de petróleo o gas.

7.2.2 Resistividad y Factor de Formación

Muchos experimentos de laboratorio han demostrado que existe una relación de proporcionalidad constante entre la resistividad R_o de una roca limpia saturada de agua y la resistividad del agua contenida R_w , e independiente de la salinidad de la solución:

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (7.1)$$

Este factor de proporcionalidad F se conoce como “Factor de Resistividad de Formación” y es una constante:

$$R_o = F \times R_w$$

Por ejemplo, si el agua de formación aumenta, el valor de R_w disminuye. Esto a la vez permitirá que la corriente pase más fácilmente a través de la formación haciendo que el valor de R_o baje y el de F se mantenga constante. El factor de formación puede relacionarse con la formación mediante la fórmula:

$$F = \frac{a}{\phi^m}$$

Esta expresión, descubierta por Archie, es una de las más importantes relaciones empíricas aplicables a la interpretación con datos de resistividad, donde:

- a, es un coeficiente que depende de la litología y varía entre 0.6 y 2.0
- m, Es el factor de cementación que depende del tipo de sedimentos, la conformación poral, el tipo de conexión poral y por lo tanto, el tipo de porosidad y su distribución; finalmente de la compactación

Para formaciones blandas se aplica la relación:

$$F = \frac{0.81}{\phi^2} \quad (7.2)$$

Que es la usada en este trabajo. Con esta fórmula se calcularon los valores de porosidad para los diversos niveles obtenidos de la interpretación geoelectrica (anexo B). Para el cálculo de R_w se utilizaron los datos geoquímicos de la tabla 7.3, correspondientes a las concentraciones, en ppm, de calcio (Ca), sulfato (SO_4) y cloruro de sodio (Salinidad). Para los cuales se hallaron los multiplicadores de Dunlap (Carta GEN-8 A-6 de la Compañía Schlumberger).

Cada concentración fue multiplicada por su correspondiente valor de Dunlap y sumados. Con este valor total se revisó la carta GEN-8, A6 y se determinó la resistividad del agua de formación (R_w) a 75°F, es decir, la temperatura ambiente (24°C). Para aquellos niveles con resistividad menor a 10 Ω -m se calculó el valor R_w usando los datos geoquímicos del manantial M-2, en los otros se usó los datos del manantial M-11. Un ejemplo de los cálculos realizados se expone a continuación:

Resistividad de la primera capa del SEV-04 $R_o = 101.3 \Omega$ -m, para hallar el valor R_w se usa la carta GEN-8 de la Schlumberger, por lo que se deben

conocer las concentraciones de Ca, SO₄ y NaCl tomados de la muestra M2 (tabla 7.3):

$$\text{Ca} = 937.5 \text{ ppm} \quad \text{SO}_4 = 6187.5 \text{ ppm} \quad \text{NaCl} = 21099.2 \text{ ppm}$$

De la carta GEN-8 los multiplicadores de Dunlap para cada especie son:

$$\text{Ca} \rightarrow 1.1 \quad \text{SO}_4 \rightarrow 0.5 \quad \text{NaCl} \rightarrow 1$$

Se multiplican las concentraciones por estos valores y después se suman:

$$938 \times 1.1 + 6188 \times 0.5 + 21099 \times 1 = 25224.8 \sim 25225 \text{ ppm}$$

De la tabla GEN-8 A-6 se tiene que, a 75°F (24°C), $R_w = 0.24 \Omega\text{-m}$

Entonces, de acuerdo a las expresiones (7.1) y (7.2):

$$F = \frac{101.3}{0.24} = 422.1 \Rightarrow \phi = \sqrt{\frac{0.81}{422.1}} \times 100 = 4.4\%$$

Para las demás capas del SEV-04, y el resto de sondeos, se utiliza el mismo procedimiento.

7.2.3 Mapa de Isoresistividades

Con los datos de campo de cada uno de los sondeos realizados se elaboraron mapas de igual resistividad eléctrica para valores de $AB/2 = 100$ m y 400 m, con el propósito de determinar la distribución de resistividades en la zona a diferentes profundidades. Una vez obtenidos estos diagramas (Fig. 7.4.a y b) se superponen uno sobre otro para identificar el límite de resistividad de la probable zona de alteración hidrotermal y presencia de fluidos mineralizados. Este límite se observa en la Fig. 7.1.

Se consideran como materiales hidrotermalmente alterados y con presencia de fluidos mineralizados a aquellos con valores de resistividad menor a $10 \Omega\cdot m$. Gracias a estudios mineralógicos, térmicos y químicos realizados en detalle sobre campos geotérmicos y zonas hidrotermalmente alteradas en Nueva Zelanda y Estados Unidos se sabe que aquellas zonas con características termales superficiales evidencian bajas resistividades ($>20 \Omega\cdot m$) en su subsuelo como resultado de la acción de los fluidos calientes en la roca reservorio.

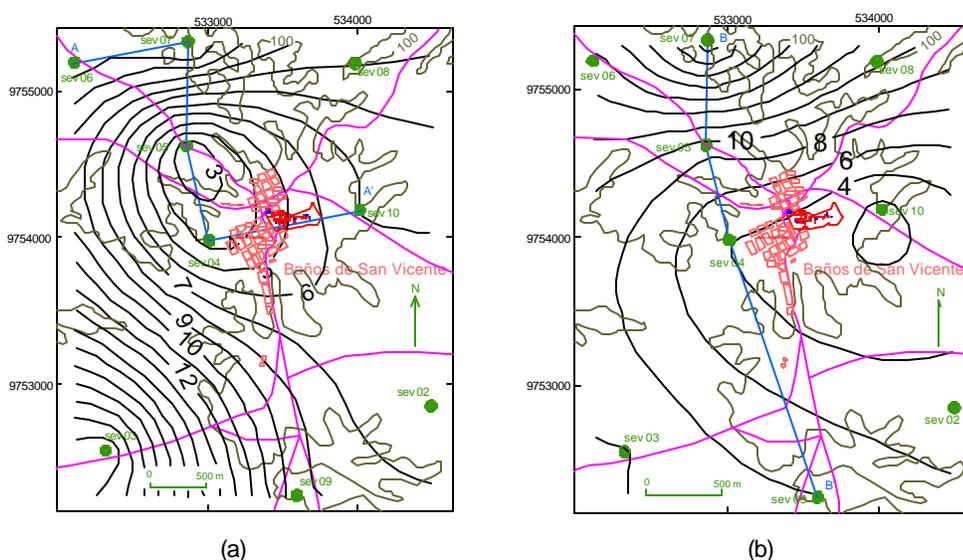


Fig. 7.4 Contornos de resistividad aparente medidos con un dispositivo Schlumberger, con espaciamiento medio ($AB/2$) de (a) 100m, y (b) 400m, en la zona de Baños de San Vicente. Círculos llenos indican la ubicación de los sondeos, las líneas entrecortadas (color azul) señalan la dirección de los perfiles A-A' en (a) y B-B' en (b).

La zona rayada indica que este límite es más pequeño, más abrupto, en los lados norte y oeste; mientras que al sur la transición hacia zonas más resistivas, y por ende más frías, es suave, más gradual. Esto demuestra que los fluidos mineralizados, y posiblemente termales, se deslizan suavemente hacia el sur, siguiendo la topografía. Como se puede apreciar este límite no está completo, faltan los segmentos de la derecha que permitirían cerrar el área. La única manera de lograr esto es realizando más sondeos eléctricos verticales al este y sur de esta zona, pero ese trabajo quedará pendiente para futuras investigaciones.

7.3 Composición Geoquímica de los Manantiales

Entre Julio y Agosto del 2002 se colectaron muestras de agua de los manantiales tanto termales como no termales de los Baños de San Vicente para análisis químicos. Estos involucraban los siguientes parámetros: pH, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , SiO_2 , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , NO_2^- , conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos, δD y $\delta^{18}\text{O}$, los cuales serán analizados a continuación. Los isótopos estables se discuten bajo un título aparte.

Los resultados de estos análisis se muestran en la tabla 7.3, ahí se incluyen datos de un manantial termal ubicado en la zona de Alicante, aproximadamente 15 Km al noreste del Complejo Termal en Baños de San Vicente. La muestra M-3 fue tomada del estudio de Impacto Ambiental que, sobre esa zona, realizó el Centro de Estudios del Medioambiente de la ESPOL, en el 2001.

La temperatura en estos manantiales varía entre 24 y 37°C. Se considera que un manantial es termal cuando su temperatura excede en 4°C a la temperatura media anual de la zona de afloramiento, bajo este precepto, y considerando que la temperatura media anual en Baños de San Vicente es de 24°C, son termales los manantiales M1, M2, M3, M4, M5 y B1.

El pH se encuentra en un rango desde 6.4 a 8.1; es decir, va de ligeramente ácido a ligeramente básico en una dirección oeste – este, indicando mezcla en ese sentido. Las concentraciones muy elevadas de cloruros, por encima de los 10000 ppm, indican que estos fluidos son del tipo salmuera.

Las conductividades muy elevadas de estas aguas dan clara evidencia de la alta concentración de elementos disueltos en las mismas. Esto también se aprecia en los contenidos de sólidos totales y salinidad.

Tabla 7.3 Composiciones geoquímicas de las aguas en Baños de San Vicente y Borbollones, Península de Santa Elena. Concentraciones de los elementos y los sólidos totales están en mg/kg (ppm), salinidad en g/L, temperatura en °C y conductividad eléctrica en mhos/cm. Los resultados de la muestra M3 fueron tomados del Estudio de Impacto Ambiental realizado por el CEMA en el 2001

Muestra	Temperatura	pH	Conductividad	Sólidos totales	Salinidad	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	Fe	SiO ₂	NO ₂
M1	37	6.5	138.9	15,700	23.8	2,300	19.2	937.5	1,718.7	12,813	5,938	0.50	21.87	52.30	0.02
M2	32	6.7	111.1	15,900	21.1	2,600	15.0	937.5	1,562.5	11,144	6,188	0.60	0.60	41.70	0.02
M3	28	7.2		28,150		3,500	500.0	4,000.0	4.0	11,328	0	719.00	1.70		0.46
M4	34	6.4	127.8	18,000	22.7	2,300	15.5	1,250.0	1,562.5	12,200	5,000	0.40	15.60	48.00	0.02
M5	29	6.4	144.4	20,600	22.7	2,000	15.5	1,406.2	1,562.5	12,200	7,031	0.50	23.40	52.80	0.02
M6	25	7.6	1.3	260	0.2	40	11.6	20.0	5.0	98	125	0.55	0.17	0.50	0.32
M8	25	6.6	105.6	9,700	21.2	2,400	17.0	937.5	1,406.3	10,406	6,100	0.50	29.70	46.40	0.02
M9	26	6.8	12.8	1,820	2.1	500	7.6	350.0	100.0	74	1,150	0.40	0.88	36.80	0.02
M11	24	8.1	3.6	770	0.1	1,100	8.1	350.0	50.0	62	180	0.01	0.14	1.35	0.02
B1	30	7.9	105.6	11,950	2.2	2,700	12.5	937.5	1,406.3	10,563	5,094	0.60	0.52	39.60	0.02

Las muestras no termales poseen valores muy pequeños de estos parámetros en comparación con los manantiales termales, con relaciones que van desde 1/11 a 1/100 en la conductividad, 1/20 a 1/60 en sólidos totales y 1/10 a 1/110 en salinidad, denotando su origen netamente superficial.

Los contenidos relativos de Cl, SO₄ y HCO₃ son graficados en el diagrama ternario de la Fig. 7.5. Aquí se observa que los manantiales con características termales forman un grupo compacto entre los valores de 60 y 75% de Cl y 20 y 30% de SO₄, ubicando estos fluidos dentro del grupo de las aguas cloruro – sulfatadas neutras. Esta característica las hace relativamente adecuadas para su uso con geotermómetros en la determinación de la posible temperatura de reservorio.

Los manantiales M6, M11 y M9 corresponden a líquidos sulfatados, características que son propias de las aguas superficiales meteóricas. Un caso especial es M3, este manantial tiene contenidos relativos de Cl y SO₄ por encima del 90% y por debajo del 10% respectivamente. Esto hace que las aguas de M3 sean clasificadas como cloruradas neutras y, por lo tanto, adecuadas para su uso con geotermómetros.

La línea recta que une las concentraciones de los manantiales netamente termales con aquellas concentraciones del pozo de captación en Saya (M6) y de las albardas (M-11, M-9) indica la adición progresiva de sulfatos, es decir, la dilución de estos fluidos conforme ascienden a la superficie. Los manantiales dentro del Complejo Termal tienen las concentraciones menos afectadas por mezcla, siguiendo la línea de dilución nos encontramos con las aguas subterráneas, colectadas por pozo, en la población de Saya.

El manantial M-11 se encuentra a una cota muy similar a las del Complejo Termal y su régimen está gobernado por el ascenso o descenso del nivel freático local. Finalmente el reservorio M9, es el de mayor cota y sus aguas se encuentran completamente diluidas. Si se compara este diagrama con el de la Fig. 6.6 (capítulo 6) se observa que las aguas de los manantiales de Baños de San Vicente están ubicadas sobre la zona de fluidos principalmente de origen volcánico.

Para efectos de comparación se han graficado sobre el diagrama ternario de la Fig. 7.5 las concentraciones relativas de algunos manantiales termales de la zona geotérmica de Tufiño – Chiles – Cerro Negro, en la Provincia del Carchi. Sus ubicaciones en este diagrama las clasifica como aguas bicarbonatadas y muestran claramente las características meteóricas de estos fluidos, a pesar de tener temperaturas de afloramiento mayores y estar localizadas sobre un ambiente geológico netamente volcánico. Debido a su dispersión no se aprecia un patrón coherente de dilución y no son adecuadas para determinar la posible temperatura de reservorio por medio de geotermómetros.

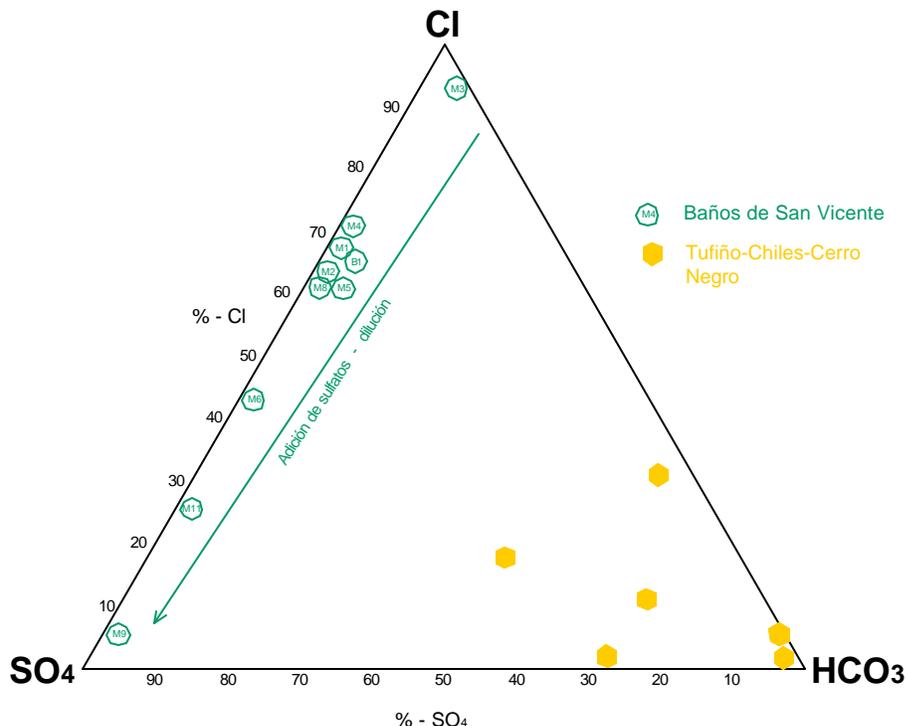


Fig. 7.5 Diagrama ternario en el cual están representados, en círculos abiertos, los contenidos relativos de Cl, SO_4 y HCO_3 de las muestras de agua tomadas en Baños de San Vicente. Hexágonos llenos indican los contenidos relativos de algunos manantiales termales de la zona geotérmica de Tufiño– Chiles- Cerro Negro, en la Provincia del Carchi.

Se puede investigar la naturaleza de los fluidos profundos por medio del diagrama de entalpía contra cloruros, representados en la Fig. 7.6, para valorar los trenes de ebullición y mezcla. En la elaboración de este diagrama se utilizaron las concentraciones de cloruro a condiciones de equilibrio. Para esto se graficaron las concentraciones aflorantes contra las entalpías obtenidas (por medio de las tablas de vapor) de las temperaturas de superficie. Estos puntos se unen con el punto de concentración de cloruros cero y entalpía de 2680 kJ/kg, que son las condiciones ideales de reservorio, para formar las líneas de ebullición.

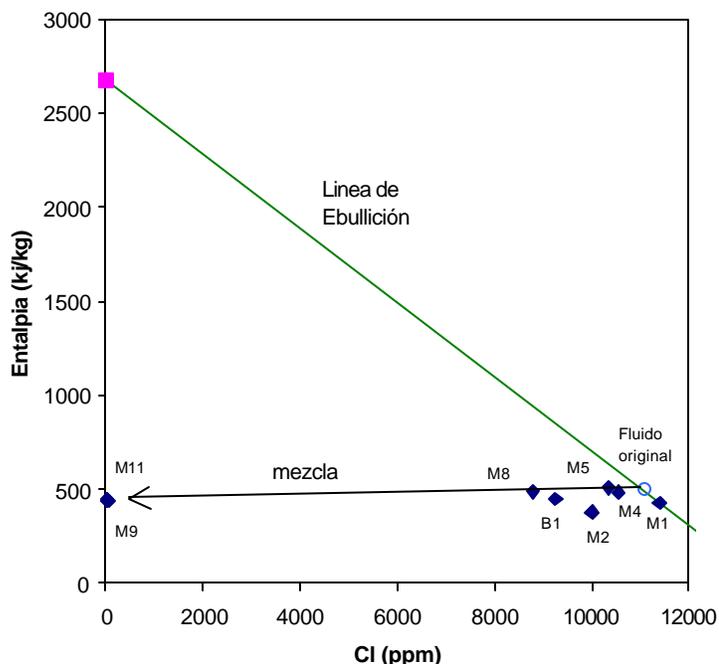


Fig. 7.6 Diagrama entalpía vs cloruros de las muestras de agua tomadas en Baños de San Vicente. Se muestra un posible fluido original (120°C) y los efectos de mezcla con aguas subterráneas superficiales.

Se determinaron las temperaturas de equilibrio para cada manantial usando el geotermómetro de sílice sin pérdida de vapor (expresión 7.6), cuyo rango de temperatura efectivo es 0 – 250°C, y se calcularon sus entalpías equivalentes usando las tablas de vapor. La intersección de la línea que nace en los nuevos valores de entalpía y perpendicular a la ordenada, con las líneas de ebullición da los contenidos de cloruros corregidos a condiciones de reservorio, que son los dibujados y utilizados para determinar los procesos que intervienen.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{1309}{5.19 - \log \text{SO}_2} - 273.15 \quad 0 - 250^{\circ}\text{C} \quad (7.6)$$

Las concentraciones de S_iO_2 están dadas en mg/kg (ppm)

Comparada con las otras aguas, las del manantial M1 son las menos afectadas por dilución. La composición de un posible fluido original se lo obtiene de la intersección entre la línea de mezcla y la línea de ebullición de

la muestra menos diluida. Se da entonces una mezcla progresiva de los fluidos profundos con las aguas subterráneas superficiales en dirección oeste – este. La entalpía de este fluido original es de 500 kJ/kg denotando una temperatura de 120°C para el reservorio.

En la Fig. 7.6 se observan dos grupos bien definidos, uno formado por los manantiales no termales (M6, M9 y M11), y el otro grupo formado por los manantiales con mayor temperatura. Esta distribución señala que estos fluidos son diferentes en términos de sus concentraciones de cloruros y por lo tanto deben tener diferente origen. Por los contenidos de cloruros es fácil deducir que entre los manantiales M1 y M4 existe una zona de flujo de salida de fluidos termales.

Se puede hacer otra evaluación de la temperatura del reservorio mediante los contenidos de Na, K y Mg representados en el diagrama ternario de la Fig. 7.7. Al ubicar los contenidos relativos de las muestras de Baños de San Vicente se observa que casi todas, especialmente las muestras M6, M9 y M11, se ubican en la zona de las aguas inmaduras; es decir, aguas netamente meteóricas y que no han sufrido mucha interacción con la roca reservorio. Los manantiales M1, M2, M4, M5, M8 y B1 forman una alineación que, al extrapolar esta tendencia hacia la línea del equilibrio total, da un rango de temperatura de equilibrio entre 100 y 120°C, lo cual concuerda con el valor obtenido anteriormente.

El manantial M3 muestra características especiales que lo ubican en la zona que indica un origen más profundo y mayor interacción agua - roca. En este punto el calcio es el catión de mayor concentración y no difiere mucho con el contenido de sodio, pero se mantienen bastante alejados de los contenidos de potasio y magnesio. Situación que no se da en los otros puntos donde los contenidos de sodio, magnesio y calcio (en orden de mayor a menor concentración) son menores que en M3. Esta nueva ubicación sugiere temperaturas de equilibrio entre 240 y 260°C, pero este no parece ser un

dato realista ya que este manantial es el único que presenta tal comportamiento. Se incluye en este diagrama los contenidos relativos de algunos manantiales termales de la zona geotérmica de Tufiño. En los cuales es evidente el origen meteórico de estas aguas y una temperatura de equilibrio probable entre 200 y 220°C

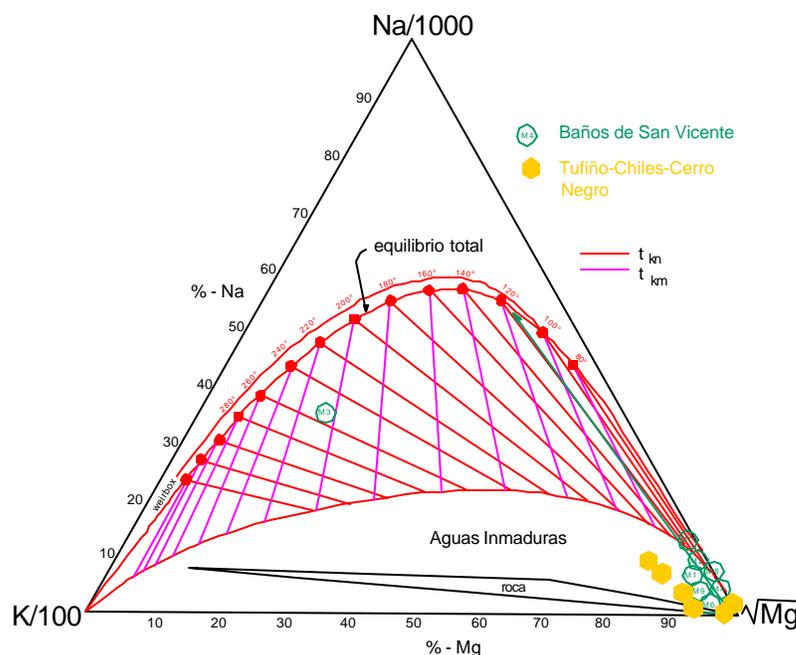


Fig. 7.7 Diagrama ternario en el cual están representados, en círculos abiertos, los contenidos relativos de Na, K y Mg de las muestras de agua tomadas en Baños de San Vicente. Hexágonos llenos indican los contenidos relativos de algunos manantiales termales de la zona geotérmica de Tufiño – Chiles - Cerro Negro, en la Provincia del Carchi.

7.4 Composición Isotópica de los Manantiales

Entre Junio y Julio del 2002 se recolectaron 10 muestras de agua en los sectores de Baños de San Vicente y Saya, en la Península de Santa Elena, para determinar sus concentraciones de isótopos estables (oxígeno – 18 y deuterio). En la tabla 7.4 se muestran estos valores.

Como ya fue mencionado en el capítulo 6, para este tipo de análisis se recolectaron muestras de fluidos tanto termales como no termales de la mayor cantidad de emanaciones naturales de agua presentes en el sector.

Por esta razón las muestras clasificadas como M-9 y M-6 corresponden a una albarrada ubicada a pocos metros al norte del Complejo, y a un pozo de captación de agua subterránea en la población de Saya 6 Km al este de Baños de San Vicente, respectivamente. Detalles sobre estos cuerpos de agua se dan en el capítulo 5.

Tabla 7.4 Reporte de las concentraciones de isótopos estables (D y ^{18}O) presentes en las aguas de Baños de san Vicente y Saya. Todas las medidas son con respecto al VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), y tienen errores de $\pm 1\text{‰}$ para δD y $\pm 0.1\text{‰}$ para $\delta^{18}\text{O}$

Muestra	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
M1	-12	1.0
M2	-11	1.2
M3	-5	2.4
M4	-9	1.6
M5	-9	1.5
M6	-29	-3.3
M7	-10	1.2
M8	-9	1.4
M9	-15	-0.1
M10	-11	1.2

Los valores encontrados en Baños de San Vicente están ubicados, como corresponde, a la derecha de la Línea de Aguas Meteóricas. Las concentraciones de deuterio en estas aguas son las mismas que se puede esperar para fluidos de tipo andesítico o de arco de isla, pero están empobrecidos en las concentraciones de O^{18} .

Decir que estos fluidos son de origen netamente meteórico no sería muy acertado, su ubicación con respecto a la línea de aguas meteóricas locales (Fig. 7.8) así lo demuestra. Más bien su composición se aproxima a sistemas de salmueras con un probable origen magmático de tipo arco de isla.

La muestra M-6, correspondiente al pozo de agua en Saya, es la que presenta los valores más pobres tanto en deuterio como oxígeno-18, ubicándose mucho más cerca de la línea de aguas meteóricas, lo cual es normal considerando que se trata de un pozo poco profundo (~20 m) de

aguas subterráneas. Los otros manantiales analizados forman una línea recta que va desde M-3, con los máximos valores de D y O^{18} , pasando por M-9 (reservorio de agua a ~200m al norte del Complejo), hasta llegar a M-6 con los valores más cercanos a las aguas meteóricas. Esto claramente indica dilución por mezcla de las aguas de origen profundo con aquellas aguas superficiales y frías. Si se sigue esta línea en sentido contrario, es decir de izquierda a derecha, se puede inferir un posible origen andesítico para estos fluidos.

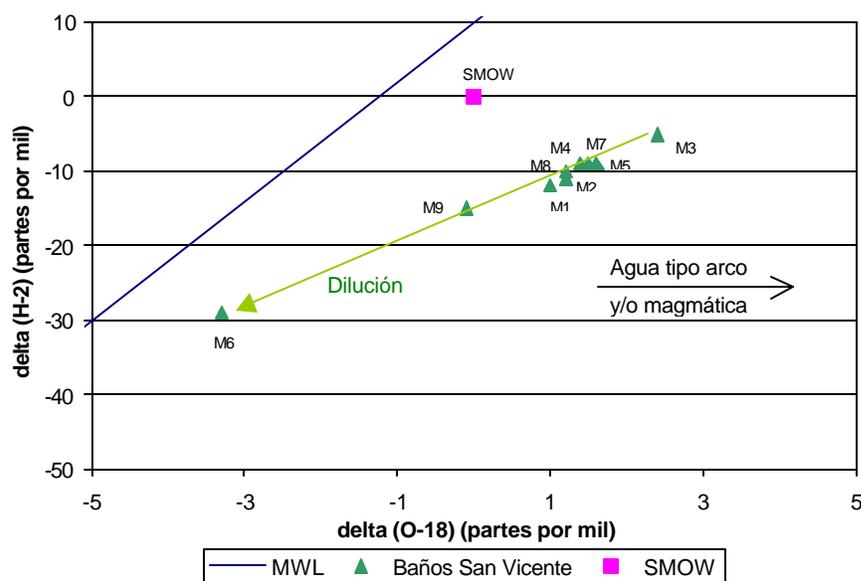


Fig. 7.8 Gráfico de δH^2 versus δO^{18} , en ‰ SMOW, de los manantiales termales en Baños de San Vicente. Se aprecia el proceso progresivo de dilución desde M3 (manantial de sedimentos) hasta M6 (pozo de agua subterránea en Saya).

Este proceso es inferido también de la Fig. 7.9 donde se relaciona el contenido de Cl con el contenido de O^{18} . En esta figura se aprecia que los manantiales netamente termales (M-1, M-2, M-3, M-4, M-5 y M-8) forman un grupo bastante definido y separado de las muestras M-6 y M-9 que representan fluidos superficiales. Este gráfico respalda el proceso de dilución ocurrido sobre las aguas termales.

Al comparar, sobre este mismo gráfico, las concentraciones de los dos aniones principales presentes en mayor cantidad se observa que el grupo

formado por las concentraciones de los sulfatos se aproxima al formado por las concentraciones de los cloruros. Un manantial termal que descarga fluido lo menos diluido o contaminado por líquidos superficiales mostrará concentraciones de cloruro y sulfato lo más alejados uno de otro, siendo un buen ejemplo el manantial M-3. Las otras descargas, aunque presentan cierta mezcla, pueden ser usados para inferir las propiedades del probable reservorio.

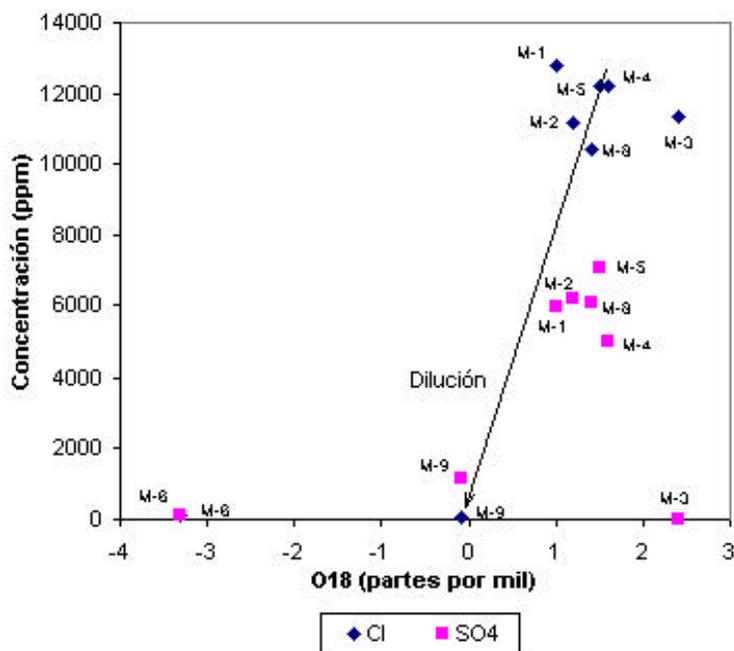


Fig. 7.9 Gráfico de las concentraciones de Cl y SO₄ (ppm) versus dO18 (‰) en el que se aprecia la línea de dilución de las aguas netamente termales con los líquidos superficiales.

7.5 Análisis de los Sedimentos

Se tomaron muestras de sedimentos de los manantiales M3 y M5 para análisis con difractómetro de rayos X. Ambas muestras dieron como resultado el mismo difractograma, el cual se muestra en la Fig. 7.10. Los picos presentes en esta figura muestran material arcilloso correspondiente a los minerales de illita, caolinita, albita y cuarzo, todos ellos silicatos.

El cuarzo pertenece a la clase de los óxidos de silicio. Su composición química esta dada por la expresión SiO_2 donde el oxígeno corresponde al 53.3% y el silicio al 46.7%. Es el más común de los minerales y su temperatura de formación varía entre 573 y 870° C (Dana, 1981) dependiendo si se trata del cuarzo α o β respectivamente. De acuerdo a la tabla 6.5 este mineral esta presente en todos los campos geotérmicos estudiados.

La albita es un silicato de aluminio y sodio, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ o $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, donde la sílice es el 68.7%, alúmina el 19.5% y la sosa el 11.8%. La albita es un constituyente de muchas rocas ígneas, especialmente las de tipo alcalino, como granito, sienita, diorita, etc.; también en las correspondientes lavas feldespáticas. Se encuentra más comúnmente en las rocas de tipo más ácido. Es también común en gneis y ocurre algunas veces en los esquistos cristalinos. Puede depositarse en vetas y cavidades de rocas de soluciones acuosas calientes.

El caolín tiene la composición química $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$, o $2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ donde la sílice representa el 46.5%, alúmina 39.5% y agua el 14%. El caolín ordinario es el resultado de la descomposición de minerales aluminosos, especialmente el feldespato de rocas graníticas o gneisoides y pórfidos. En algunas regiones donde se han descompuesto esas rocas en gran escala, la arcilla resultante permanece en inmensas capas de caolín, generalmente más o menos mezclado con cuarzo libre, y algunas veces con óxido de hierro de algún otro mineral presente. Puede ocurrir en cuerpos que se han formado en el sitio por descomposición de la roca original, o puede haber sido transportado y ocurrir como extensas capas sedimentarias (Dana,1981).

Según los resultados mostrados por el difractograma de la Fig. 7.10 puede decirse que el arreglo mineral presente en las capas subterráneas de la zona de Baños de San Vicente es cuarzo – albita – caolinita – illita. El método utilizado registra alguna fase mineral si esta está en un 5% como mínimo en

la muestra, por lo que se considera que hay mas de un 5% de estas arcillas en las muestras.

El cuarzo y la albita corresponden a los minerales primarios que han sido afectados por los fluidos calientes que brotan en el lugar. Como ya se mencionó en párrafos anteriores la alteración de la albita dio lugar a la presencia de la caolinita. La illita también es un mineral de alteración cuya formación se da a niveles de menor temperatura y, por lo tanto, más superficiales.

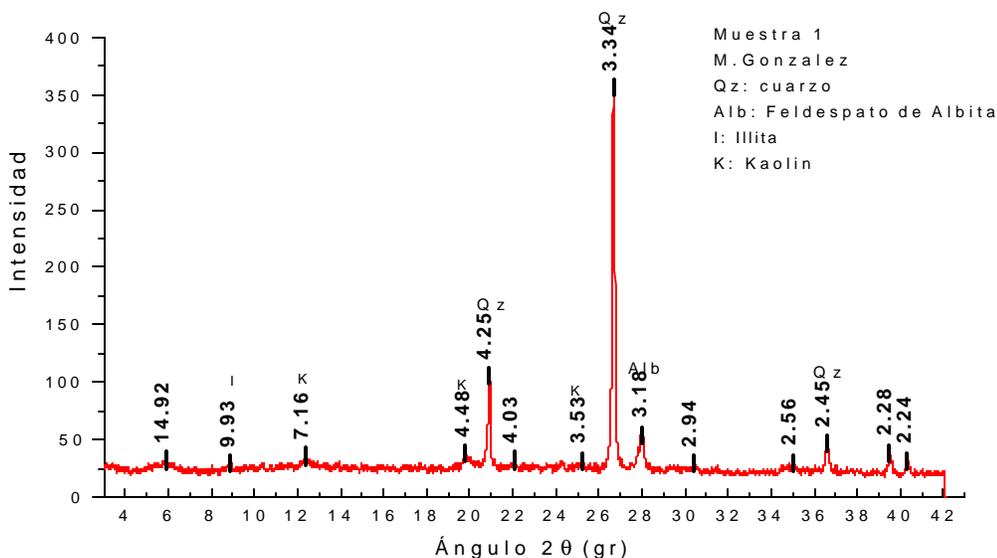


Fig. 7.10 Difractograma de rayos X mostrando las diferentes especies minerales presentes en los sedimentos del manantial de lodo (M3) en Baños de San Vicente.

No es posible cuantificar una temperatura de equilibrio o de formación específica de la illita en la zona de Baños de San Vicente, pero por analogía con reservorios geotérmicos de características similares y mucho más estudiados (como son aquellos de Nueva Zelanda), podría asumirse que la temperatura de equilibrio de la illita se da a valores entre 80 y 100°C.

Estos minerales (caolinita e illita) indican temperaturas relativamente bajas y / o valores de pH neutros o menores. Caolinita – illita es el patrón de alteración dominante en los niveles poco profundos de San Vicente. La ocurrencia de

la albita sugiere la presencia de algún cuerpo magmático de características andesíticas a profundidad, y en alguna zona pocos kilómetros al nordeste o noroeste de Baños de San Vicente.

7.6 Análisis Microbiológico de los Manantiales

La tabla siguiente muestra los resultados de los análisis bacteriológicos efectuados sobre cuatro manantiales (M1, M2, M3 y M5), un pozo de captación de aguas subterráneas (M6) y una albarrada (M9), todos ellos ubicados en, y alrededores, de Baños de San Vicente.

Tabla 7.5 Análisis microbiológicos de las aguas de Baños de San Vicente

Muestra	Aerobios Totales (UFC/ml)	Coliformes (NMP/ml)	Coliformes Fecales (NMP/ml)	E. Coli Aus./Pres.
M1	100	3	3	Ausencia
M2	10	3	3	Ausencia
M3	100	3	3	Ausencia
M5	100	3	3	Ausencia
M6	2×10^4	9	1	E. coli intermedio
M9	100	3	3	Ausencia

CAPITULO VIII

INTERPRETACION

8.1 Interpretación

Baños de San Vicente se encuentra ubicado sobre una zona de antearco muy fracturada y con predominio de materiales sedimentarios dispuestos en forma de "slump". El diagrama de rosa de la Fig. 4.3 señala que las direcciones dominantes para fallas y fracturas son: 0°, 80° y 140° azimuth. Se evidencia la presencia de dos anticlinales con una dirección dominante NO – SE en la parte este del área de estudio y un anticlinal con eje NE – SO que corre desde los Cerros Asagmones hasta Baños de San Vicente. Esto ubicaría a los manantiales termales sobre la cima de esta estructura.

La figura 8.1 muestra un modelo esquemático del sistema. Los límites geológicos, así como los buzamientos de las fallas, son inferidos de los valores de resistividad eléctrica. Se ha identificado un flujo de salida de fluidos del sistema por debajo del punto SEV-07, aflorando estas aguas en el área del Complejo Termal, por ser el punto de encuentro de dos fallas principales y la zona de menor cota. Las aguas cloruradas escapan a la superficie vía una de las fallas principales desde profundidades que no pudieron ser determinadas.

Lo que se muestra en el anexo A son las curvas de sondeos típicos medidos en los alrededores de los manantiales termales de Baños de San Vicente. Estos gráficos señalan que en esa zona existen niveles de muy baja resistividad que indican la presencia de capas alteradas hidrotermalmente y que estos fluidos se mueven hacia el este, como se observa en la Fig. 7.2 donde, hacia la parte oeste, el límite de resistividad es abrupto, tornándose más suave hacia el este.

La diferencia grande encontrada en los contenidos de aniones y cationes entre las aguas de los manantiales M6, M9, M11 y las otras fuentes, claramente indica que tienen diferentes orígenes.

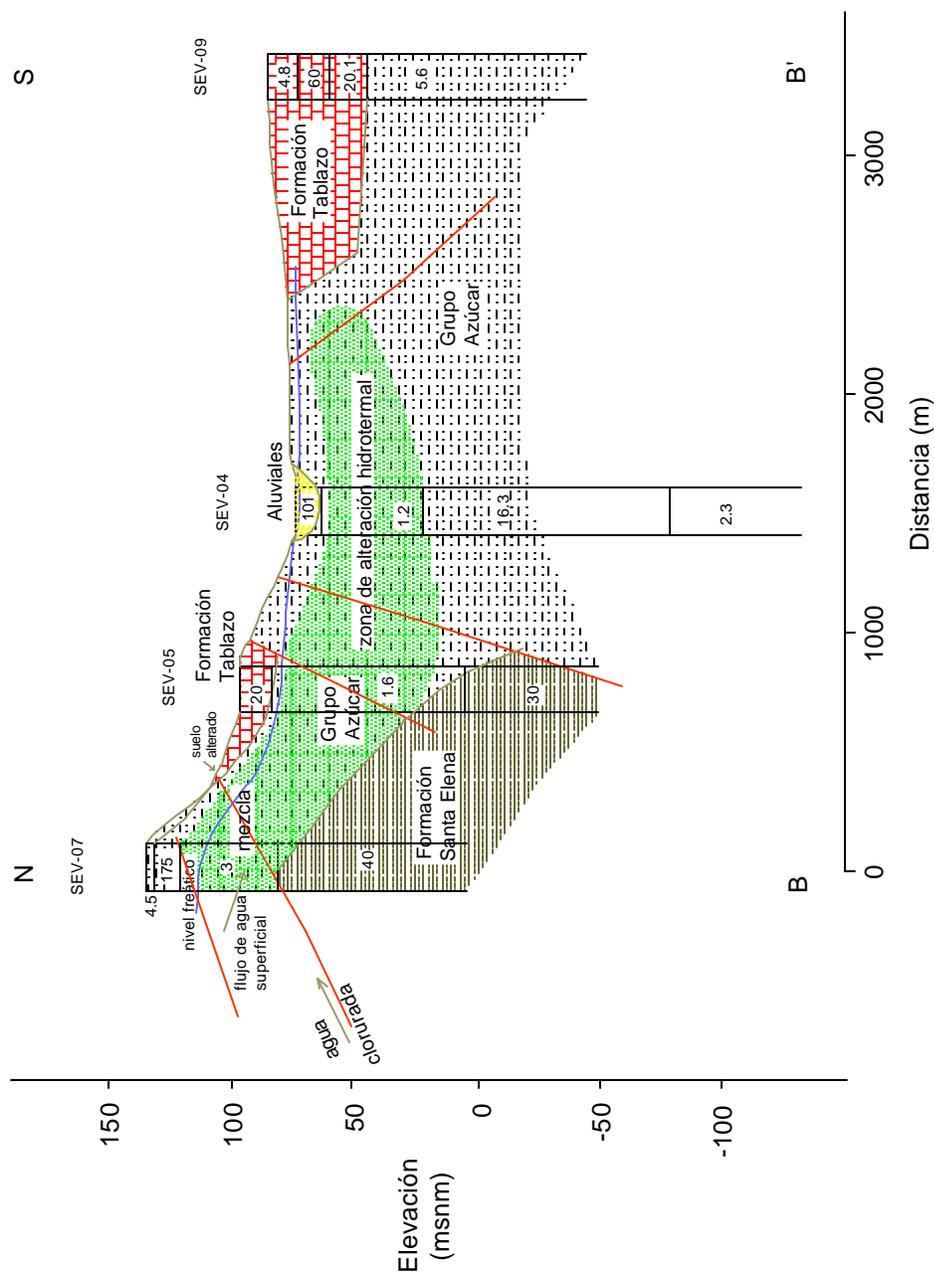


Fig. 8.1 Modelo esquemático del sistema hidrotermal en Baños de San Vicente. Este modelo está basado en los datos de resistividad eléctrica de los sondeos 07, 05, 04 y 09 que forman el perfil B-B' con dirección N-S. Los números dentro de cada columna representan los valores de resistividad de cada capa. Las líneas de color rojo representan fallas a través de las cuales fluyen los fluidos, tanto de origen profundo como superficiales

Las primeras corresponden a un acuífero superficial, con espesor promedio de 50m y profundidad variable entre 10 y 20m, cuya zona de recarga la forman los drenajes de los cerros en la parte norte y el río Asagmones.

Estas aguas muestran contenidos de sólidos disueltos y salinidad que las hacen no adecuadas para consumo humano, sin tratamiento previo; y recomendable para cierta clase de cultivos resistentes a la salinidad. La infiltración de estas aguas es principalmente a través de fracturas.

Las concentraciones en el resto de las aguas señalan un origen mucho más profundo. De acuerdo a las concentraciones en cloruros y sodio estos fluidos tendrían un origen connato. Es decir, aguas marinas contenidas en los poros de las formaciones más profundas, posiblemente Santa Elena o el mismo Grupo Azúcar, las cuales se formaron en ambientes de depositación marino profundo. Estas formaciones representan reservorios petrolíferos fisurados, razón por la que las aguas de los manantiales en Baños de San Vicente muestran trazas de petróleo y gas.

Se ha establecido, por medio del geotermómetro de sílice, que la temperatura de equilibrio en el reservorio es de 120°C a una profundidad probable de 2 km. El gradiente geotérmico en el Bloque Santa Elena es de 2.4°C / 100m (Compañía General de Combustibles, 1999), por lo que no es factible que la anomalía de calor sea debida a gradiente geotérmico.

El contenido en los isótopos estables δD y $\delta^{18}O$ indica que estas aguas pueden tener un origen magmático. Para sistemas geotérmicos asociados con magmatismo andesítico, se encontró que la composición isotópica de las aguas de origen magmático es bastante uniforme, con valores de δD de $-20 \pm 10\text{‰}$ y $\delta^{18}O$ de $+10 \pm 1\text{‰}$ (Giggenbach, 1992b). Para aguas asociadas con magmas riolíticos la composición es mas incierta. Valores de δD de $-40 \pm 10\text{‰}$ y $\delta^{18}O \pm 1.5\text{‰}$ fueron sugeridas por Taylor (1986) para magmas félsicos (Fig. 8.2).

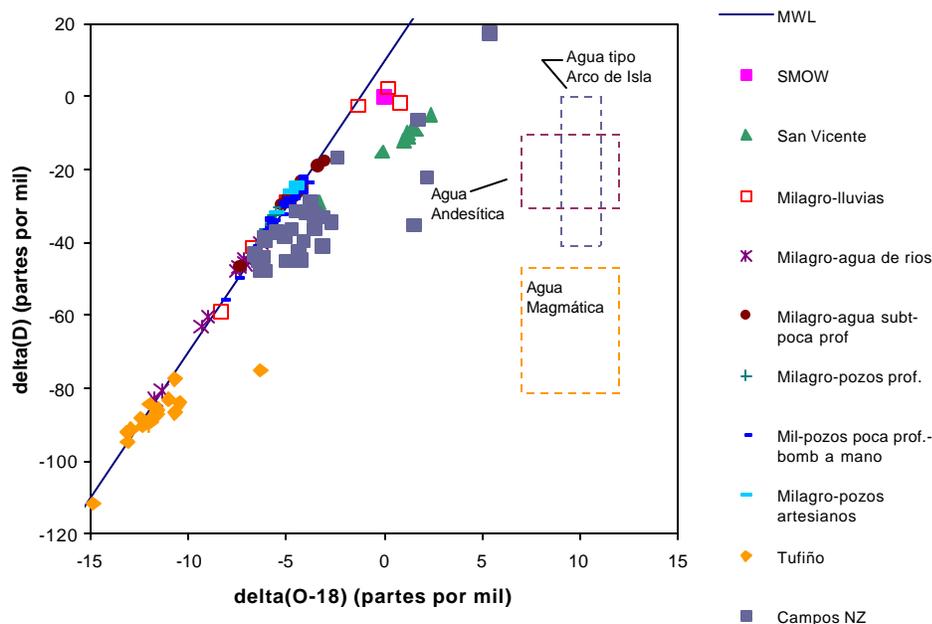


Fig. 8.2 Gráfico de δD versus $\delta^{18}O$, en ‰ SMOW, de varios tipos de aguas. Se relacionan las aguas de ríos, lluvias y pozos de aguas subterráneas superficiales de la zona de Milagro con los fluidos de la zona geotérmica de Tufiño (Provincia del Carchi), varios campos geotérmicos de Nueva Zelanda y la zona geotérmica de Baños de San Vicente. Es interesante notar la cercanía de las composiciones de Baños de San Vicente con las obtenidas para los fluidos de origen andesítico de arco de isla.

Referencias:

Campos NZ: Giggenbach, 1994. Milagro: Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, 1977. Tufiño: Aquater, 1987

A la vista de estos conceptos entonces se podría decir que las aguas de Baños de San Vicente pueden tener la influencia de algún cuerpo intrusivo de características andesíticas de arco de isla que ocasionó el levantamiento de los materiales en el anticlinal de Baños. Este cuerpo puede estar alojado en la Formación Piñón, a más de 2000m de profundidad, uno de cuyos ramales debe haber ascendido hasta niveles que le permitieron entrar en contacto con los acuíferos de salmueras no convectivas, a través de fallas.

Esta idea se sustenta también en la presencia del arreglo mineral cuarzo – albita – caolinita – illita. La albita es un mineral primario de origen netamente magmático, lo cual involucra altas temperaturas. Cuando este mineral es alterado hidrotermalmente se produce la caolinita. Los manantiales del Complejo Termal en Baños de San Vicente descargan aguas cloruro –

sulfatadas formadas por la mezcla de las aguas meteóricas superficiales y las aguas subterráneas de acuíferos profundos, junto con interacción agua – roca a niveles mucho más profundos.

Incremento de la temperatura	Tipo de Alteración	Resistividad
↓	Illita	1-4 Ωm
	Caolinita	10-30 Ωm

~100°C

Fig. 8.3 Valores de resistividad para rocas sedimentarias afectadas por alteración hidrotermal en Baños de San Vicente.

CAPITULO IX

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

9.1 IDENTIFICACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE IMPACTOS AMBIENTALES

Toda actividad humana relacionada con el medio físico que le rodea debe ser evaluada, para determinar cómo esta actividad podría afectar el entorno. Así, la evaluación del impacto ambiental es una medida necesaria, y actualmente obligatoria, para toda clase de trabajos, en especial aquellos realizados por el hombre, que alteren de una u otra manera el ambiente o lugar en el cual se vayan a desarrollar. En este trabajo se considerarán solamente las actividades realizadas por el hombre.

Se define Impacto Ambiental como la alteración que se produce en el medio natural donde el hombre desarrolla su vida, ocasionada por un proyecto o actividad que se lleva a cabo, la alteración no aparece si el citado proyecto o actividad no se ejecuta (Sanz, 1991).

El objetivo fundamental de un Estudio de Impacto Ambiental es de diagnosticar la evolución del medio; es decir, mide las condiciones del entorno antes de la ejecución, identifica los factores propios de la actividad que pueden alterar el entorno durante la vida de la misma y predice las condiciones que puede tener el medio al final del tiempo de vida útil de esa actividad. Se constituye, por lo tanto, en una variable inicial a tener en cuenta desde la primera fase de toma de decisiones de una actuación con posibilidades de ejecución.

Debe considerarse que una acción o proyecto no produce los mismos efectos, dependiendo siempre del medio receptor. Así, la acción contaminante introducida en una zona determinada, podría ser asimilada por el medio natural sin dar lugar a procesos degradantes, con lo que el Impacto Ambiental puede no existir. Sin embargo, introducida en un medio de por sí ya alterado, podría superar la capacidad de autoasimilación y desencadenar procesos de degradación irreversibles.

9.1.1 Métodos de Análisis de los Impactos

Los efectos sobre el ambiente emanan de una gran variedad de relaciones causa – efecto, donde los cambios o alteraciones de una parte de un ambiente biofísico, debido a actividades humanas, desemboca en la alteración de esa área; así como de aquellas relacionadas con ella. El rango de estos impactos es tan grande como variado. Algunos son específicos de un área, otros se extienden sobre grandes zonas. Se requieren investigaciones interdisciplinarias para valorar estos rangos. Sin embargo, los procesos de valoración del ambiente envuelven la búsqueda de una evaluación completa y racional de los efectos potenciales de una actividad propuesta. Por lo tanto, se requieren medios sistemáticos y organizados de análisis del rango, magnitud y significancia de estos efectos sobre el entorno.

9.1.2 Tipos de Métodos

Hay cuatro categorías de métodos que han sido desarrollados para su uso en la evaluación y análisis de los impactos ambientales:

Listas de Control

Superposición de Capas (Overlays)

Matrices

Diagramas de Redes

Estos métodos varían en detalle, requerimiento de datos, sofisticación de análisis y costo. Así, la escala de un proyecto propuesto debe ser tomada en consideración para decidirse sobre el método más apropiado. Proyectos de gran escala no pueden ser analizados lo suficiente con métodos que simplemente identifican los efectos, ni pueden los efectos acumulados ser fácilmente incorporados dentro de algunos de los métodos que enfatiza

solamente efectos primarios, tales como las listas de control y la superposición de capas.

Características Importantes de los Métodos

1. Identificación del Impacto. El método elegido debe ser capaz de señalar el rango completo de efectos anticipadamente e identificar parámetros ambientales específicos de importancia.
2. Medida del Impacto. Se necesitan ciertos criterios o asunciones para medir la magnitud de los efectos. En zonas donde no existen indicadores fácilmente mensurables, otras formas de medida pueden ser implementadas.
3. Interpretación del Impacto. Debido a que algunos impactos pueden ser pequeños en magnitud, pero de mucha influencia, el alcance de los efectos debe ser valorado. Esto requiere el desarrollo de criterios para la determinación del alcance que estos efectos pueden tener. En adición, las asunciones sobre en cuales de los criterios están basados debe ser explícitamente establecida.
4. Comunicación de los Impactos. El resultado final de los métodos es una valoración total de los efectos de una actividad. Como resultado, el método debe proveer un medio de resaltar los efectos clave y / o hacerlos conocer tanto al público como a los directores del proyecto.

Tabla 9.1 Métodos de evaluación ambiental y sus diferencias

	Listas de Control	Superposición de capas	Matrices	Diagramas de Redes
Identificación	x	x	x	x
Medición		x	x	x
Interpretación		?	x	x
Comunicación		x	x	x
Efectos Secundarios y Terciarios			?	x
Efectos Acumulados			?	x
Necesidad de Recursos no excesiva	x	x	x	?

x = Reúne criterio

? = Puede reunir el criterio o puede ser adaptado para que lo reúna

Es de notar que la mayoría de los métodos no exhiben todas estas características, ni en la misma manera ni con la misma efectividad. La tabla 9.1 resume las diferencias entre estos métodos.

9.1.2.1 Listas de Control

La lista de control generalmente consiste de una lista de parámetros ambientales que pueden ser afectados por una actividad. La lista puede, o no, estar basada en estados separados de un proyecto, tales como planeamiento, construcción y operación.

La lista de control permite resaltar anticipadamente los efectos de una actividad. Los efectos pueden ser fácilmente notados o señalados sobre una lista de control, o alguna forma de alcance puede ser incorporado por el uso de símbolos en forma jerárquica para indicar la magnitud del efecto. Esta última práctica es peligrosa, ya que los criterios de medida no son precisos o explícitos. Estas listas son también útiles debido a que pueden ser diseñadas para proyectos específicos, o desarrollar listas genéricas para una región.

La lista de control representa el método más simple de análisis de impactos. Sin embargo, no tienen muchas de las características que son importantes en la valoración de los efectos, sirven solo para identificar impactos. En suma, a pesar de su simplicidad, estas listas no son muy útiles en comunicar los impactos a los directores de proyectos y al público en general, debido a la necesidad de que necesitan estar respaldadas por documentación amplia y detallada.

Quizás la mayor desventaja de este método sea su simplicidad. No representa interacción entre sus elementos, excepto por el hecho de adjuntar un efecto a la actividad, pero usualmente no a una actividad

específica. Algunas listas de control han sido diseñadas para representar impactos primarios o de primer orden, ignorando los impactos secundarios, terciarios y acumulados, comprometiendo la utilidad de este método.

Es quizás un buen medio de resaltar aspectos ambientales importantes de una actividad. Así, las listas de control son más útiles cuando son usadas junto con otros métodos, donde podrían ser usadas para identificar efectos relevantes y otro método para analizarlos.

Tabla 9.2 Ejemplo de una lista de control (Canter, 1977)
Impactos Ambientales Potenciales de un Proyecto de transporte

Categoría	Estado del Proyecto		
	Planeamiento y Diseño	Construcción	Operación
I. Impactos por ruido A. Salud pública B. Uso del terreno		x	x
II. Impactos a la calidad del aire A. Salud pública B. Uso del terreno		x	x
III. Impactos a la calidad del agua A. Agua subterránea 1. Alteración del flujo y nivel freático 2. Interacción con el drenaje		x	x

* No diferencia entre beneficio o perjuicio

9.1.2.2 Superposición de Capas (Overlays)

Este método usa una serie de mapas que representan factores ambientales, figuras en el terreno y características socio-económicas para un área de estudio dada. Se crea un mapa por separado para cada variable que se considera, con categorías sobre cada mapa basadas en valores relacionados a medidas de adecuabilidad, capacidad o aceptabilidad. Cuando los mapas individuales son superpuestos, el mapa compuesto claramente señala las áreas que podrían ser afectadas por la mayoría de los parámetros. Este método fue desarrollado por McHarg (1968) y ha sido aplicado con mucho éxito en el planeamiento y control del terreno.

Actualmente su uso en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha alcanzado un auge notable.

El método de superposición de capas es muy útil en la identificación de cierto tipo de impactos y en señalar el área sobre el cual estos actuarán. Permite hacer comparación de alternativas y puede identificar los efectos que pueden tener las medidas de mitigación. Un factor que realza este método yace en su efectividad para mostrar la dimensión espacial de los efectos; así, la superposición de capas es muy útil identificando impactos y comunicándolos, al menos para el área cubierta por los mapas.

Como en las listas de control, la relativa simplicidad de este método posee algunas limitaciones. Mientras que va más allá de las listas de control en representar los efectos primarios, esta superposición de capas no puede extenderse a los efectos secundarios, y ciertamente tampoco a los efectos acumulados. Debido a que están basados en mapas, el análisis que se puede hacer sobre ellos está limitado a la extensión espacial de los mismos. Por lo tanto, es raro que los análisis se extiendan más allá de los límites del proyecto en los mapas. La capacidad cartográfica para hacer este tipo de trabajos existe, pero las grandes dimensiones del área cubierta resta detalle a los mapas, existiendo un intercambio entre espacio cubierto y detalle de análisis.

Se requieren una gran cantidad de datos para producir mapas individuales. Mientras que muchos de estos datos son fácilmente disponibles (mapas topográficos, de suelos, geológicos, etc.) otros, en cambio, son muy difíciles de obtener, siendo a veces necesario producirlos uno mismo. Así, los requerimientos de datos parecen ser muy elevados con relación a la sofisticación del producto final. El método de superposición de capas no provee un análisis detallado de los efectos en un área a pesar de la gran cantidad de datos requeridos. Por otro lado, es muy útil como un medio para

identificar y limitar importantes características ambientales asociadas con un área.

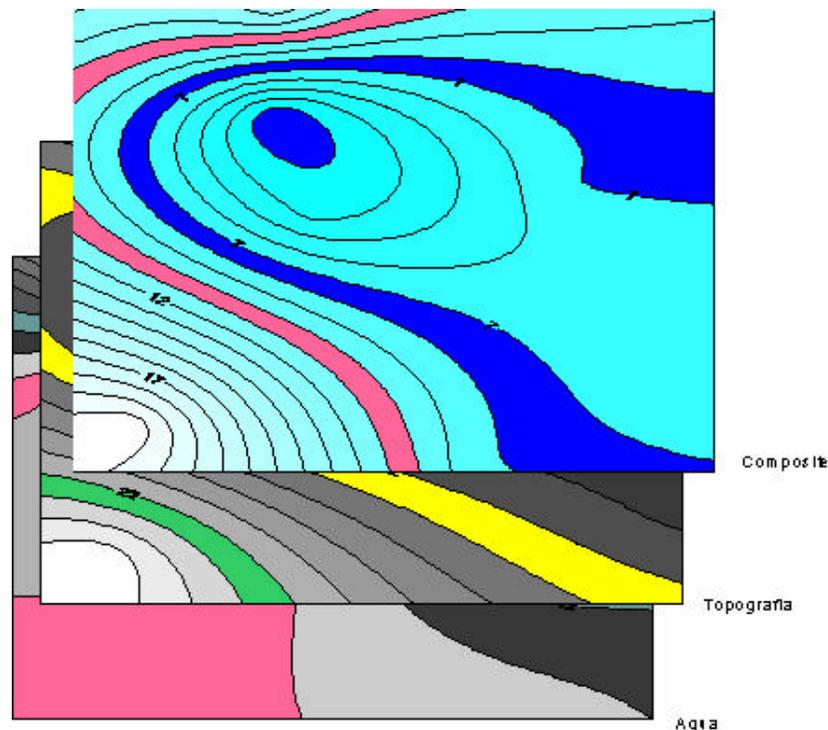


Fig. 9.1 Ejemplo del método de superposición de capas

9.1.2.3 Matrices

Las matrices relacionan listas de control de factores ambientales con una lista de los componentes del proyecto (un ejemplo se aprecia en la tabla 9.3). Se han desarrollado matrices con dimensiones múltiples, pero típicamente son bidimensionales e identifican las relaciones causa – efecto entre acciones individuales dentro de un proyecto y factores del ambiente. Permitiendo el análisis de cada aspecto de un proyecto y como este afecta el factor ambiental. Las matrices son un medio para medir la magnitud y alcance de los efectos.

Las matrices van más allá de solamente identificar el impacto, también miden su alcance y su interpretación. Los indicadores de magnitud y alcance

que se utilizan en una matriz son considerados por separado, para cada interacción individual. Así, es posible concentrarse en la magnitud o en el alcance, o en ambos si el análisis lo requiere. Una característica adicional de las matrices es la manera en como ellas comunican los impactos hacia los responsables del proyecto y el público.

Se debe tener cuidado al asignar valores a la magnitud y alcance en las interacciones. Estos datos usualmente son dejados al juicio de la(s) persona(s) que completa la matriz. Si no hay un criterio muy específico y documentado en el cual se basen estos valores, diferentes personas pueden realizar la misma matriz, pero con resultados muy distintos, mostrando la subjetividad inherente en este método. Por lo tanto, es necesario describir y definir, antes de realizar el análisis, los criterios en los cuales se van a basar los valores de magnitud y alcance.

A pesar de que las matrices exhiben casi todas las características deseadas en los métodos para análisis de impactos ambientales, ellas no reúnen todos los aspectos en igual forma. Por ejemplo, solamente los efectos primarios pueden ser identificados usando las matrices. Los efectos secundarios, terciarios y acumulados no pueden ser mostrados ni analizados. De hecho, la matriz puede sugerir una causa directa de un efecto que, en realidad, no es tan directa ni tan simple. Finalmente, para diferenciar entre efectos de corto y largo plazo, una matriz puede ser diseñada con actividades que terminen en diferentes periodos de tiempo. En suma, las matrices proveen un medio útil para identificar y medir los efectos, aunque son limitadas en la complejidad de los efectos que ellas puedan señalar.

9.1.2.4 Diagramas de Redes

Las técnicas de diagramación de redes van más allá que todos los métodos anteriores. Estos diagramas permiten identificar y encadenar los efectos que se espera resulten de una actividad dada. Los diagramas de redes se basan

en el hecho de que una serie de impactos pueden ser encadenados a una acción, y que estos impactos pueden, a su vez, encadenar impactos adicionales y así sucesivamente, incorporando efectos primarios, secundarios y terciarios. Construidos apropiadamente pueden incluso señalar efectos acumulados.

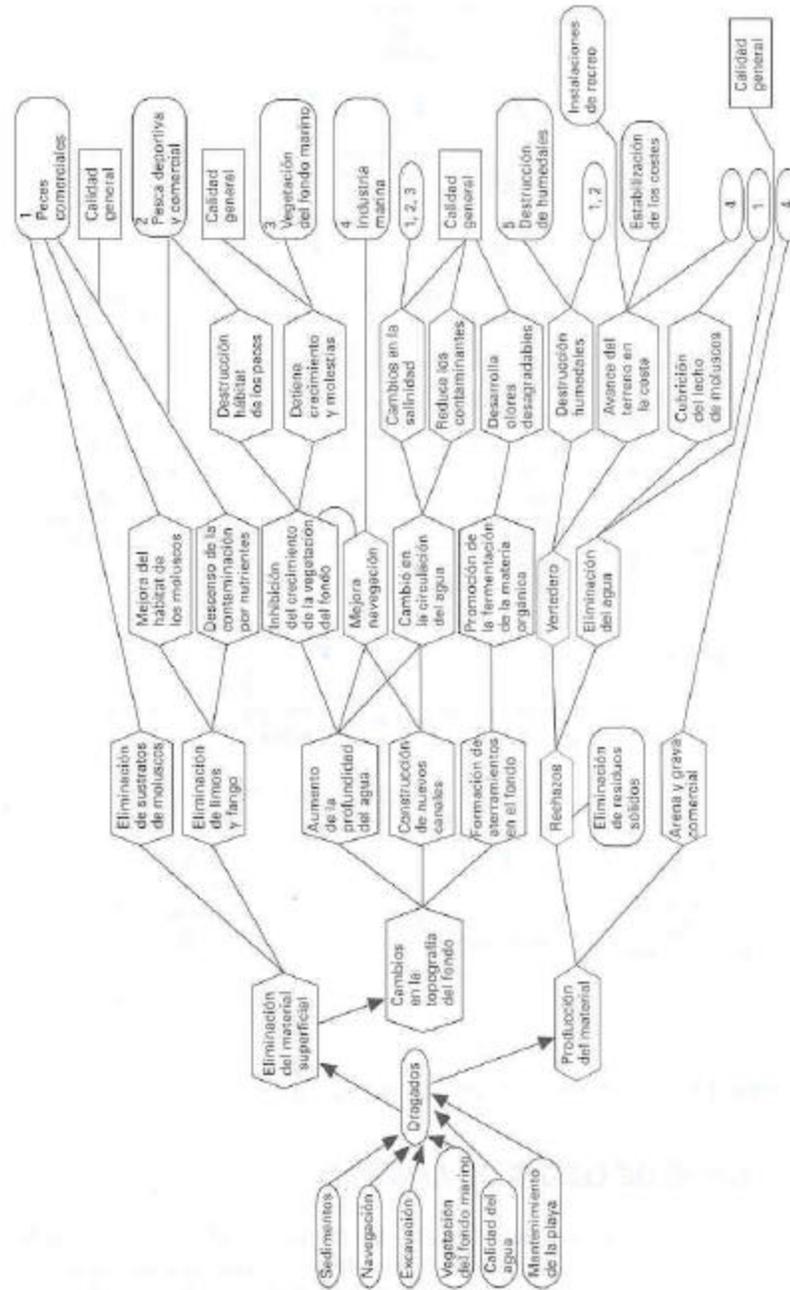


Fig. 9.2 Ejemplo de un diagrama de redes para un proyecto de dragado (Sorensen, 1971. Como es mostrado por Canter, 1977)

Este método es muy útil ya que es seguro e indicativo de la verdadera situación del entorno. En el ejemplo están representadas las áreas afectadas, no se señalan la magnitud o el alcance de los efectos. Estos pueden, de hecho, ser incorporados dentro de la red y los cambios absolutos y relativos se pueden trazar a través del sistema.

Los diagramas de redes llevan a cabo mucho más que otros métodos, pero a un precio. Son mucho más complejos que los otros métodos y por ello necesitan de mucha más información. Para trazar el efecto verdadero a través de un diagrama de redes e incorporar los efectos acumulados en el proceso se requiere de una gran cantidad de datos y la consideración de numerosos procesos “si / entonces”. Los datos deben también ser precisos y razonablemente detallados. Los costos asociados a tal esfuerzo son altos y pueden ser justificados en un proyecto grande. Incluso, si los verdaderos efectos medidos pueden ser trazados, el alcance de estos impactos no puede ser fácilmente incorporado dentro del análisis.

Para ser capaces de trazar los efectos a través de un sistema, es necesario desarrollar un diagrama de redes para cada tipo de actividad y quizás para diferentes marcos ambientales. Hay dificultades asociadas con la seguridad de que todas las interacciones son incluidas, pero esto puede ser superado con una revisión externa de la red. Las complejidades observadas en el diagrama de redes son representativas de la complejidad de la situación que está siendo representada y esa es la principal ventaja de este método. Por otro lado, estas mismas complejidades pueden limitar la utilidad del diagrama para su uso solamente a grandes proyectos, donde se requiere tal detalle y complejidad.

9.1.3 Aspectos Climáticos

Durante los últimos cincuenta años el clima en la Península de Santa Elena se ha caracterizado por ser de tipo semidesértico. Debido a la excesiva

deforestación de la zona, ocurrida durante el periodo de intensa explotación petrolera por parte de la compañía inglesa Anglo Ecuadorian Oil Filed Co. Como consecuencia lo que antes era una área cubierta por amplias zonas de bosque tropical seco, hoy en día es un área con una razón de desertización alta, reduciendo en forma drástica las áreas aún vírgenes. Pero ese fue solo uno de los parámetros que alteraron el medio físico en la Península de Santa Elena.

Entre los elementos climáticos que se consideran están: temperatura, precipitación, humedad, vientos, corrientes marinas y suelos.

Temperatura: La situación geográfica de la Península de Santa Elena determina que el clima sea tropical, con un promedio anual de temperaturas que oscilan entre 18 y 24°C durante los meses de junio a diciembre, observándose un aumento de la temperatura hasta 30°C de enero a mayo, que coincide con la época lluviosa.

Precipitación: Es el factor determinante en la distribución de la vegetación y de otros organismos bióticos, se mide por mm de agua caída. Existen en la Península de Santa Elena dos períodos bien diferenciados: lluvioso y seco (invierno y verano respectivamente), el primero de enero a mayo y el segundo entre junio y diciembre. De acuerdo a los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas de Ancón, Playas y Salinas es en la zona de Playas donde se presenta mayor precipitación (270 mm) y en Salinas la menor (108 mm), siendo generalmente marzo el mes de mayor actividad lluviosa. No se tomaron en cuenta los datos de precipitaciones anormales observadas durante los fenómenos del Niño.

Humedad:

Corrientes Marinas: La corriente de Humboldt, que corre paralela a la costa occidental de Sudamérica, proveniente desde el Antártico, trae como consecuencias:

1. La presencia de aguas de baja temperatura.
2. Estas aguas frías llevan consigo grandes masas de aire saturadas de humedad que ocasionan cielo cubierto, garúas y baja temperatura entre los meses de mayo a noviembre. También participan de este fenómeno los vientos Alisios del Sur, caracterizando el tiempo como frío y seco.

El fenómeno del Niño aparece cuando disminuyen los Alisios, pierden su fuerza las otras corrientes y aparecen, provenientes desde el centro del Océano Pacífico, las aguas cálidas del Niño, produciendo alteraciones climáticas que se manifiestan por desaparición de la nubosidad e incremento de lluvias y temperatura. Aproximadamente con ciclo de siete años se producen estas alteraciones climáticas que debilitan sobre manera los vientos Alisios del Sur y generan las lluvias torrenciales, crecientes de los ríos, inundaciones, etc.

9.1.4 Flora en Baños de San Vicente

De acuerdo al estudio “Cubierta Vegetal de la Península de Santa Elena”, publicado por la Escuela de Biología de la Universidad Estatal de Guayaquil, y encabezado por la Dra. Flor María Valverde (1979), Baños de San Vicente tiene una temperatura media de 24°C y 100 – 150 mm de precipitación anual en condiciones normales (sin fenómeno del Niño).

Se observan colinas pequeñas de 20 – 50 m de altura.

Clasificación ecológica: Maleza desértica tropical

Clasificación del suelo: Inceptisol Vertic Cambortid

En los alrededores del “volcancito” de lodo se podía encontrar *Cyperus elegans*, actualmente los alrededores de esta emanación termal se encuentran urbanizados, a gran distancia se aprecian arbustos de *Vallesia glabra*, *Cordia lutea*, *Ipomoea* aff. *tiliaceae*. En el camino que conduce a la población de El Morillo se observa *Armatocereus cartwrightianus*, *Cordia lutea* y *Vallesia glabra*. A continuación se explican ciertos detalles de estas especies vegetales.

Cyperus esculentus L.

Distribución: Entre Ancón y Santa Elena, entre La Libertad y Santa Elena, Chanduy, Ballenita y Baños de San Vicente.

Hierba con tubérculos en las raíces. Escapo triangular de 10 – 40 cm, inflorescencia en forma de antela simple o compuesta, laxa con 5 – 10 radios. Espiguillas con 8 – 16 flores glumas con ápice truncado, a veces mucronada.

Vallesia glabra

Sin: *Rauwolfia glabra* Cav.

Vallesia cymbifolia Ortega

Vallesia dichotoma R & P

Vallesia pubescens Anderson

Distribución: Puntilla, Salinas, Ayangue, Playas, Data, San Pablo, Progreso y Baños de San Vicente.

Nombre vulgar: Perilla, peralillo

Arbusto que llega hasta 2 m de altura, hojas glabras, alternas, lanceoladas.

Cimas de flores blanco verdosas. Drupa blanca oblonga.

Cordia lutea LAM.

Sin: *Cordia rotundifolia* R & P

Cordia marchionica Brake

Distribución: Puntilla, Chanduy, Santa Elena, Playas, Ayangue, Anconcito y Baños de San Vicente

Nombre vulgar: Muyuyo

Arbusto que en algunos lugares llega a 3 m de altura. Hojas ovalo – elípticas. Flores amarillas con cáliz obiónico de 1 cm y dientes subulados. Corola de 3 cm, garganta dilatada en 5 lóbulos, cinco estambres corolinos con anteras basifijas, estilo bifurcado y estigma trifurcado. Fruto ovoideo blanco.

Ipomoea tiliaceae (WILLD) Choisy

Sin: *Convolvulus tiliaceus* Willd

Distribución: En carretera Guayaquil – Salinas km 90 – 100, Baños de San Vicente

Trepadora glabra, hojas cordadas, acuminadas, coriáceas, trilobadas. Bracteadas sobre el cáliz muy pubescente. Corola purpúrea o rosada de 5 – 6 cm de largo. Flores en cimas. Cápsula pubescente.

9.1.5 Fauna en Baños de San Vicente

La fauna autóctona de este lugar está compuesta principalmente por lagartijas de color gris y franjas horizontales negras, con longitud entre 15 – 20 cm y ampliamente dispersas por casi toda la Península. Iguanas verdes terrestres, Buitres de cabeza negra, Halcones, serpientes del tipo boa y X, venados, una gran cantidad de aves menores como Petirojos, colibríes y una impresionante variedad de insectos tales como escarabajos, hormigas, mariposas, insectos palo, abejas, avispas, arañas, etc. Esta gran variedad de especies bien merece la pena un estudio mucho más detallado.

Es muy común, en la actualidad, observar también la presencia de especies introducidas por el hombre, tal es el caso de vacas, chivos, cerdos, gallinas, perros, ratas, caballos, etc, todos ellos animales domésticos que se han

adaptado muy bien al medio, pero que se han convertido en parásitos y/o depredadores de las especies autóctonas.

9.1.6 Identificación y Evaluación Preliminar de Impactos Ambientales en la Zona de Baños de San Vicente

La Población de Baños de San Vicente se encuentra ubicado a aproximadamente 8 km de distancia de la carretera Guayaquil – Salinas, en el desvío hacia el norte sobre el kilómetro 100 de la referida vía, pasando la Planta Potabilizadora de agua en el desvío al Poblado de Atahualpa. Esta población yace sobre las areniscas del Grupo Ancón, que producen un suelo arcilloso de color amarillo. Topográficamente se ubica sobre la cota 80 y su relieve no es muy pronunciado, con elevaciones suaves que llegan a alturas que sobrepasan ligeramente los 50 metros.

Para la determinación de los impactos, ocasionados por las actividades humanas, sobre el entorno físico natural de Baños de San Vicente se consideró una matriz causa – efecto. En esta matriz se relacionan diferentes acciones que pueden modificar el ambiente con los elementos ambientales más generales y sensibles a estas acciones.

En esta matriz no ha sido necesario describir y definir previamente los criterios o asunciones en los cuales se suele basar este método para asignar valores de magnitud e importancia a cada casilla. Debido a que no se asignan dichos valores, simplemente se identifican las acciones que causan un impacto negativo sobre elementos ambientales específicos.

9.1.7 Matriz Causa – Efecto aplicada a Baños de San Vicente

La tabla 9.3 muestra la matriz causa – efecto utilizada para identificar y valorar, en forma preliminar, las acciones que causan impacto sobre el medio, y los elementos ambientales característicos de esa región

susceptibles de ser alterados. Como ya se mencionó antes, esta matriz simplemente identifica las acciones que alteran el entorno y los elementos ambientales específicos sobre los cuales estas acciones actúan. No asigna valores de magnitud e importancia para las casillas marcadas, solamente indica que la acción ejerce un efecto negativo sobre ese elemento ambiental.

Tabla 9.3 Matriz causa– efecto usada en Baños de San Vicente para la evaluación preliminar de impactos al ambiente

Elementos Ambientales	Acciones que causan impacto															
	Modificación del régimen				Transformación del suelo y construcción				Producción		Atención de los terrenos		Renovación de recursos		Acumulación y tratamiento de residuos	
	Producción de biomasa	Modificación del hábitat	Alteración del ciclo hidrológico	Alteración del régimen hídrico	Alteración del nivel freático	Alteración del nivel del mar	Alteración del nivel del agua	Alteración del nivel del suelo	Alteración del nivel del agua	Alteración del nivel del suelo	Alteración del nivel del agua	Alteración del nivel del suelo	Alteración del nivel del agua	Alteración del nivel del suelo	Alteración del nivel del agua	Alteración del nivel del suelo
Elementos Ambientales Físicos y Químicos	Tierra															
	Núcleos de colonización															
	Suelos															
	Nivel freático y terreno															
Elementos Ambientales Biológicos	Agua															
	Substrato															
	Substrato															
	Temperatura															
Elementos Ambientales Socioeconómicos	Plantas															
	Plantas															
	Plantas															
	Plantas															
Elementos Ambientales Culturales	Plantas															
	Plantas															
	Plantas															
	Plantas															

51

Las cifras en las dos últimas columnas a la derecha de la matriz señalan: la primera columna indica la cantidad de acciones que causan impacto sobre el elemento ambiental de esa fila. La segunda columna indica el porcentaje total de acciones que causan impacto sobre ese elemento ambiental. Así, tendremos que para el elemento ambiental “características físicas y químicas del agua superficial” hay 13 acciones que causan algún tipo de impacto o alteración negativa de sus características, eso significa que el 57% del total de las acciones consideradas en este trabajo actúan negativamente sobre ese elemento del ambiente.

Las cifras en las dos últimas filas en la margen inferior de la matriz señalan: la primera fila indica la cantidad de elementos ambientales que son afectados por la acción de una columna específica. La segunda fila indica el porcentaje total de elementos ambientales que son afectados por esa acción en particular.

Por lo tanto, tendremos que para la acción “transformación del suelo debida a la urbanización” hay 23 elementos ambientales afectados negativamente por esta actividad, eso significa que el 56% del total de los elementos ambientales considerados en este trabajo están siendo afectados, en forma negativa, por esta acción específica.

Con los datos de esta matriz se elaboraron los diagramas de las figuras 9.3 y 9.4. En la primera figura se relacionan el porcentaje de acciones que causan impacto vs los elementos ambientales, este gráfico señala los elementos ambientales sobre los cuales actúan la mayor cantidad de acciones que causan impacto. Tomando como límite inferior la ordenada 60%, nos encontramos que los elementos ambientales que son afectados por más del 60% de las acciones que causan algún tipo de impacto, en orden de importancia, son: bosques, vistas escénicas y panorámicas, composición del

paisaje, insectos vectores y enfermedades y salinización de recursos hídricos.

De la matriz se observa que el bosque tropical seco de Baños de San Vicente es el parámetro más afectado por casi todas las actividades, denotando la gran fragilidad de ese ecosistema. La introducción de fauna extraña, que compite directamente por los mismos alimentos que la fauna autóctona, e incluso depredándola; la alteración de la cubierta del suelo, que elimina especies vegetales que sirven de alimento y cobijo a los animales del sector; la urbanización, que resta espacio a las especies autóctonas, desplazándolas a zonas cada vez más remotas y pequeñas; las carreteras, que constituyen un peligro constante para todas las especies debido a los automóviles circulando a gran velocidad, además de contribuir a la contaminación por ruido; así como la ganadería y pastoreo son algunas de las actividades que han alterado de gran manera el delicado equilibrio de este bosque.

Las vistas escénicas y panorámicas, junto con la composición del paisaje, constituyen los elementos afectados por más del 70% de las actividades que causan impacto. Estos elementos están íntimamente relacionados a la estética visual del entorno. Por lo tanto, las alteraciones que se han hecho a la cubierta del suelo, para la cría de ganado, agricultura y construcción de casas; la carretera principal de acceso a Baños y las vías secundarias a los poblados adyacentes; las canalizaciones, para desalojar las aguas lluvia y de las piscinas; las torres del tendido eléctrico que llegan hasta Baños de San Vicente y la pequeña planta de tratamiento de yeso, justo a la entrada del pueblo, son algunos de los factores que cortan el equilibrio de las formas y colores del entorno, haciendo que no haya armonía en el paisaje, restándole valor y atractivo.

Como resultado de la alteración del ambiente se dan las condiciones propicias para el desarrollo de insectos y vectores generadores de

enfermedades. Así, de acuerdo al gráfico 9.3 el 60% de las acciones que alteran el medio fomentan el desarrollo de estos insectos.

En la figura 9.4 se relacionan el porcentaje de elementos ambientales afectados vs acciones que causan impacto. En este caso se tomó como límite inferior la ordenada 50% y se identificó las acciones que causan impacto en más del 50% de los elementos ambientales. Basándose en esto, las acciones que más impacto causan, en orden de importancia, son: acumulación de restos, rechazos y sobrantes; tratamiento de minerales; carreteras y vías; modificación del hábitat; modificación del clima; urbanización; fosas sépticas comerciales y domiciliarias y la alteración de la cubierta del suelo.

La acumulación de basura es una actividad que altera cualquier tipo de ecosistema, por eso no sorprende que en Baños de San Vicente esa acción afecte a más del 70% de los elementos ambientales.

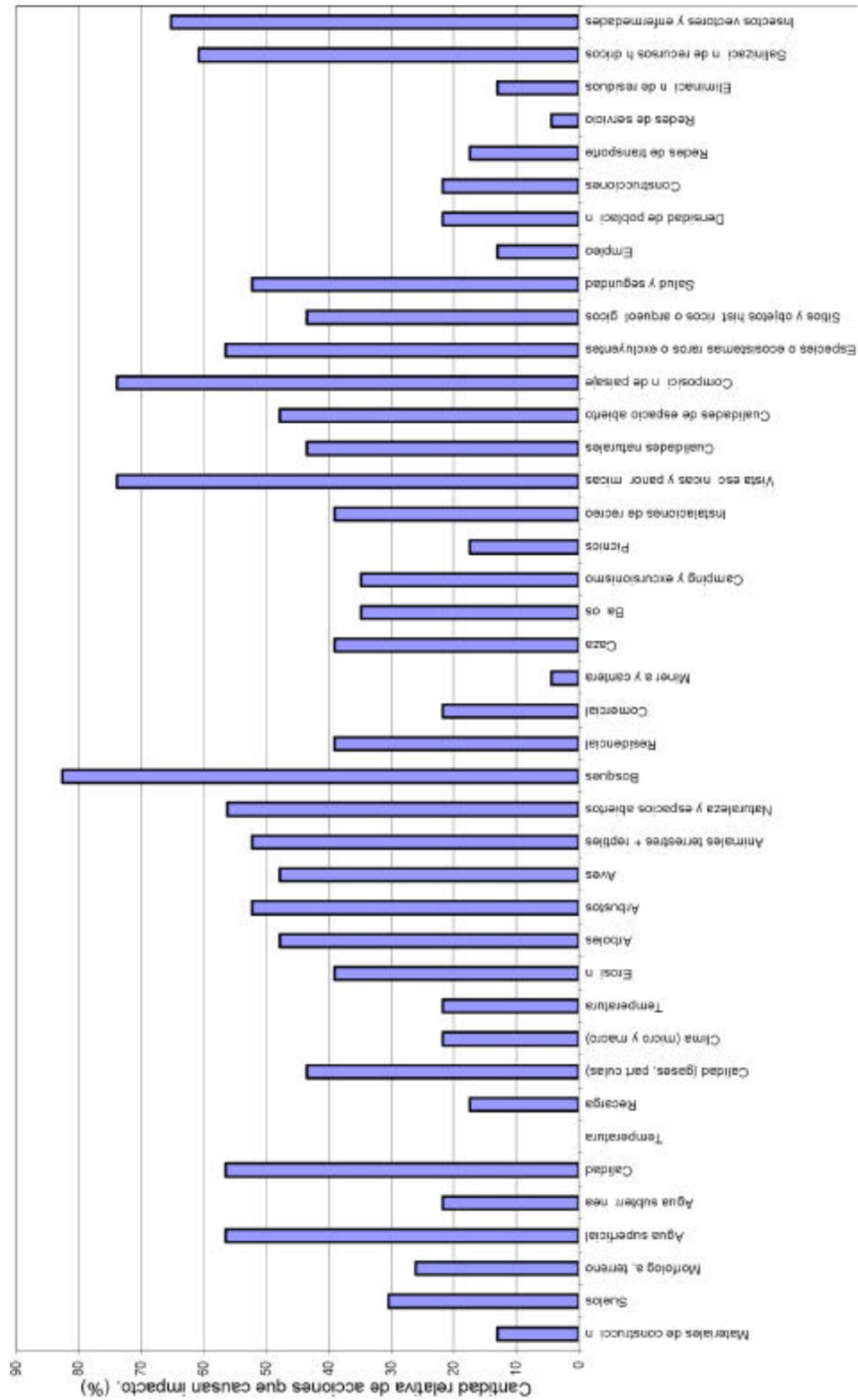


Fig. 9.3 Cantidades relativas de acciones que causan impacto vs elementos ambientales presentes en Baños de San Vicente

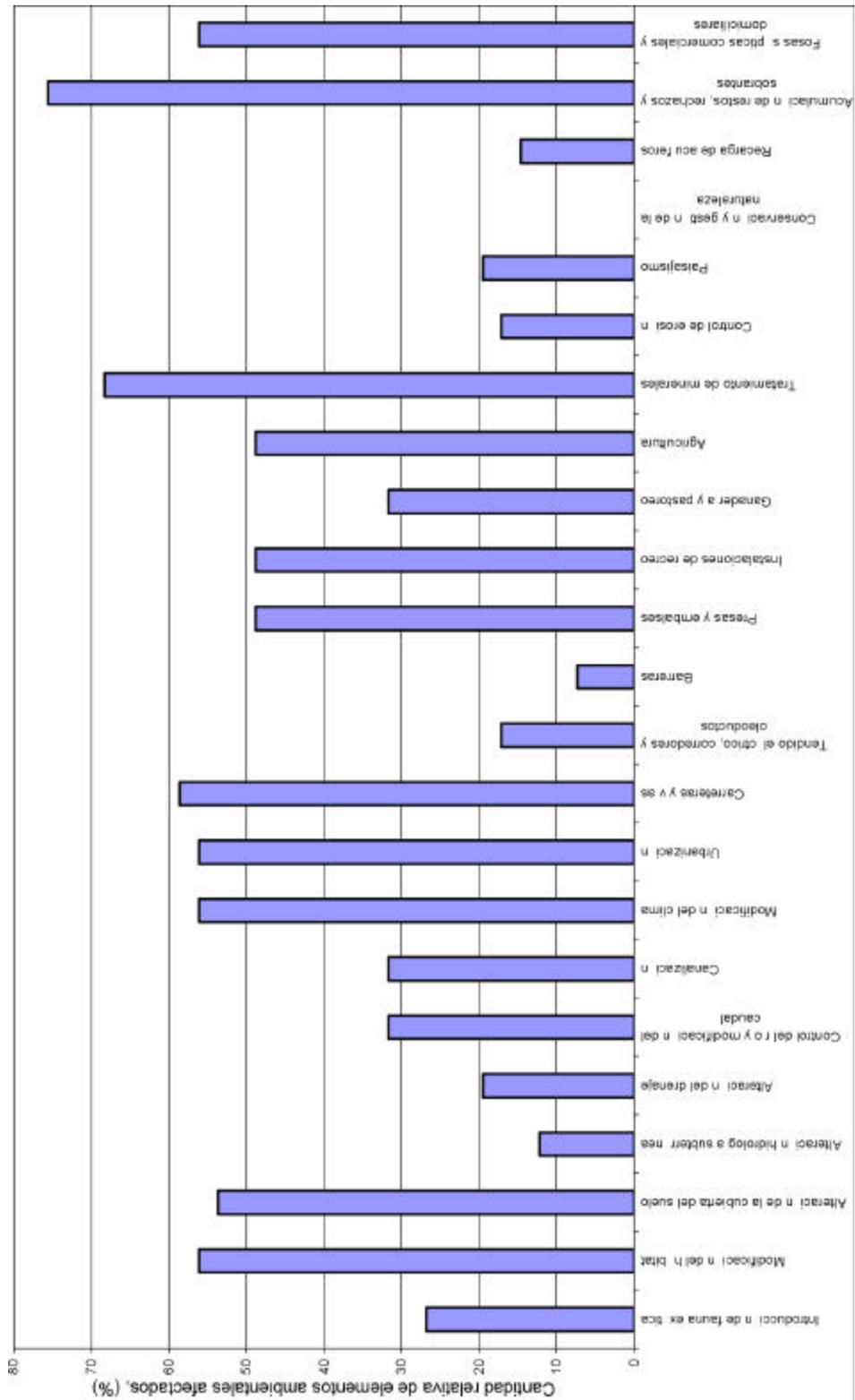


Fig. 9.4 Cantidad relativa de elementos ambientales vs acciones que causan impacto en Baños de San Vicente

El agua superficial y subterránea, es afectada por las filtraciones de los fluidos contaminados a través de acequias o fracturas; el aire, se inunda con la pestilencia y malos olores que estos depósitos forman; la naturaleza, bosques y espacios abiertos, pierden su atractivo y potencial turístico al estar inundados de basura; así como también la salud y seguridad son varios de los elementos del ambiente muy sensibles a las actividades humanas.

La segunda acción que mayor impacto causa es el tratamiento de minerales. A la entrada de Baños de San Vicente se ubica una Planta de Tratamiento de Yeso, que importa la materia prima desde Perú, según los moradores del sector. Esta planta emana partículas de polvo en suspensión que se mantienen en el aire unas decenas de metros a la redonda. No fue posible medir la cantidad de polvo en suspensión a diferentes distancias de la Planta, pero por observaciones de campo se pudo constatar que las partículas más pesadas se asentaban a ~30m del centro de emisión. Ya que el área está libre de grandes elevaciones y edificaciones el aire puede correr con libertad y esparcir, de manera relativamente eficaz, el polvo producido por esta Planta.

9.1.8 Aspecto socio – económico en Baños de San Vicente

La inmensa mayoría de los problemas sociales, en todos lados, tienen su origen en el aspecto económico. Los manantiales termales representan un atractivo turístico enorme para esta zona, que lamentablemente no es manejado ni aprovechado de la mejor manera. No existen registros que indiquen la cantidad de personas que visitan al Complejo Termal diariamente; por lo tanto, no se puede afirmar con certeza cuanto dinero produce esta actividad. A pesar de ello se realizó un estimado de estas cantidades basándose en la comunicación personal de los habitantes y comerciantes locales; así, como observaciones realizadas desde marzo a diciembre del 2001. La tabla 9.4 muestra esos valores.

Tabla 9.4 En esta tabla se han estimado algunos parámetros socio- económicos del Complejo Termal “Telésforo Villacrés” de Baños de San Vicente. El total de personas corresponde a un estimado mensual, se considera que los adultos (edades entre 18 y 55 años) corresponden al 80% del total de personas, niños y ancianos el restante 20%. Los ingresos se calcularon con los siguientes valores: entrada al Complejo USD 0.80 adultos y USD 0.40 niños y ancianos, masajes USD 2.50, sauna USD 2.00. Se asume que la cantidad de personas que hacen uso del servicio de masaje y sauna son el 50% del total de personas.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
# de buses	40.00	72.00	64.00	48.00	3.00	28.00	52.00	52.00	24.00	8.00	8.00	2.00	401.00
# de personas por bus (promedio)	40.00	38.00	40.00	38.00	36.00	38.00	40.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	460.00
Carrros particulares	80.00	100.00	104.00	60.00	48.00	60.00	72.00	80.00	72.00	68.00	64.00	48.00	856.00
# de personas por carro particular (promedio)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	36.00
Total personas	1,840.00	3,036.00	2,872.00	2,004.00	252.00	1,244.00	2,296.00	2,216.00	1,128.00	508.00	496.00	220.00	18,112.00
Adultos	1,472.00	2,429.00	2,298.00	1,603.00	202.00	995.00	1,837.00	1,773.00	902.00	406.00	397.00	176.00	14,489.60
Niños y ancianos	368.00	607.00	574.00	401.00	50.00	249.00	459.00	443.00	226.00	102.00	99.00	44.00	3,622.40
Ingreso adultos	1,177.60	1,943.04	1,838.08	1,282.56	161.28	796.16	1,469.44	1,418.24	721.92	325.12	317.44	140.80	11,591.68
Ingreso niños y ancianos	147.20	242.88	229.76	160.32	20.16	99.52	183.68	177.28	90.24	40.64	39.68	17.60	1,448.96
Personas: masajes + sauna (50%)	920.00	1,518.00	1,436.00	1,002.00	126.00	622.00	1,148.00	1,108.00	564.00	254.00	248.00	110.00	9,056.00
Ingresos: masajes + sauna	3,698.40	6,102.36	5,772.72	4,028.04	506.52	2,500.44	4,614.96	4,454.16	2,267.28	1,021.08	996.96	442.20	36,405.12
Ingreso Total (USD)	5,023.20	8,288.28	7,840.56	5,470.92	687.96	3,396.12	6,268.08	6,049.68	3,079.44	1,386.84	1,354.08	600.60	49,445.76

Basándose en los datos de esta tabla se elaboró la figura 9.5, en ella se observa que los meses de mayor actividad turística, con más de 1500 visitantes, corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril, julio y agosto. Estos periodos pueden ser divididos en dos grupos: el primer grupo, formado por los cuatro primeros meses, coincide con los periodos vacacionales de la Región Costa, llegando a sus máximos valores en los meses de febrero y marzo con las festividades de Semana Santa y Carnaval, disminuyendo en abril debido a lo inminente de las actividades académicas en la Costa. El segundo grupo (julio y agosto) corresponde con los periodos vacacionales de la Región Sierra que, aunque no alcanzan los valores significativos del primer grupo, constituyen, según testimonios de los comerciantes locales, cifras muy elevadas comparadas con años anteriores. Esto indica que los viajeros de la Sierra están eligiendo, con mayor frecuencia, las costas de la Península de Santa Elena como destino turístico, y como paso obligado en su periplo los Baños Termales de San Vicente.

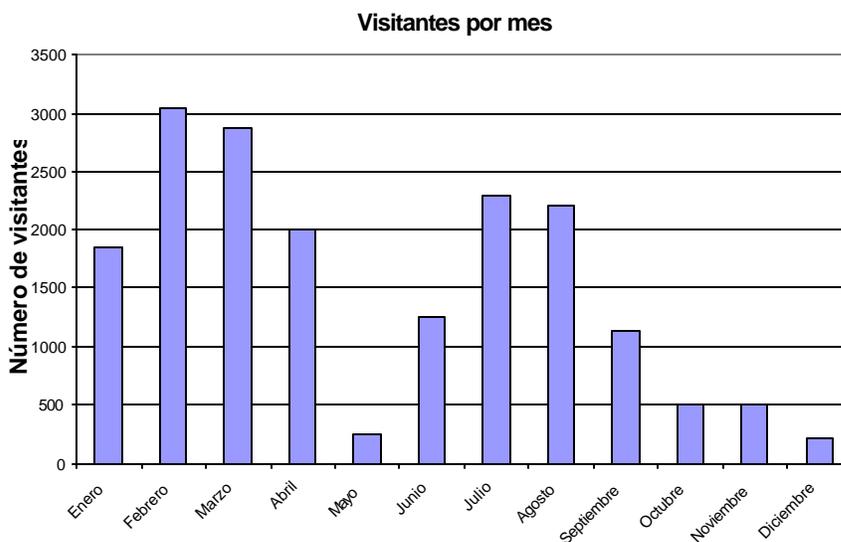


Fig. 9.5 Gráfico que estima la cantidad mensual de visitantes en el Complejo Termal "Telésforo Villacrés" en Baños de San Vicente

La fig. 9.6 representa los ingresos económicos estimados para el Complejo Termal, basándose en la tabla 9.2. Este diagrama, como era de esperar, es

idéntico en su forma al diagrama 9.5, ya que existe relación directa entre número de visitantes e ingresos. Tomando como base un ingreso mensual de USD 4000.00 se observa que los periodos con mayores ingresos corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril, julio y agosto, exactamente los mismos meses de mayor afluencia de visitantes. La máxima recaudación estimada se realizó en febrero (USD 8289) y la mínima en diciembre (USD 601).

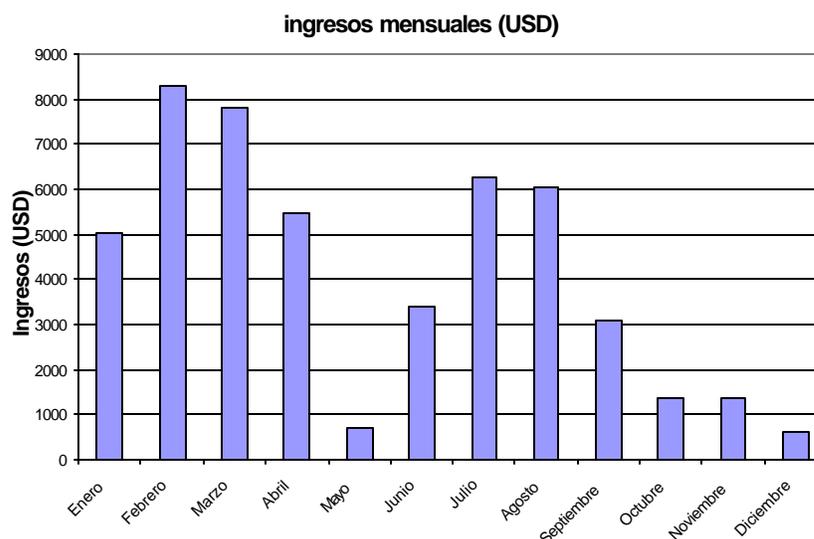


Fig. 9.6 Gráfico que estima los ingresos mensuales en el Complejo Termal “Telésforo Villacrés” en Baños de San Vicente

De acuerdo a la tabla 9.4 el total anual estimado de personas que visitan el Complejo Termal “Telésforo Villacrés” en Baños de San Vicente es de 18112 personas que reportan un ingreso anual estimado de USD 49445.76. Se debe recalcar que estos cálculos solo involucran al Complejo, no se consideraron las hostales ni los restaurantes de los alrededores. No se tienen datos sobre los gastos que suponen mantenimiento, pago del personal, pago de impuestos o remodelaciones, por lo que, asumiendo que estos rubros son cubiertos por el 40% del ingreso anual estimado se tiene una ganancia anual estimada de USD 29667.46, dinero que puede financiar con relativa holgura programas de desarrollo social en la población, sean

éstos construcción o mejoramiento de la red de agua potable y alcantarillado, recolección de basura o educación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

El área de Baños de San Vicente se encuentra ubicada sobre una zona de antearco muy fracturada y con predominio de materiales sedimentarios, principalmente areniscas, areniscas arcillosas y lutitas del Grupo Azúcar, con evidencias de deslizamientos intraformacionales locales, que se manifiestan sobre las zonas centro, norte y este del área considerada.

Las curvas estructurales determinaron la presencia de dos plegamientos. El primero muestra un anticlinal y un sinclinal, ambos con un eje NE – SO que corre desde Baños de San Vicente hasta los Cerros Asagmones. El segundo, ubicado en la parte este del área de estudio, presenta solo un anticlinal y tiene dirección dominante NO – SE. Los manantiales termales se encuentran ubicados sobre el eje del primer anticlinal.

En Baños de San Vicente existen fracturas con rumbos predominantes de 0, 80 y 140° azimuth, valores que están en concordancia con los rumbos regionales. Los valores más altos de densidad de fracturamiento (> 5 km de fractura/km²) en esta zona ocurren a aproximadamente 1.5 km de distancia, al noreste de las manifestaciones termales.

El drenaje es sub – angular indicando control por fallas y fracturas. Hay tres sub – cuencas hidrográficas que controlan la dirección de las aguas y diferencian los terrenos sobre los cuales aparecen. La primera de estas sub – cuencas drena hacia el oeste. La segunda sub – cuenca drena hacia el sur. La tercera sub – cuenca drena hacia el suroeste.

El intenso fracturamiento en esta zona permite a los fluidos superficiales deslizarse por los espacios permeables y porosos de las fracturas, hacia el punto de cota más baja en el terreno, que coincide con el área de emanación de los manantiales en la zona de Baños de San Vicente. Señalando a los

cerros al norte del Complejo y al cauce del Río Asagmones como las zonas de recarga para los acuíferos superficiales.

En Baños de San Vicente se han observado solamente descargas del tipo directas, en las figuras de los manantiales termales. No se han apreciado descargas difusas, intermitentes ni catastróficas y quizás si halla manifestación de las descargas cubiertas.

De acuerdo a medidas de resistividad el nivel freático local se encuentra aproximadamente en la cota 70m por debajo del punto del SEV-07. Hay dos planos de falla que cortan el nivel 3 del SEV-07 y los niveles 1 y 3 del SEV-06. La falla más superficial indica que posiblemente hubo un desplazamiento de los materiales resistivos hacia arriba. En cambio, la falla más profunda pone en contacto, muy probablemente en forma anormal, las rocas de la Formación Santa Elena con materiales más arenosos y resistivos del Grupo Azúcar. Situación similar ocurre entre el primer y segundo nivel del SEV-10.

Los fluidos mineralizados y termales, se deslizan suavemente en profundidad formando una zona de alteración hidrotermal hacia el sureste. Siguiendo la topografía.

Los manantiales presentan dos direcciones dominantes: 45° azimuth y 330° azimuth. Siendo casi los mismos rumbos dominantes en las fracturas y fallas, tanto locales como regionales. Por lo tanto, la ocurrencia de los manantiales obedece a un control estructural, siendo la zona del manantial M1 el punto de encuentro de dos sistemas de fallas regionales.

La temperatura en los manantiales de Baños de San Vicente varía entre 24 y 37°C. El pH se encuentra en un rango desde 6.4 a 8.1; es decir, va de ligeramente ácido a ligeramente básico en una dirección oeste – este, indicando mezcla en ese sentido. Las concentraciones elevadas de cloruros indican que estos fluidos son del tipo salmuera. De acuerdo al diagrama

ternario Cl, SO₄ y HCO₃ estos fluidos están clasificados como aguas cloruro – sulfatadas neutras.

Existe adición progresiva de sulfatos; es decir, conforme ascienden a superficie hay mezcla progresiva de los fluidos profundos con las aguas subterráneas superficiales en dirección oeste - este. Los manantiales M1 y M4, dentro del Complejo Termal, tienen las concentraciones menos afectadas por mezcla, indicando una zona de flujos de salida.

La gran diferencia en los contenidos de cloruros entre los manantiales señala que estos fluidos son diferentes en términos de sus concentraciones y por lo tanto deben tener diferente origen.

De acuerdo al diagrama ternario de Na, K, y Mg se obtiene un rango de temperatura de equilibrio entre 100 y 120°C. La composición isotópica de estas aguas (ver acápite 7.4) le aproximan a sistemas de salmueras con un probable origen magmático de tipo arco de isla. También indican dilución de las aguas de origen profundo con aquellas aguas superficiales y frías.

El arreglo mineral presente en las capas subterráneas de la zona de Baños de San Vicente es cuarzo – albita – caolinita – illita. La ocurrencia de la albita sugiere la presencia de algún cuerpo magmático de características andesíticas a profundidad, pero no es concluyente. Caolinita – illita es el patrón de alteración dominante en los niveles poco profundos de San Vicente.

Por los valores de temperatura medidos en los manantiales, los patrones de dilución exhibidos, los contenidos de elementos y las bajas entalpías calculadas, el sistema geotérmico presente en Baños de San Vicente es eminentemente un sistema conato de salmueras no convectivas líquido dominante de baja presión y temperatura. Con conexiones, a través de

fallas, con material magmático de tipo andesítico que le provee de calor y ciertos componentes químicos.

El probable fluido original tiene una entalpía de 500 kJ/kg indicando una temperatura para el reservorio de 120°C. Por lo tanto, Baños de San Vicente es un recurso geotérmico que no tiene la suficiente capacidad para generar energía eléctrica.

De los resultados de los análisis bacteriológicos no existe peligro aparente de contagio por algún tipo de infección debida a *Escherichia coli* u otro agente enteropatógeno por el uso, en balneoterapia, de las aguas de los manantiales termales en Baños de San Vicente. Las aguas en la población de Saya muestran contaminación por *E. Coli*.

El principal parámetro ambiental afectado por las actividades humanas es el ecosistema del bosque tropical seco, y las mayores acciones perturbadoras del medio físico son la acumulación de restos, rechazos y sobrantes; el tratamiento de minerales; carreteras y vías; modificación del hábitat; modificación del clima; urbanización; fosas sépticas comerciales y domiciliarias y la alteración de la cubierta del suelo.

10.2 RECOMENDACIONES

A la luz de las conclusiones obtenidas se recomienda:

Que se realicen, al menos, 5 sondeos eléctricos verticales (con espaciamiento medio $AB/2= 400m$) al este del área de estudio, para determinar el límite oriental del reservorio geotérmico.

Que se lleve a cabo, al menos, una perforación exploratoria de entre 50 y 100 m de profundidad en cualquiera de los siguientes puntos: P1 (532855, 9754624) o P2 (533020, 9753983), con sus respectivos análisis

estratigráficos, de temperatura y geoquímicos, para confirmar, ajustar o refutar las afirmaciones expuestas en este trabajo.

Que cualquier explotación económica que se haga de los manantiales termales sea, por ahora, desde los puntos de vista turístico de recreación familiar y para tratamiento terapéutico en balneoterapia e hidromasajes. Por lo tanto, deberán rehabilitarse adecuadamente las instalaciones del complejo termal.

Que se realicen zanjas, de por lo menos 1m de ancho y 1m de profundidad, que rodeen estas instalaciones para desviar las aguas del Río Salado y evitar inundaciones que afecten las piscinas durante las épocas invernales.

Que no se permita el uso, por parte del público, del manantial de sedimentos, denominado en este trabajo como M3 y llamado por la población local como “volcancito de lodo”, en al menos 10 días de cada mes, para permitir su parcial recuperación. Se estima que cada persona que visita este manantial se unta sobre todo el cuerpo una capa de lodo de aproximadamente 1mm de espesor. Una persona promedio (con altura entre 160 – 170 cm y de contextura física normal) tiene un área epitelial de 1.5 m²; por lo tanto, una sola persona consume algo más de 1.5 Kg. de sedimentos. A razón de 10 personas diarias, el consumo del sedimento que brota de este manantial es de 15 Kg. por día, traduciéndose en un uso de 5.4 toneladas anuales, cantidad que es poco probable que se recupere naturalmente al ritmo de uso actual.

Que se construya un relleno sanitario pequeño para la colocación de toda la basura generada por el pueblo, y así minimizar la contaminación del ecosistema tanto de superficie como subterránea.

Que se efectúe una campaña de re-adequación de los pozos de captación de aguas subterráneas en la población de Saya, para evitar una continua contaminación de estas aguas por E. coli.

Que se estudie la posibilidad de abrir una vía de segundo orden hasta los manantiales conocidos como Borbollones de lodo y agua, ubicados al nordeste de Baños de San Vicente. Debido al alto potencial turístico que tendrían tanto la vía de acceso como lo manantiales en si.

ANEXOS

ANEXO A

Datos y curvas de campo de los Sondeos Eléctricos Verticales tomados en Baños de San Vicente

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	20.06
20	2.5	18.31
30	2.5	20.00
40	2.5	13.02
50	2.5	9.40
60	7.5	8.10
75	7.5	7.00
100	7.5	7.50
125	7.5	10.43
150	7.5	11.28
200	25	11.04
300	25	15.16
400	25	14.70

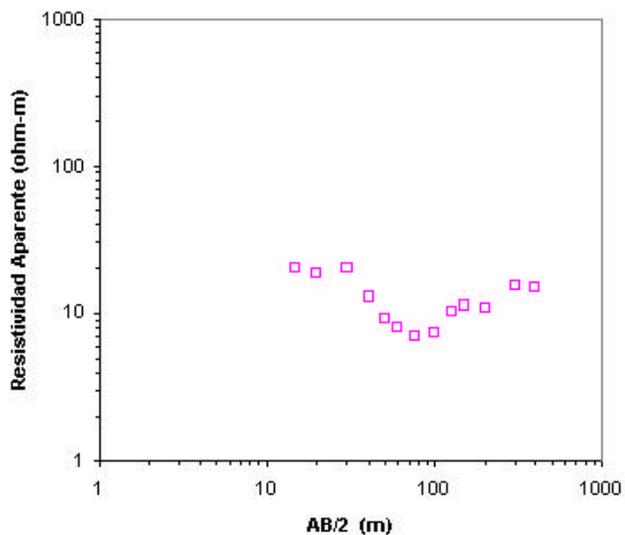


Fig. A.2 Datos y curva de campo del SEV-02

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	20.07
20	2.5	23.01
30	2.5	22.46
40	2.5	12.01
50	2.5	29.77
60	7.5	31.61
75	7.5	34.98
100	7.5	20.82
125	7.5	19.56
150	7.5	14.10
200	7.5	8.36
300	25	5.62
400	25	10.01

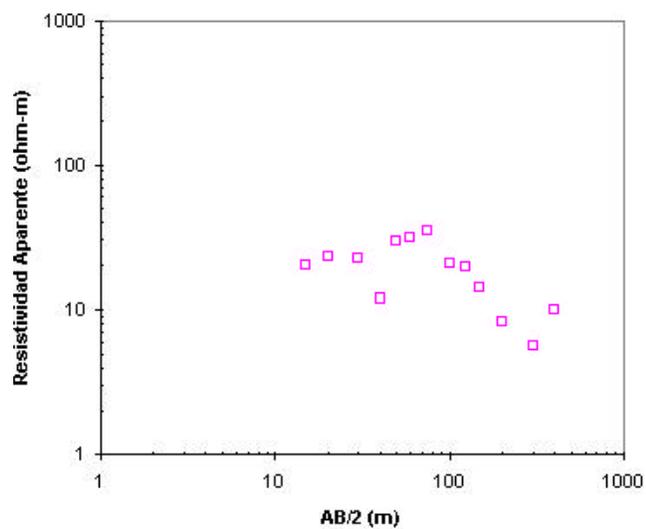


Fig. A.3 Datos y curva de campo del SEV-03

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	79.97
20	2.5	37.11
30	2.5	10.50
40	2.5	6.20
50	2.5	3.13
60	7.5	2.52
75	7.5	2.45
100	7.5	3.54
125	7.5	4.24
150	7.5	3.76
200	7.5	4.20
300	25	4.49
400	25	4.00

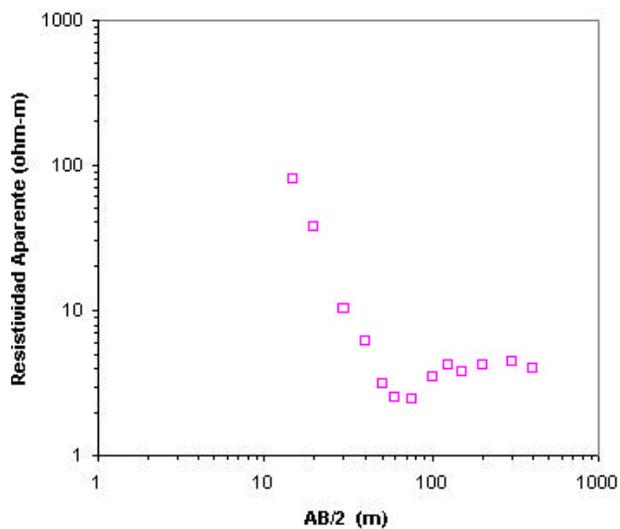


Fig. A.4 Datos y curva de campo del SEV-04

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	329.8
20	2.5	14.8
30	2.5	7.5
40	2.5	6.2
50	2.5	3.1
60	7.5	2.2
75	7.5	2.2
100	7.5	2.1
125	7.5	3.3
150	7.5	4.7
200	25	2.4
300	25	5.6
400	25	8.6
500	50	9.3

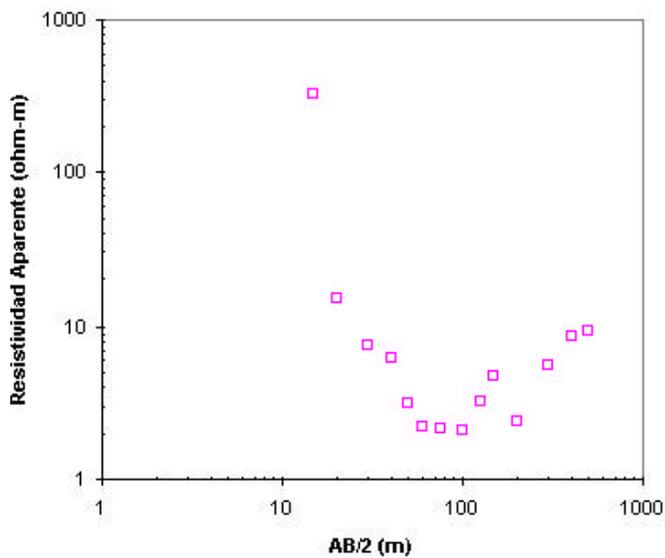


Fig. A.5 Datos y curva de campo del SEV-05

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	3.85
20	2.5	14.84
30	2.5	12.35
40	2.5	13.02
50	2.5	14.10
60	7.5	15.81
75	7.5	9.33
100	7.5	12.49
125	7.5	13.04
150	7.5	14.10
200	7.5	16.73
300	25	11.23
400	25	15.02
500	25	15.67

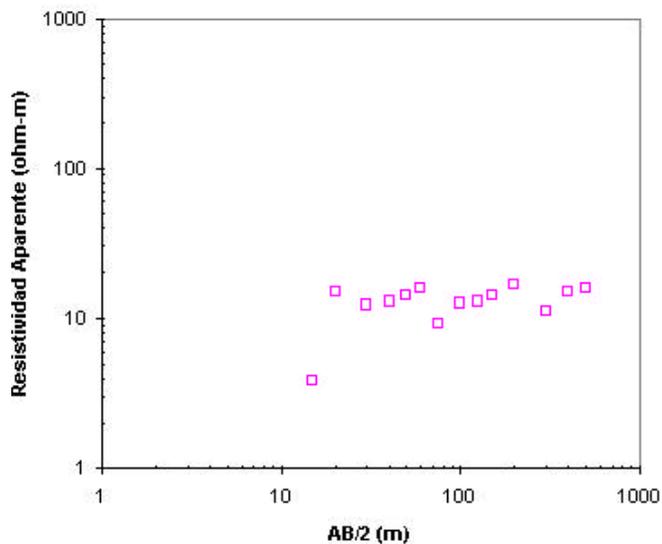


Fig. A.6 Datos y curva de campo del SEV-06

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	9.62
20	2.5	10.39
30	2.5	22.46
40	2.5	22.03
50	2.5	23.50
60	7.5	11.87
75	7.5	12.83
100	7.5	13.54
125	7.5	16.30
150	7.5	13.16
200	7.5	38.62
300	25	12.92
400	25	25.03
500	25	26.64

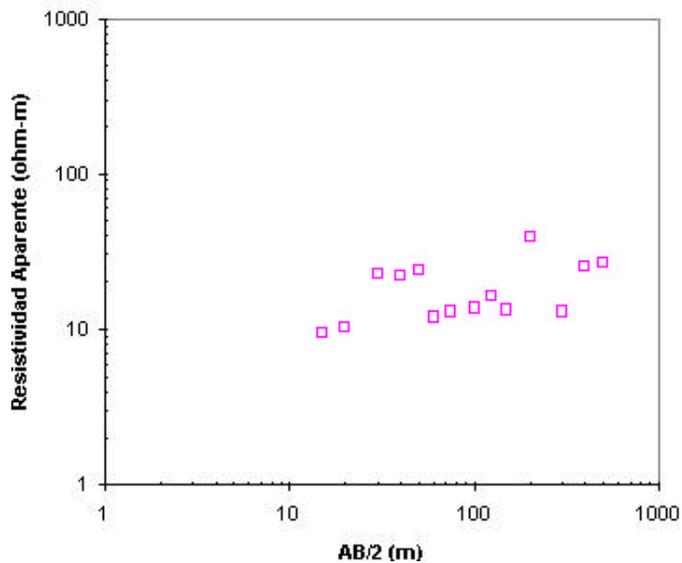


Fig. A.7 Datos y curva de campo del SEV-07

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	78.34
20	2.5	21.28
30	2.5	10.11
40	2.5	10.01
50	2.5	10.97
60	7.5	8.91
75	7.5	8.75
100	7.5	8.96
125	7.5	10.43
150	7.5	10.81
200	7.5	10.88
300	25	10.11
400	25	12.02
500	25	14.10

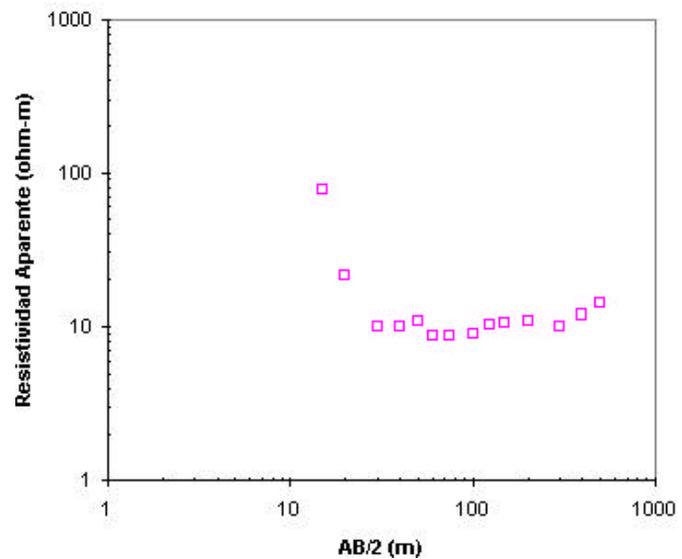


Fig. A.8 Datos y curva de campo del SEV-08

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	6.87
20	2.5	12.37
30	2.5	10.11
40	2.5	14.02
50	2.5	17.24
60	7.5	14.10
75	7.5	12.83
100	7.5	8.33
125	7.5	19.56
150	7.5	11.28
200	25	8.69
300	25	7.86
400	25	8.01
500	50	3.88

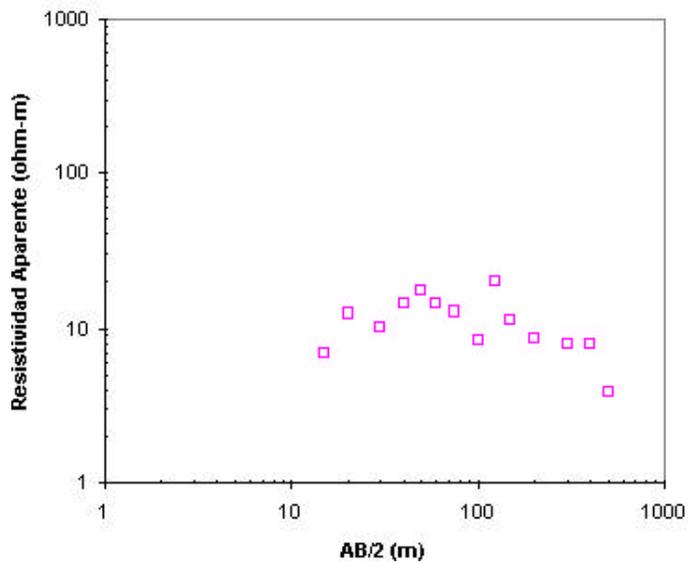


Fig. A.9 Datos y curva de campo del SEV-09

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω -m)
15	2.5	28.86
20	2.5	4.45
30	2.5	12.35
40	2.5	10.01
50	2.5	7.83
60	7.5	6.77
75	7.5	5.13
100	7.5	7.08
125	7.5	7.83
150	7.5	7.52
200	7.5	24.26
300	25	1.50
400	25	1.30
500	25	15.67

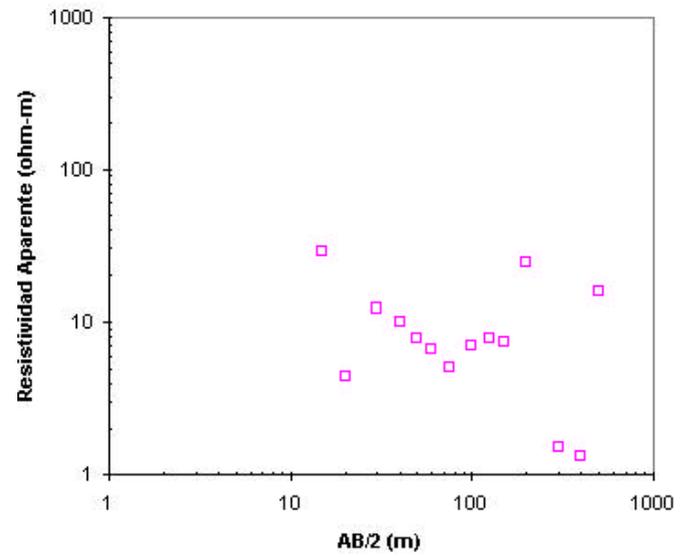


Fig. A.10 Datos y curva de campo del SEV-10

ANEXO B
Modelos Teóricos Con Cortes Geoeléctricos

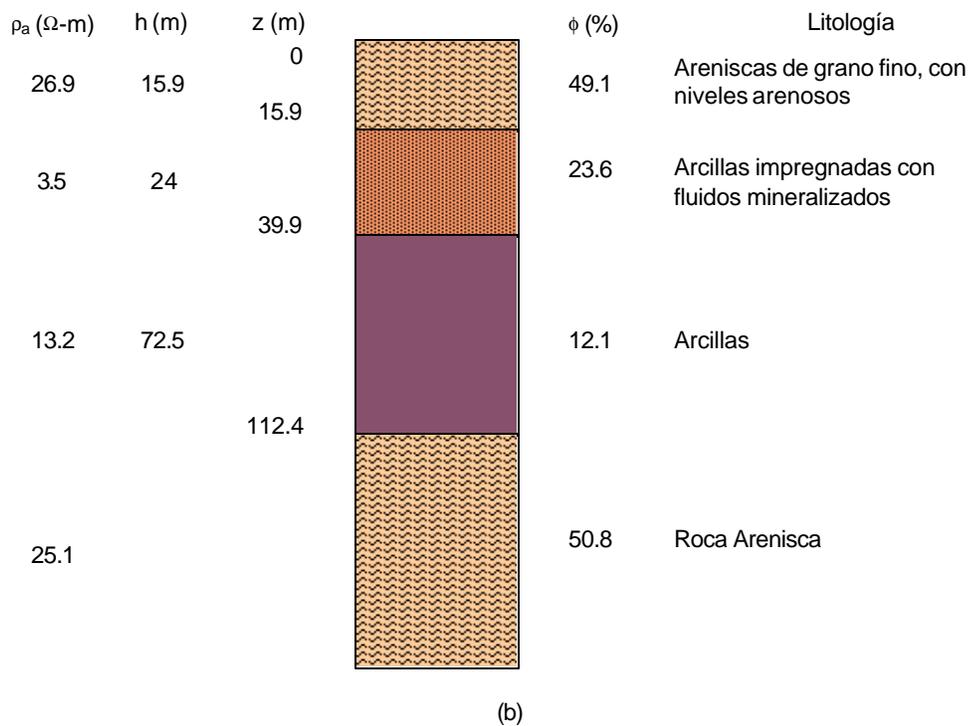
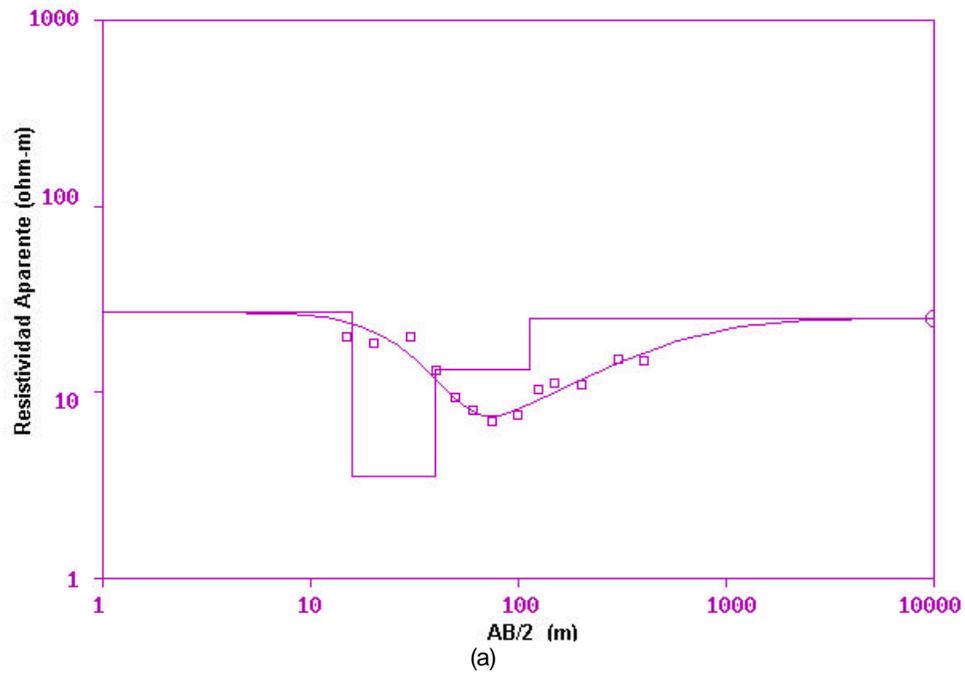
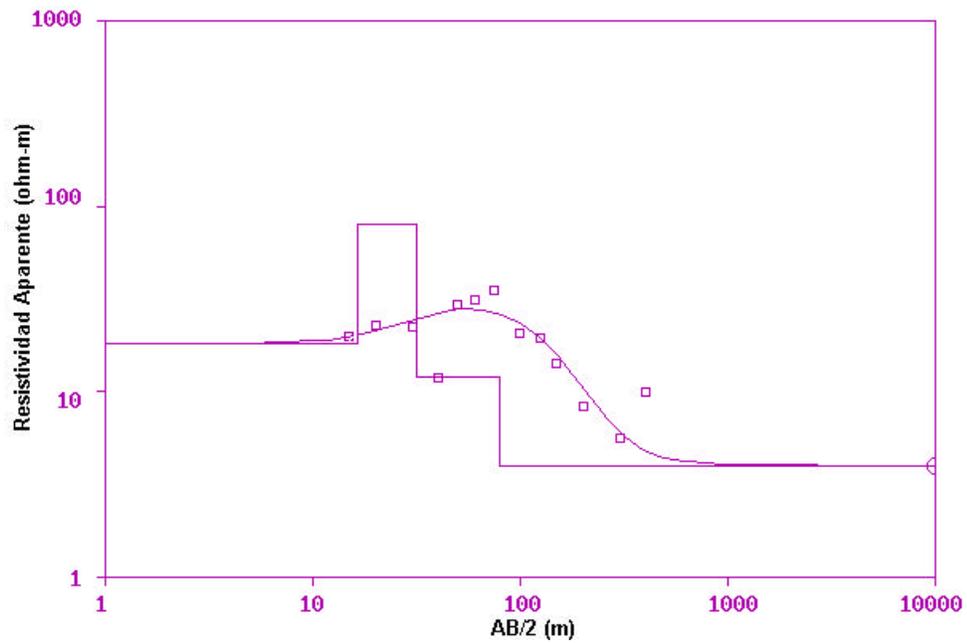
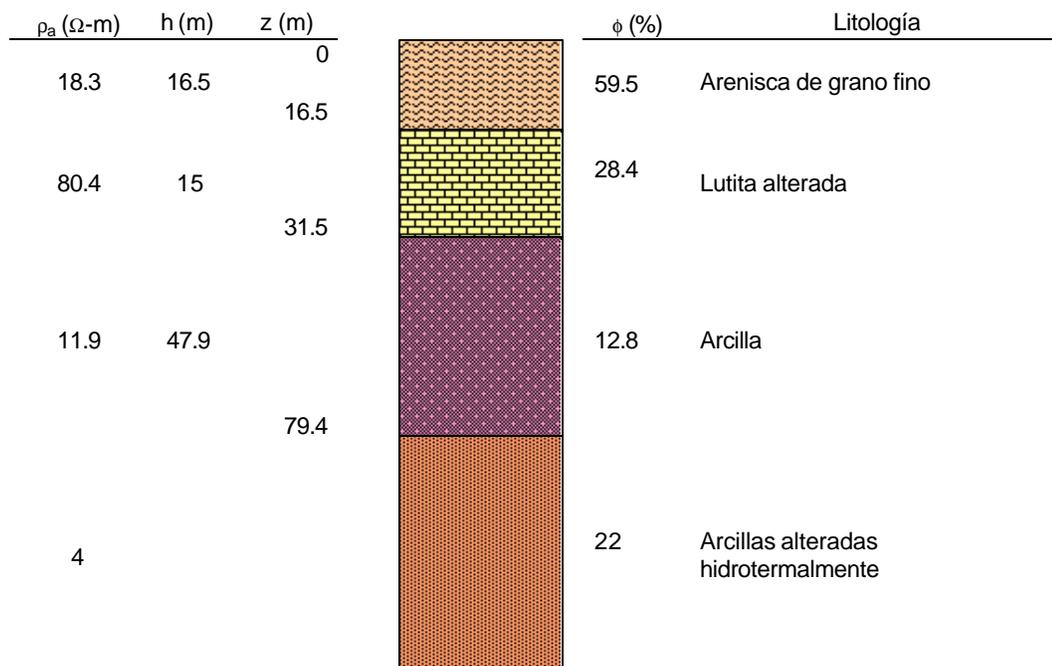


Fig. B.2 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-02 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

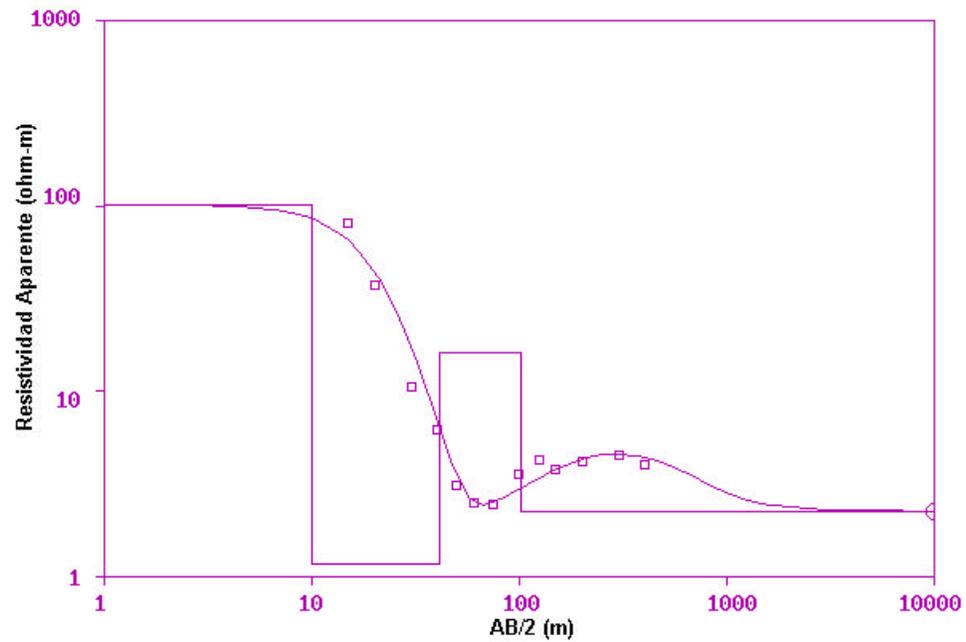


(a)

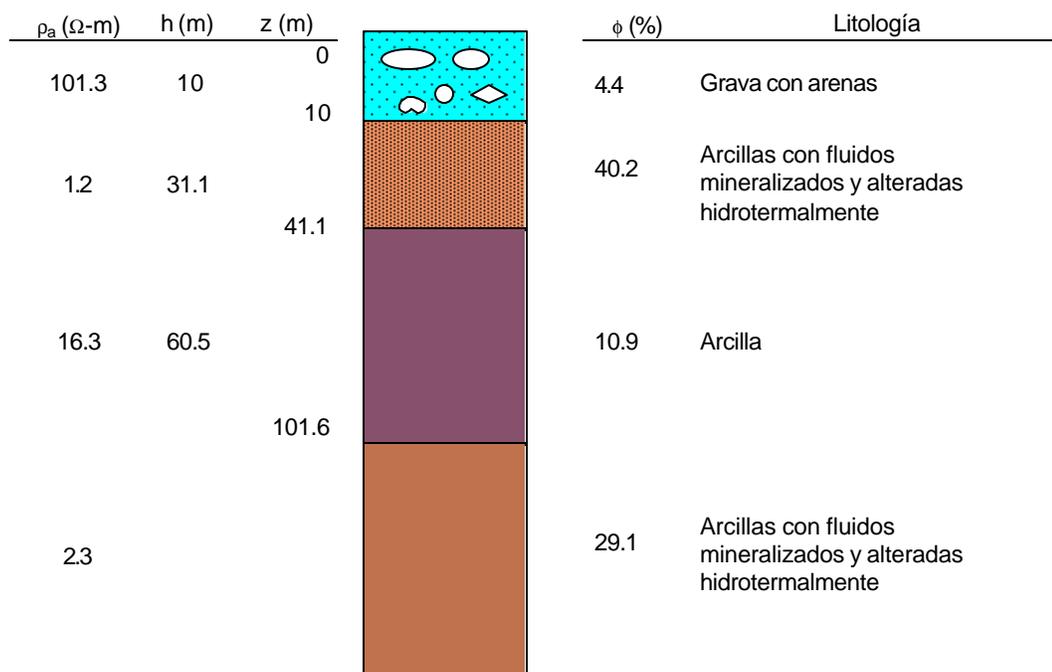


(b)

Fig. B.3 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-03 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

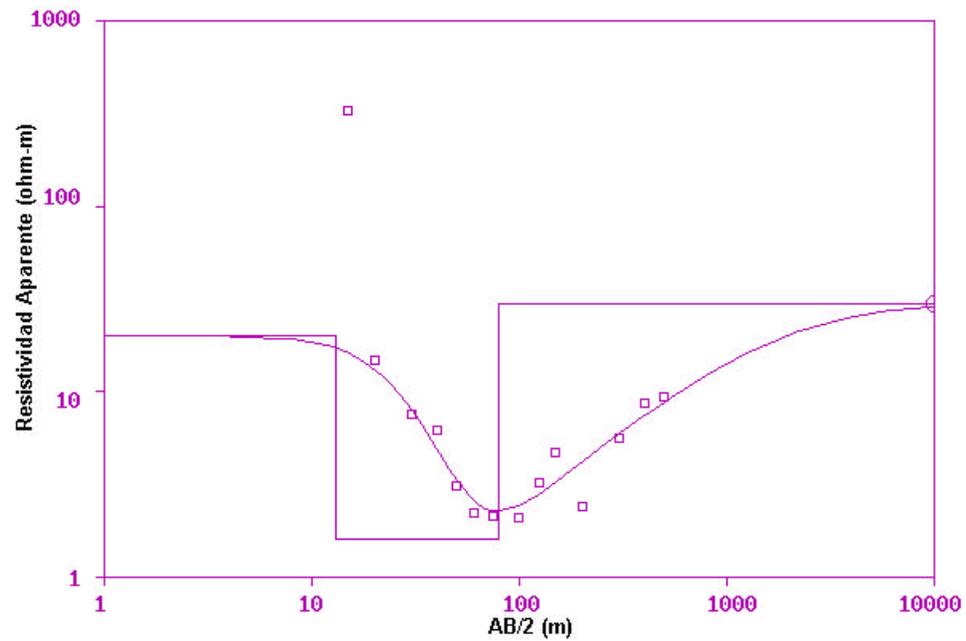


(a)

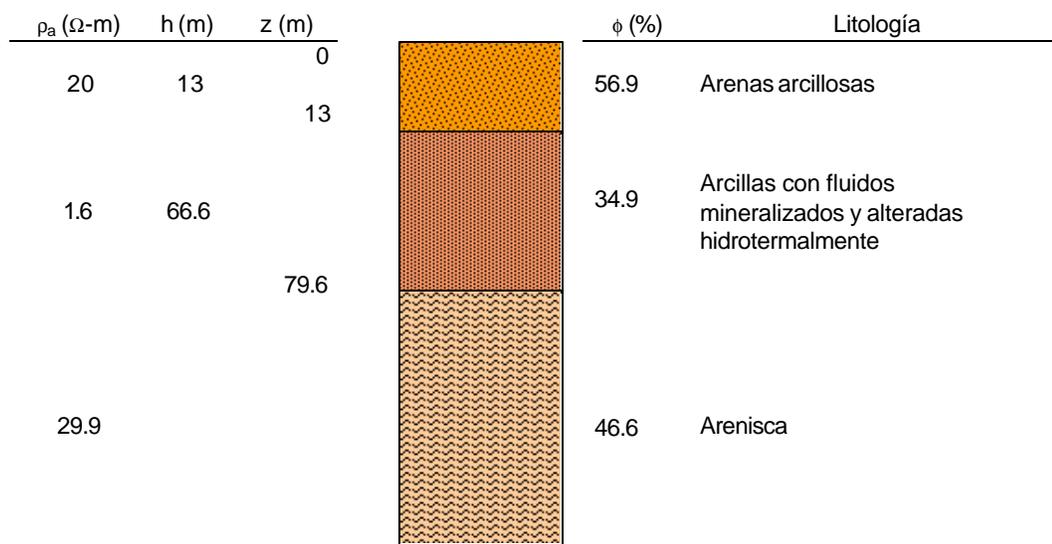


(b)

Fig. B.4 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-04 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

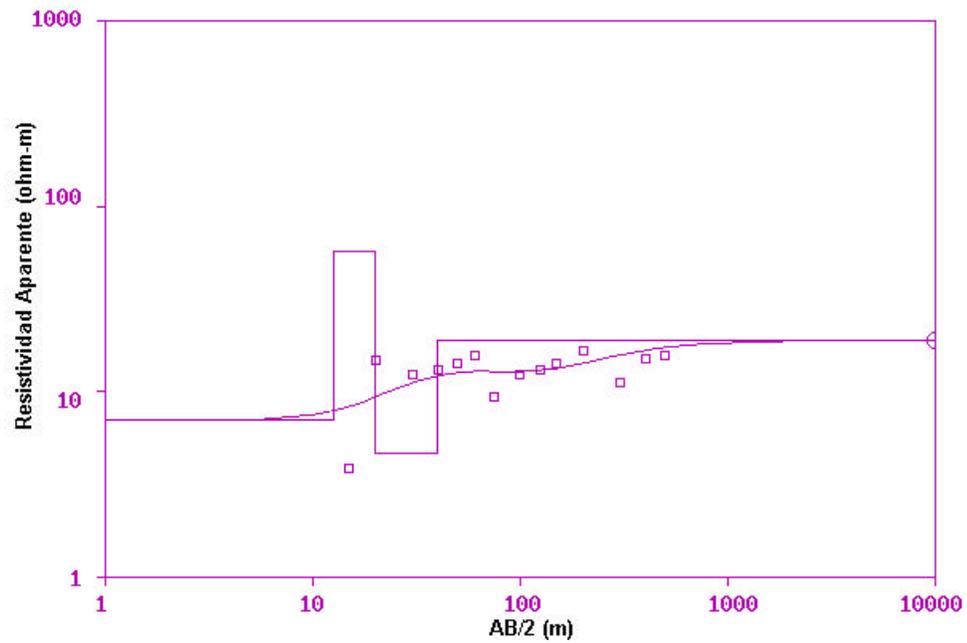


(a)

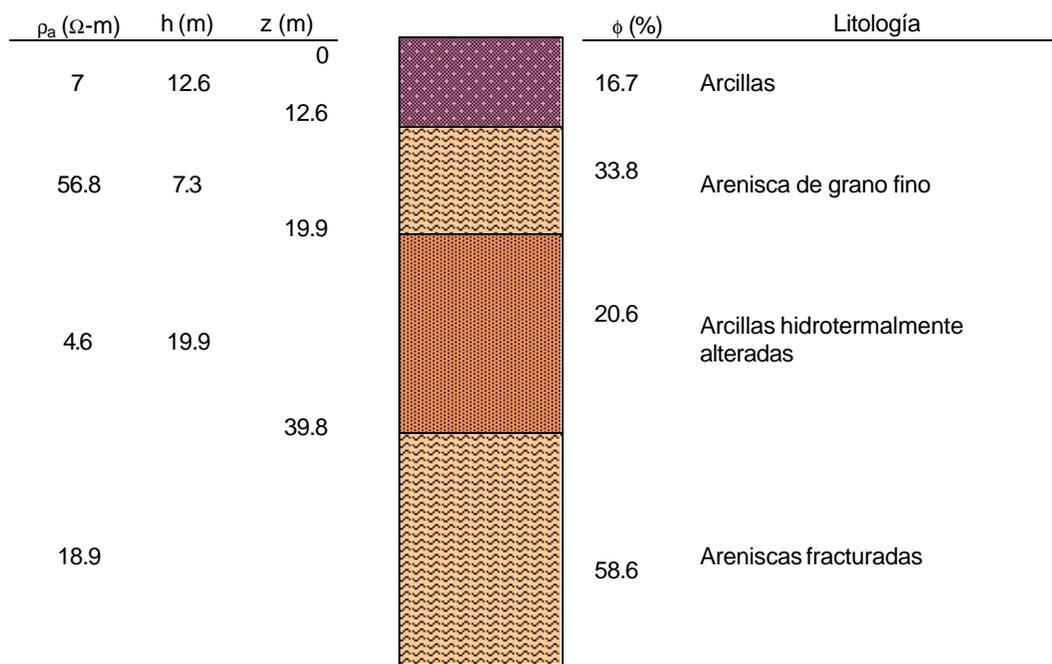


(b)

Fig. B.5 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-05 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

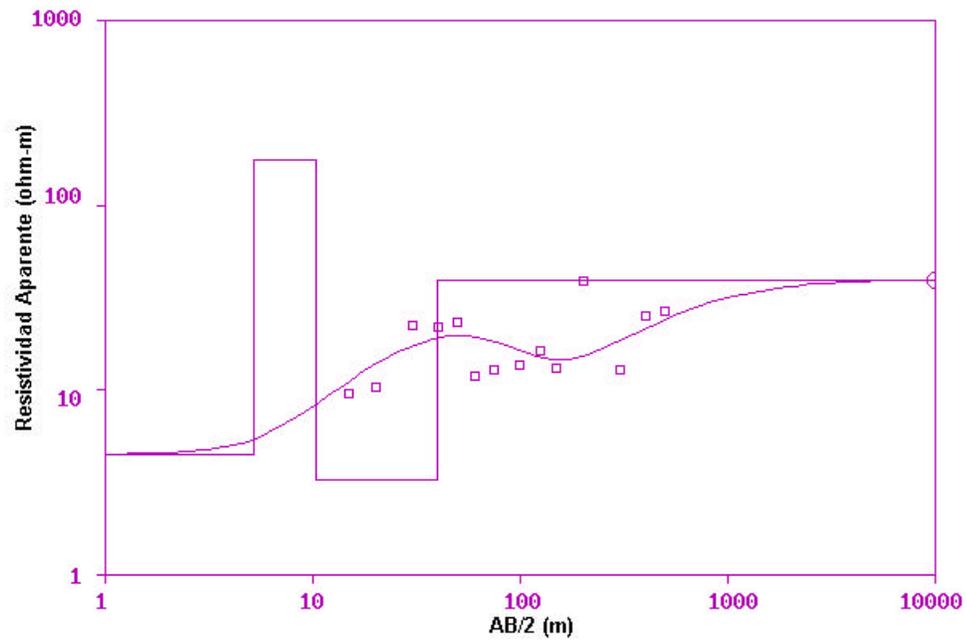


(a)

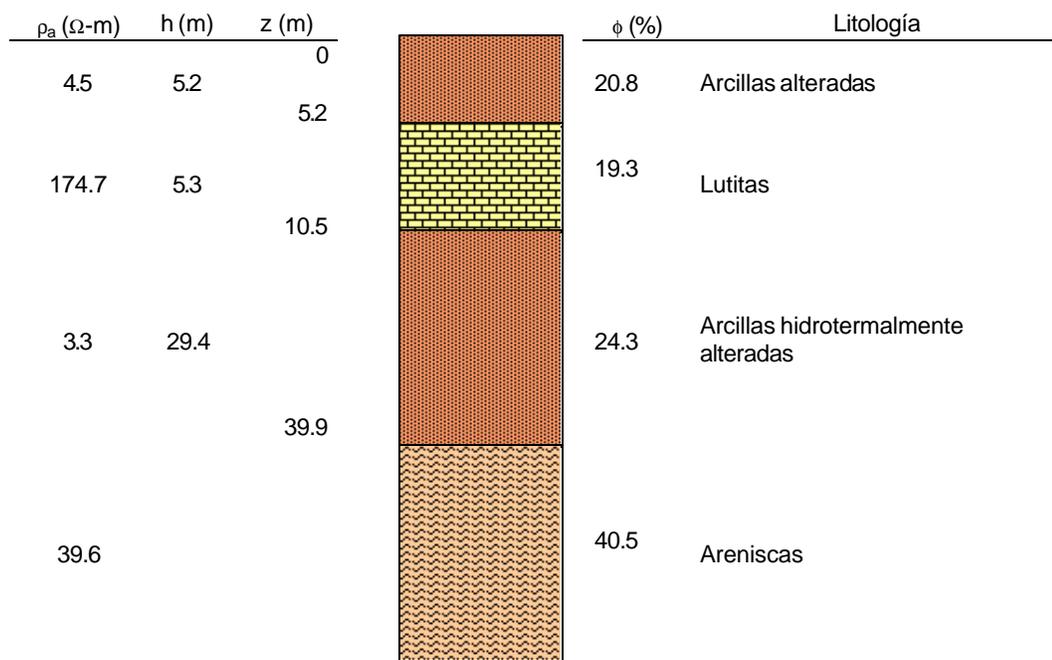


(b)

Fig. B.6 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-06 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

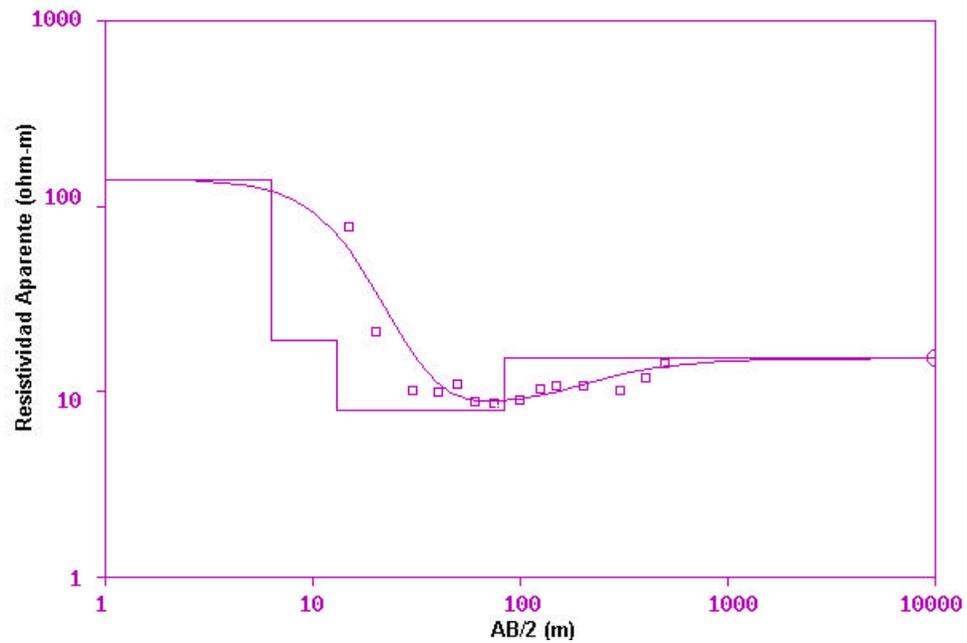


(a)

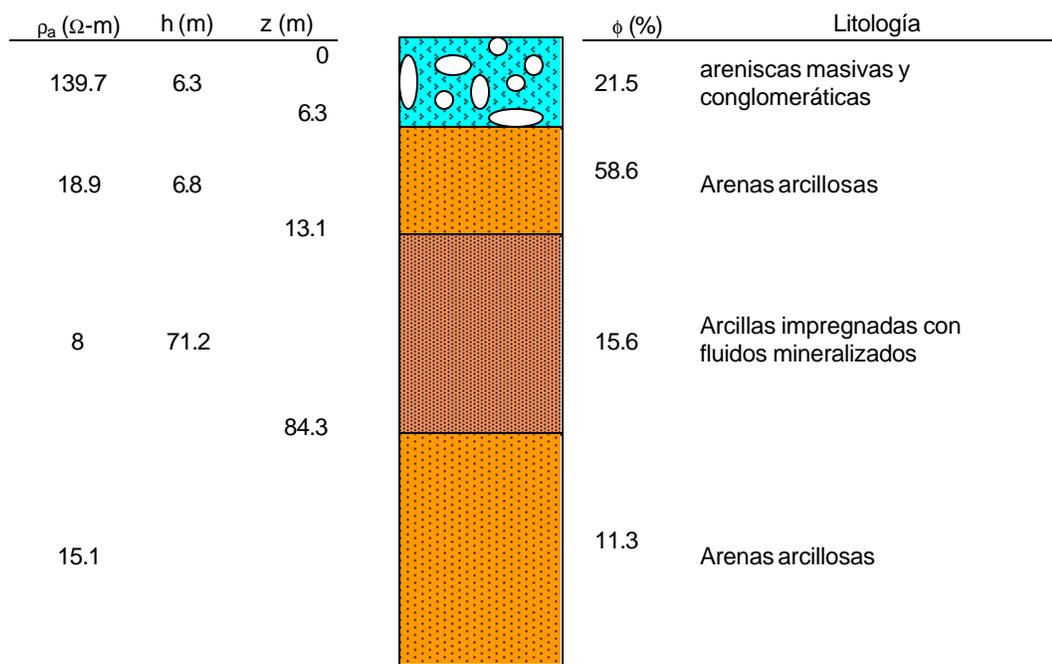


(b)

Fig. B.7 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-07 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

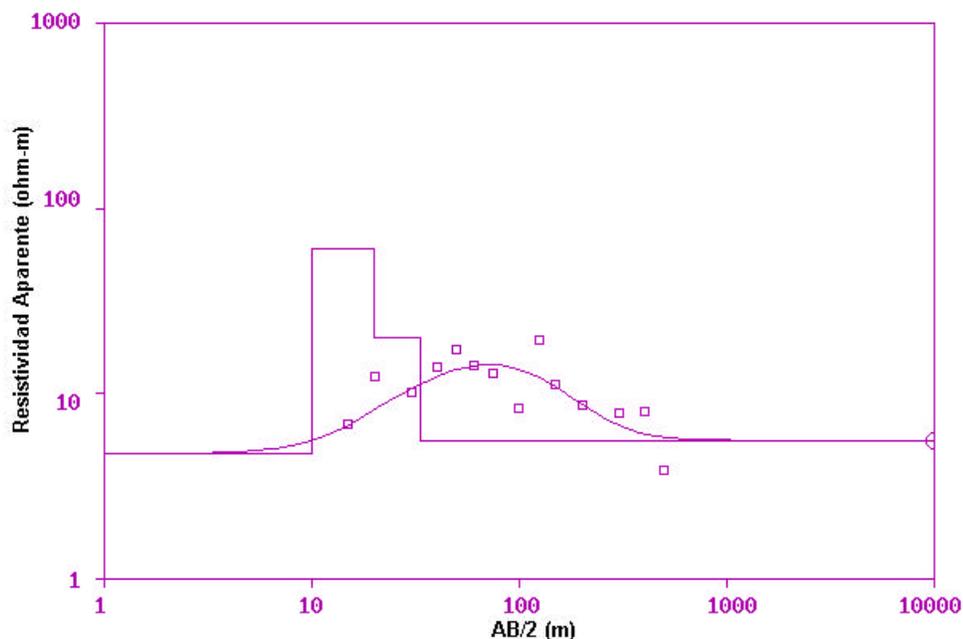


(a)

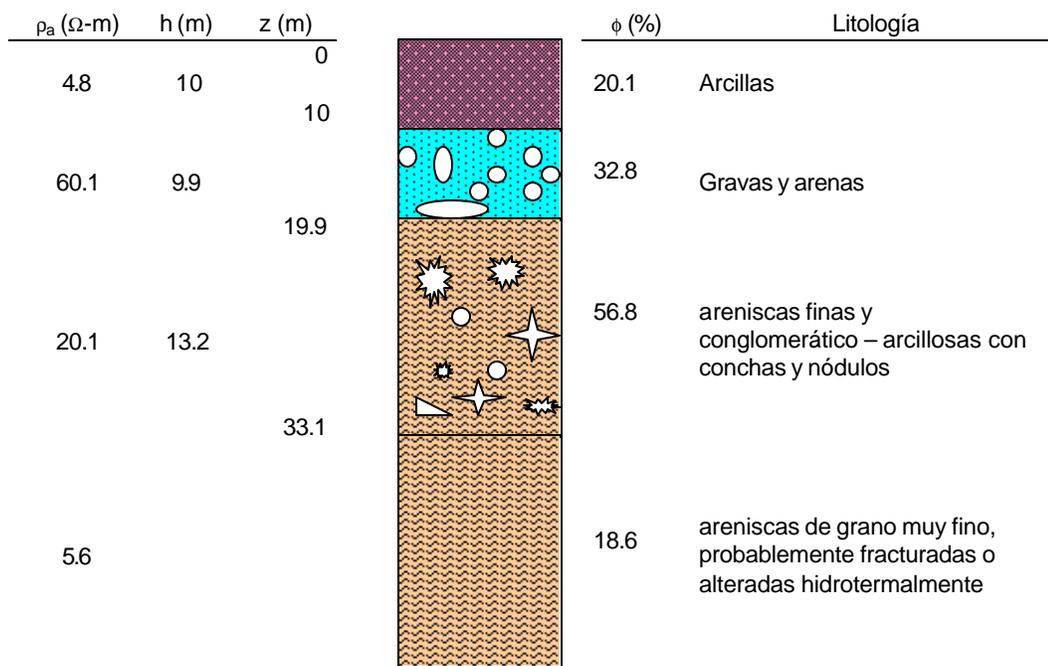


(b)

Fig. B.8 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-08 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

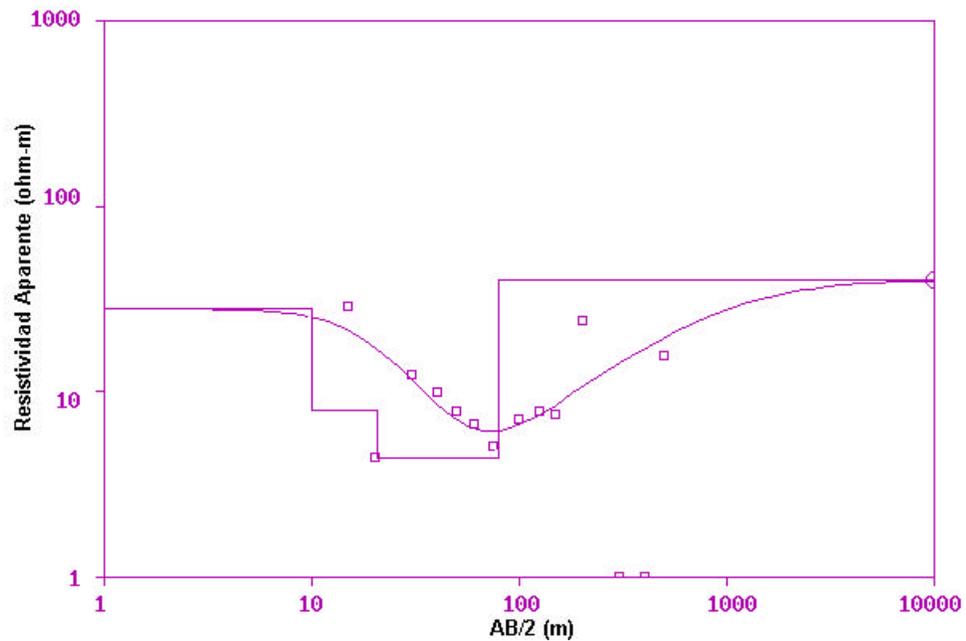


(a)

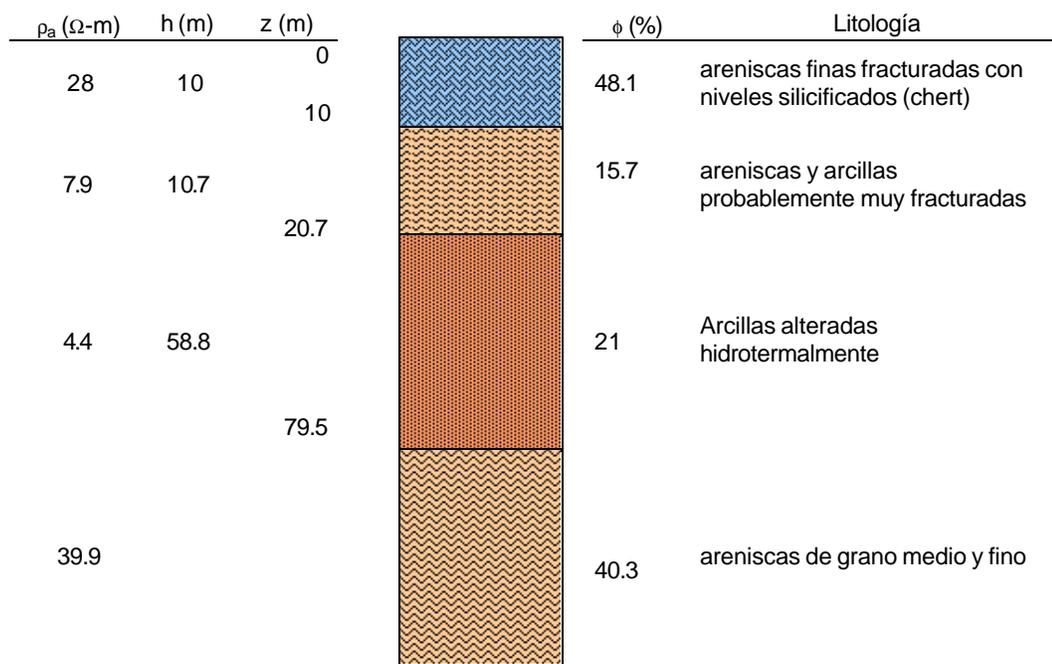


(b)

Fig. B.9 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-09 (a) con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.



(a)



(b)

Fig. B.10 Curva del modelo de resistividad teórico del SEV-10 (a), con su respectivo corte geoelectrico (b), h = espesor, z = profundidad, ϕ = porosidad geoelectrica.

ANEXO C

Tabla de Sondeos Eléctricos Verticales

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

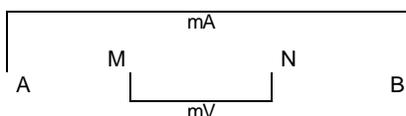
SEV # :

Dibujo de localización del SEV

Fecha :

Localización:

Operador:

Dispositivo
Schlumberger

$$K = \pi \frac{AM \times AN}{MN}$$

Condición para K: $MN < AB/5$

Est.	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	V/I (ohm)	ρ_a (ohm-m)	V/I (ohm)	ρ_a (ohm-m)	Observaciones
1	15	2.5	137.44					
2	20	2.5	247.40					
3	30	2.5	561.56					
4	40	2.5	1001.38					
5	50	2.5	1566.87					
6	60	2.5	2258.02					
	60	7.5	742.20					
7	75	7.5	1166.31					
8	100	7.5	2082.61					
9	125	7.5	3260.71					
10	150	7.5	4700.61					
11	200	7.5	8365.81					
	200	25	2414.01					
12	300	25	5615.61					
13	400	25	10013.85					
14	500	25	15668.73					
	500	50	7765.46					
15	600	50	11231.22					
16	750	50	17592.96					
	750	75	11663.19					

BIBLIOGRAFÍA

AQUATER (1987): Prefeseability Studies in Tufiño – Chiles – Cerro Negro Binational Geothermal Project. Chemical Report.

ATLAS COPCO: ABEM Terrameter SAS System, Instruction Manual. Atlas Copco. Sweden. pp 3-04

BENDECK J. (1992): Perfiles Eléctricos: Una Herramienta para la Evaluación de Formaciones. Santafé de Bogotá. Colombia. pp. 1-8

BIBBY, H. M.; DAWSON, G. B.; RAYNER, H. H.; STAGPOLE, V. M.; GRABAM, D. J. (1981): Geophysical Investigation of the Mokai Geothermal Field. NZDSIR. Geophys. Div. Report 184. pp 41

BIRD, D. K.; SCHIFFMAN, P.; ELDERS, W. A.; WILLIAMS, A. E. and MCDOWELL, S. D. (1984): Calc – Silicate Mineralisation in Active Geothermal Systems. Econ. Geol. 79. pp 671 – 695

BRISTOW C. R.; HOFFSTETTER R. (1977): Lexique Stratigraphique International. Volume V. Amérique Latine. Fascicule 5 a 2. Ecuador. Centre National de la Recherche Scientifique. Francia.

BROWNE, P. R. L. (1978): Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 6. pp 229 – 250

BURST, J. F., Jr. (1958): Glauconite Pellets: Their Mineral Nature and Applications for Stratigraphic Interpretation. American Association of Petroleum Geology. Bulletin V. 42. pp 310 – 327

BURST, J. F., Jr. (1959): Post Diagenetic Clay Mineral Environmental Relationships in the Gulf Coast Eocene: in Clays and Clays Minerals. Proc. 6th Nat. Conf. Berkeley, California 1957. Ada Swineford, ed.. Pergamon Press. New York. pp 327 – 341

CANTER, L. W. (1998): Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. Segunda edición en español. McGraw-Hill / Interamericana de España. pp 76-79, 92, 93, 101

COVIELO, M. F. (1995): Proyecto OLADE / CEPAL / GTZ: Estudio para la Evaluación del Entorno del Proyecto Geotérmico Binacional "Tufiño – Chiles – Cerro Negro". CEPAL. Quito. Ecuador. pp 15, 16, 18

DANA, E. S.; FORD, W. E. (1981): Tratado de Mineralogía. Octava edición en español. John Wiley and Sons INC. Compañía Editorial Continental S. A.. México D. F. México. pp 595, 596

DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS, (1974): Hoja Geológica de Santa Elena, escala 1:100 000. Hoja 5. Impreso en los talleres gráficos del Instituto Geográfico Militar del Ecuador.

ELLIS, A. J. & MAHON, W. A. J. (1964): Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot Water / Rock Interaction. Geochim. and Cosmochim.. Acta, V. 28. pp 1323 – 1357

ELLIS, A. J. & MAHON, W. A. J. (1977): Geochemistry and Geothermal Systems. New York. Academic Press. pp 392

FRAZIER, W. C.; WESTHOFF, D. C. (1993): Microbiología de los Alimentos. Cuarta edición española. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España. pp 72, 568, 570

GIGGENBACH, W. F. (1992b): Isotopic Shifts in Waters from Geothermal and Volcanic Systems along Convergent Plate Boundaries and their Origin. Earth planet. Sci. Lett. 113. pp 495 – 510

GIGGENBACH, W. F. (1994): Variations in the Chemical and Isotopic Composition of Fluid Discharge from The Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Elsevier. pp 96-99

GIGGENBACH, W. F. & GLOVER, R. B. (1992): Tectonic Regime and Major Processes Governing the Chemistry of Water and Gas Discharges from the Rotorua Geothermal Field, New Zealand, *Geothermics*, Vol. 21, No. 1/2, 121-140.

GONFIANTINI, R.; ARAGUAS, L. (1988): Los Isótopos Ambientales en el Estudio de la Intrusión Marina. TIAC' 88 "Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros". Almuñécar (Granada, España). pp 138, 142

HARVEY, C. (1999): The Application of Clay Mineralogy to the Study of Hydrothermal Systems. 665.611 Lecture Notes. Geothermal Institute. University of Auckland. New Zealand

HARVEY, C.; BROWNE, P. R. L. (1991): Mixed-Layer Clay Geothermometry in the Wairakei Geothermal Field, New Zealand. *Clay and Clay Minerals*, Vol. 39, No. 6, pp 614-621

HARVEY, C.; BROWNE, P. R. L. (2000): Mixed-Layer Clays in Geothermal Systems and Their Effectiveness As Mineral Geothermometers. Lecture Notes. Geothermal Institute. University of Auckland. New Zealand

HOCHSTEIN, M. P. (2000): Classification of Surface Discharge Features. 665.602 Lecture Notes. Geothermal Institute, University of Auckland. pp 7

INERHI (1977): Proyecto de Utilización de Aguas Subterráneas para el Desarrollo Agrícola de Yaguachi, Banco de Arena y Milagro, Provincia del

Guayas. Anexo E: Hidrogeología. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. pp 53-56

JAILLARD, E.; ORDÓÑEZ, M.; BENÍTEZ, S.; BERRONES, G.; JIMENEZ, N.; MONTENEGRO, G. & ZAMBRANO, I. (1993): Basin development in an accretionary, oceanic floored forearc setting: Southern Ecuador during Late Cretaceous to Late Eocene Times. In Petroleum Basins of South America. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.

MALONE, P.; FANTIN, F.; TUERO, F. (1999): Informe de Geología y Reservorios de los Campos Petroleros de la Península de Santa Elena. C.G.C., Informe Interno no publicado. pp 36

MONTENEGRO, G. (2002): Rumbos y Buzamientos de Estructuras en la zona de Baños de San Vicente. Comunicación personal. Petroecuador.

MORTIMER, C. E. (1989): Química. Grupo Editorial Iberoamérica. pp 80, 81

MUÑOZ, J. E. (1949): Aguas Minerales del Ecuador

NUÑEZ DEL ARCO, E.; DUGAS, F.; LABROUSSE, B. (1983): Contribución al Conocimiento Estratigráfico, Sedimentológico y Tectónico de la Región Oriental de la Península de Santa Elena y Parte Sur de la Cuenca del Guayas (Ecuador), sobre la base de 17 Hojas Geológicas Escala 1:50000, Tercer Congreso Ecuatoriano de Ingenieros Geólogos de Minas y Petróleos.

ORELLANA, E. (1982): Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. Segunda Edición corregida y aumentada. Biblioteca Técnica Philips. Editorial Paraninfo. Madrid. España. pp 148 – 151

PARASNIS, D.S. (1970): Principios de Geofísica Aplicada. Editorial Paraninfo. Madrid. España. pp 15, 16

PETTIJOHN, F. J. (1976): Rocas Sedimentarias. Tercera edición en español. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Argentina. pp 354

PROAÑO, G.; GONZALEZ, M (2001): Estudio Geoeléctrico para la Búsqueda de Agua Subterránea en la Cooperativa de Vivienda “Francisco Urrutia Santillán”, del Área Metropolitana de Guayaquil. Informe Técnico. pp 5

SIMMONS, S.F. (2000): Geochemistry, 665.603 Lecture Notes, Geothermal Institute, University of Auckland. pp 64 – 68, 70 – 77.

SIMMONS, S.F. (2000): Geochemical Analysis of Geothermal Fluids, 665.603 Laboratory Course 2000, Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand.

SOENGGONO, S. (2000): Geothermal Exploration: Electrical Resistivity Methods. 665.603 Lecture notes. Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand. pp 1-4, 8, 13, 14, 17-19

STEINER, A. (1968): Clay Minerals in Hydrothermally Altered Rocks at Wairakei, New Zealand: Clays and Clays Minerals. pp 165 – 177

TAYLOR, B. E. (1986): Magmatic Volatiles: Isotopic Variations of C, H and S. Rev. Mineral 16. pp 185 – 225

TENNESEE DEL ECUADOR (1959): Pictures of Santa Elena Peninsula. Panchromatic photographs. Job P-1520/59, Locality – Ecuador, scale – 1:40000, flying height – 20500 ft AASL. Date – April / May 1959. Camera – Wild RC5A, lens – 152.51 mm. Photography by The Photographic Survey Corporation Limited, Toronto – Canada for Tennessee del Ecuador S.A.

Pictures P1520/59 – 49, 5338 A – 16-17-18 and P1520/59 – 48, 5338A – 36-37-38

VALVERDE, F.; TAZAN, G. R.; RIZZO, C. G. (1979): Cubierta Vegetal de la Península de Santa Elena. Publicación No. 2. Departamento de Botánica de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Ecuador. pp 7, 9, 11, 30, 87, 98, 131, 139

WEAVER, C. E. (1956): The Distribution and Identification of Mixed – Layer Clays in Sedimentary Rocks: Am. Mineral 41. pp 202 – 221

WHITE, D. E.; MUFFLER, L. J. P. and TRUESDELL, A. H. (1971): Vapor Dominated Hydrothermal Systems Compared with Hot Water Systems. Econ. Geol. Vol. 66. pp 75 - 97